

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
Факультет інженерних систем і екології
Кафедра теплотехніки**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ МАГІСТР**

на тему:

**Вплив теплопровідних включень на приведений опір
теплоізоляційної оболонки будівлі
Загорський Артем Олександрович**

Київ 2025 р.

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
Факультет інженерних систем і екології
Кафедра теплотехніки**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Михайло КИРИЧЕНКО
« ___ » _____ 2025 року

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЗДОБУВАЧА СТУПЕНЯ ВИЩОЇ ОСВІТИ МАГІСТР**

**Вплив теплопровідних включень на приведений опір
теплоізоляційної оболонки будівлі**

Як здобувач вищої освіти КНУБА розумію і підтримую політику закладу з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач **Загорський** **Артем**
Олександрович
192 «Будівництво та цивільна
інженерія»
ОПП «Теплогазопостачання і
вентиляція»
Група ТВм-24-1
Керівник: **Погосов О.Г.**
доцент, кандидат технічних наук

Рецензент

Ідентичність підтверджую

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології
Випускова кафедра теплотехніки
Освітній ступінь «магістр за ОПШ»
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
Освітня програма «Теплогазопостачання і вентиляція»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри теплотехніки

_____ Михайло КИРИЧЕНКО

«__» _____ 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

_____ Загорський Артем Олександрович _____

(прізвище, ім'я, по батькові студента)

1. Тема роботи Вплив теплопровідних включень на приведений опір теплоізоляційної оболонки будівлі

затверджена наказом ректора КНУБА № _____ від «__» _____ 20__ року.

2. Керівник роботи _____ Погосов Олександр Григорович _____

_____ канд.тех.наук, доцент _____

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту _____

4. Зміст пояснювальної записки за розділами:

P.1. Фізичні та нормативні основи теплового захисту будівель

P.2. Теоретичне обґрунтування впливу теплопровідних включень

P.3. Рекомендації щодо зменшення впливу теплопровідних включень

P.4. Аналіз впливу теплопровідних включень

P.5. Економічна доцільність зменшення впливу теплопровідних включень

Список використаних джерел інформації

5. Графічний матеріал за розділами

P.2. Програмний код до моделі розподілу температур у поперечному перерізі вузла стіна віконний блок.

P.2. Розподіл температур у поперечному перерізі вузла стіна віконний блок.

P.2. Вузли примикання віконного блоку до зовнішньої огорожджувальної конструкції. Матриця непрозорих огороджуючих конструкцій та їх ранжування на відповідність ДБН В.2.6-31 та вимогам nZEB за показником R.

Р.2. Вузли примикання зовнішньої стіни до межповерхового перекриття з вікном до полу.

Р.2. Вузли примикання віконного блоку до зовнішньої огорожувальної конструкції.

Р.4. Модель вузлів примикання у програмі CFD.

Р.4. Модель вузлів примикання у програмі CFD.

Р.4. Графік залежності від ψ при постійному χ . Графік залежності від χ при постійному ψ .

Р.4. 3D візуалізація залежності R від ψ та χ .

Р.4. Графіки розподілу температур та порціальних тисків.

6. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірив	
		дата	підпис
Розділ 3	Скочко В.І. доктор технічних наук, професор		

7. Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Р.1. Фізичні та нормативні основи теплового захисту будівель	жовтень 2025 р.
Р.2. Теоретичне обґрунтування впливу теплопровідних включень	жовтень 2025 р.
Р.3. Рекомендації щодо зменшення впливу теплопровідних включень	жовтень 2025 р.
Р.4. Аналіз впливу теплопровідних включень	листопад 2025 р.
Р.5. Економічна доцільність зменшення впливу теплопровідних включень	листопад 2025 р.
Остаточне оформлення роботи	листопад 2025 р.
Направлення роботи для перевірки на плагіат	грудень 2025 р.
Попередній захист роботи на випусковій кафедрі	грудень 2025 р.
Направлення роботи на рецензування	грудень 2025 р.

8. Дата видачі завдання _____

Керівник

(підпис)

Погосов О.Г.

Здобувач

(підпис)

Загорський А.О.

РЕЗЮМЕ (SUMMARY) до кваліфікаційної роботи здобувача:		<i>Загорський Артем Олександрович</i> <i>Artem Zahorskiy</i>	
<i>ЗВО</i>	<i>Київський національний університет будівництва і архітектури</i>		
<i>Тема (українською та англійською)</i>	<i>Вплив теплопровідних включень на приведений опір теплоізоляційної оболонки будівлі</i> <i>The effect of thermally conductive inclusions on the effective resistance of a building's thermal insulation envelope</i>		
<i>Освітній ступінь</i>	<i>Магістр</i>		
<i>Факультет</i>	<i>Інженерних систем та екології</i>		
<i>Випускова кафедра</i>	<i>Теплотехніки</i>		
<i>Спеціальність</i>	<i>192 “Будівництво та цивільна інженерія”</i>		
<i>Освітня програма</i>	<i>Теплогазопостачання та вентиляція</i>		
<i>Керівник</i>	<i>Погосов Олександр Григорович</i>		
<i>Обсяг роботи:</i>	<i>пояснювальна записка, стор.</i>	<i>розділів</i>	<i>креслень формату А1</i>
	<i>165</i>	<i>5</i>	<i>11</i>
<i>Розділ 1.</i>	<i>Фізичні та нормативні основи теплового захисту будівель</i>		
<i>Розділ 2.</i>	<i>Теоретичне обґрунтування впливу теплопровідних включень</i>		
<i>Розділ 3.</i>	<i>Рекомендації щодо зменшення впливу теплопровідних включень</i>		
<i>Розділ 4.</i>	<i>Аналіз впливу теплопровідних включень</i>		
<i>Розділ 5.</i>	<i>Економічна доцільність зменшення впливу теплопровідних включень</i>		
<i>Висновки по роботі:</i>	<i>Робота виконана на високому рівні та заслуговує позитивної оцінки, а її автор присвоєння освітнього ступеня “магістр”.</i>		
<i>Ключові слова:</i> <i>Keywords:</i>	<i>тепловий захист будівель, теплопередача, огорожувальні конструкції, теплопровідні включення, містки холоду, тепловий потік, тепловий опір, приведений опір теплопередачі, енергоефективність будівель, нормативні вимоги, теплотехнічне моделювання, енергозберігаючі матеріали, конструктивні рішення, економічна ефективність, окупність енергозберігаючих заходів.</i> <i>building thermal protection, heat transfer, building envelope structures, thermal bridges, cold bridges, heat flux, thermal resistance, equivalent thermal resistance, building energy efficiency, regulatory requirements, thermal modeling, energy-efficient materials, structural solutions, economic efficiency, payback of energy-saving measures.</i>		

Здобувач: _____/Артем ЗАГОРСЬКИЙ/

Керівник: _____/Олександр ПОГОСОВ/

“ ___ ” _____ 20__ року

Зміст

Вступ.....	8
Розділ 1. Фізичні та нормативні основи теплового захисту будівель.....	23
1.1. Основи теплопередачі в огорожувальних конструкціях.....	24
1.2. Нормативна база з визначення теплового опору будівель.....	38
Розділ 2. Теоретичне обґрунтування впливу теплопровідних включень..	44
2.1. Моделювання теплових потоків.....	45
2.2. Методика обчислення приведенного опору.....	54
Розділ 3. Рекомендації щодо зменшення впливу теплопровідних включень.....	62
3.1. Конструктивні рішення.....	63
3.2. Використання енергозберігаючих матеріалів.....	69
Розділ 4. Аналіз впливу теплопровідних включень.....	82
4.1. Аналіз впливу теплопровідних включень.....	83
4.2. Розрахунок приведенного опору з урахуванням теплопровідних включень.....	89
4.3. Порівняння результатів з нормативними вимогами.....	142
Розділ 5. Економічна доцільність зменшення впливу теплопровідних включень.....	148
5.1. Порівняння вартості класичних та енергозберігаючих рішень.....	152
5.2. Розрахунок окупності заходів з енергозбереження	155
5.3. Оцінка впливу енергоефективних рішень на загальну ринкову вартість об'єкта.....	158
Список використаних джерел інформації.....	163

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

У сучасному будівництві питання енергоефективності набуває особливої актуальності. Одним із ключових аспектів забезпечення енергоефективності будівель є оптимізація теплоізоляційної оболонки. Проте, навіть при використанні високоякісних теплоізоляційних матеріалів, наявність теплопровідних включень, таких як металеві кріплення, армування чи інші конструктивні елементи, може суттєво знижувати загальний опір теплопередачі огорожувальних конструкцій. Ці включення створюють так звані "містки холоду", через які відбуваються додаткові тепловтрати.

Теплопередача в будівельних конструкціях відбувається через провідність, конвекцію та випромінювання. Основним показником, що характеризує здатність конструкції чинити опір тепловому потоку, є опір теплопередачі (R), який вимірюється в $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$. Для неоднорідних конструкцій, які містять теплопровідні включення, використовується поняття приведенного опору теплопередачі (R_p), що враховує вплив цих включень на загальні теплотехнічні характеристики конструкції . [1]

Робота [2] присвячена дослідженню впливу точкових теплопровідних включень, зокрема монтажних кріплень, у системах фасадної теплоізоляції (ETICS), на термічну ефективність огорожувальних конструкцій будівель. Авторка наголошує, що при проектуванні енергоефективних будівель точкові включення часто ігноруються, хоча вони можуть істотно знижувати ефективність системи.

У статті [2] запропоновано спрощену методологію 3D-моделювання, яка враховує теплові й геометричні характеристики елементів зовнішніх стін. Виявлено, що «найбільший вплив на точковий коефіцієнт теплопередачі мають конструктивне рішення елементів монтажних кріплень та товщина ізоляційного шару» [2]. Це означає, що навіть при використанні сучасних

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

матеріалів, неналежне проектування кріплень може значно погіршити загальні енергетичні показники будівлі.

Олексієнко також аналізує європейський досвід у розрахунках теплових втрат через такі включення, посилаючись на стандарти ISO та численні міжнародні дослідження. Практична цінність методики полягає у її придатності для швидкої оцінки впливу точкових включень на термічну ефективність без потреби в складному програмному забезпеченні.

Теплопровідні включення в огорожувальних конструкціях можуть бути точковими, лінійними або площинними. До точкових включень відносяться металеві анкери, дюбелі та інші кріпильні елементи; лінійні включення – це армування, стики панелей, перемички; площинні – це, наприклад, бетонні вставки в стінах [3].

Наявність таких включень створює "містки холоду", через які відбуваються додаткові тепловтрати. Це не лише знижує енергоефективність будівлі, але й може призводити до утворення конденсату та розвитку грибка на внутрішніх поверхнях стін.

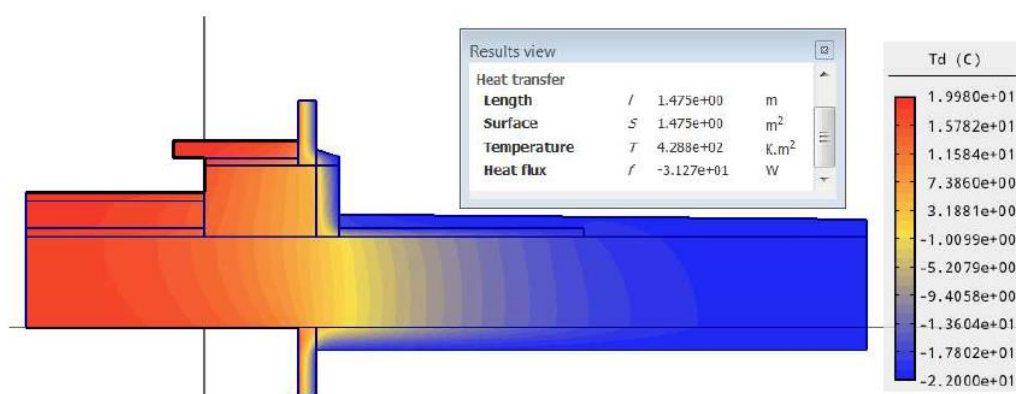


Рис.1 Моделювання теплопередачі для вузла примикання балконного перекриття та стіни у місцях прорізів в рамках програми Agros2D [3].

Дослідження показують, що теплопровідні включення можуть знижувати приведений опір теплопередачі на 10–25% залежно від їхньої кількості, матеріалу та розташування .

У роботі [3] Досліджено вплив «містків холоду» на приведений опір теплопередачі стінових огорожень, який характеризує їх теплоізоляційні властивості та енергоефективність. Розглянуто дев'ятиповерховий монолітно-каркасний житловий будинок у м. Львові. Стінові огорожувальні конструкції товщиною 250 мм із пустотілих керамічних блоків на цементно-піщаному розчині. Теплоізоляція стін виконана мокрим способом плитами із мінеральної вати товщиною 100 мм. Вікна та прозорі фасадні системи із ПВХ-профілів із заповненням двокамерним склопакетом. Розглянуто такі теплопровідні включення: дюбелі кріплення мінеральної вати, віконні укоси, міжповерхові та балконні перекриття, колони, кутові примикання. Для визначення приведенного опору теплопередачі виконано моделювання вузлів стін методом скінченних елементів за допомогою програмного комплексу Agros2D. У результаті розрахунків отримано температурні поля та теплові потоки для відповідних вузлів із «містками холоду». На основі розрахунків двомірних температурних полів фрагментів стін підраховано лінійні коефіцієнти теплопередачі для лінійних теплопровідних включень. Визначено приведений опір теплопередачі для зовнішніх стін розглянутого будинку із врахуванням названих «містків холоду». Результати свідчать про значний вплив цих теплопровідних включень. Оцінено вплив кожного теплопровідного включення на коефіцієнт теплопередачі. Підсумовано, що найбільший вплив на теплопередачу для досліджуваного будинку мають такі теплопровідні включення, як перекриття. Результати досліджень [3] будуть корисними при аналізі енергоефективності та проектуванні багатоповерхових житлових будинків із монолітним каркасом.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Зовнішні стіни переважно є термічно неоднорідними конструкціями, тобто містять так звані «містки холоду» – частини із більшою теплопровідністю. Теплоізоляційні властивості таких конструкцій визначаються згідно [1] приведеним опором теплопередачі, який розраховується згідно [4]. Лінійні та точкові коефіцієнти теплопередачі, які входять у формулу для визначення приведенного опору теплопередачі [4], визначаються на підставі розрахунку температурних полів та теплових потоків вузлів огорожень.

Для точного визначення теплотехнічних характеристик конструкцій з теплопровідними включеннями використовуються різні методи:

- Аналітичні методи: застосовуються для простих геометричних форм та включень.
- Чисельні методи: використовують програмне забезпечення для моделювання теплових потоків у складних конструкціях.
- Експериментальні методи: передбачають проведення натурних або лабораторних випробувань для визначення теплотехнічних характеристик.

Згідно [1], при розрахунку приведенного опору теплопередачі необхідно враховувати всі теплопровідні включення, що можуть впливати на загальну теплотехнічну ефективність конструкції

Теплові містки у фасадних конструкціях будівель є одним із основних факторів, що впливають на загальну енергетичну ефективність будівлі. Вони можуть суттєво збільшувати тепловтрати, що, у свою чергу, веде до підвищених витрат на опалення взимку та охолодження влітку. Тому, вирішення проблеми теплових містків є важливим аспектом для забезпечення енергоефективності сучасних будівель. У статті [5] розглядаються різні підходи до розрахунку термічного опору фасадів і їх вплив на загальне енергоспоживання будівель.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Метою дослідження було порівняння двох основних методів розрахунку термічного опору фасадів: адитивного та площинно-зваженого, а також оцінка їхнього впливу на енергетичну продуктивність будівель. Адитивний метод передбачає сумування термічного опору кожного окремого шару матеріалів, що входять до складу стіни, без урахування теплових містків. Натомість площинно-зважений метод враховує не тільки матеріали, але й геометрію конструкції та властивості каркасних елементів, що дозволяє більш точно оцінити вплив теплових містків на загальні тепловтрати та енергоспоживання.

Методологія дослідження включала кілька етапів, кожен з яких був важливим для досягнення поставленої мети. На першому етапі була вибрана конкретна будівля для детального аналізу. Вибір припав на Центр рекреації кампусу Університету Массачусетс в Амхерсті. Це дозволило використовувати реальні дані будівлі для моделювання та аналізу її енергетичної ефективності. Зібравши необхідну інформацію з будівельної документації, була створена 3D-модель будівлі в програмі Revit, що дозволило точно відтворити конструкцію фасадної системи. Система включала цегляну стіну з повітряним прошарком та сталевим каркасом, що є типовою конструкцією для багатьох сучасних будівель.

Другим етапом стало визначення R-значень (термічного опору) фасадної системи за допомогою двох методів — адитивного та площинно-зваженого. Це дозволило порівняти отримані результати та оцінити, як різниця в підходах до розрахунку термічного опору може вплинути на точність прогнозування енергоспоживання. Третім етапом було проведення енергетичного моделювання. Для цього використовувалася програма Green Building Studio, яка дозволила створити дві моделі будівлі — одну з використанням адитивного методу, а іншу з використанням площинно-зваженого методу. Обидві моделі мали однакову геометрію, характеристики скління та графіки використання, а відрізнялися лише розрахунковими R-значеннями.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Четвертим етапом було порівняння результатів моделювання з фактичними даними про енергоспоживання будівлі, зібраними протягом одного року. Це дозволило перевірити точність та достовірність розрахункових моделей і з'ясувати, який метод краще відображає реальні умови експлуатації будівлі.

Основні результати дослідження показали, що використання площинно-зваженого методу, який враховує теплові містки, призводить до значно вищих значень енергоспоживання, витрат на енергію, інтенсивності використання енергії, викидів вуглецю та навантажень на опалення порівняно з адитивним методом. Це означає, що площинно-зважений метод дає більш реалістичну картину енергетичної ефективності будівлі. Адитивний метод, в свою чергу, може значно недооцінювати реальні тепловтрати через фасад, оскільки він не враховує теплові містки, що призводить до занижених прогнозів енергоспоживання.

Висновки дослідження підкреслюють важливість правильного вибору методу розрахунку термічного опору фасадів при проектуванні енергоефективних будівель. Ігнорування теплових містків при використанні адитивного методу може призвести до значних відхилень між розрахунковими та фактичними показниками енергоспоживання. Це, в свою чергу, може мати серйозні наслідки для експлуатаційних витрат та комфортності користувачів будівлі. Правильний розрахунок та врахування теплових містків є важливим для досягнення високої енергоефективності будівель і забезпечення їхнього комфортного функціонування.

У науковій роботі [6] автори досліджують важливий аспект енергоефективності будівель — вплив теплових мостів, зокрема, коефіцієнт лінійної теплопередачі, який вони спричиняють. Теплові мости виникають у місцях, де порушується однорідність теплоізоляційної оболонки будівлі, таких як стики між стінами та перекриттями, а також у місцях встановлення вікон

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

або балконів. Ці місця є критичними з точки зору теплопередачі, оскільки через них відбуваються значні тепловтрати, що, в свою чергу, погіршує загальні теплоізоляційні властивості конструкції і знижує її термічний опір, що може мати суттєвий вплив на енергоспоживання будівлі.

Метою дослідження стало отримання достовірних даних про величину тепловтрат через теплові мости безпосередньо на об'єктах, тобто в умовах реальної експлуатації будівель. Для досягнення цієї мети автори використовували методи in-situ вимірювання, зокрема, тепловізійну зйомку, використання теплових сенсорів та метеорологічних даних. Це дозволило дослідити кілька типових конструктивних рішень, що широко застосовуються в будівництві, і провести термічне обстеження об'єктів у реальних умовах експлуатації. Після проведення вимірювань, результати були проаналізовані з використанням методів оцінки коефіцієнтів теплопередачі.

Результати дослідження показали, що теплові мости можуть займати значну частину всієї площі будівельної оболонки, до 50%, що є важливим показником для оцінки енергоефективності. Більш того, загальний тепловий потік, що проходить через ці мости, може збільшуватися на 20–30% в річному обчисленні. Це призводить до суттєвого підвищення витрат на опалення будівлі, що значно знижує її енергетичну ефективність та призводить до додаткових фінансових витрат на підтримання комфортної температури всередині приміщень.

Одним із важливих аспектів цього дослідження є порівняння результатів вимірювань in-situ з розрахунковими значеннями, отриманими відповідно до стандартів [7]. Автори підкреслюють, що фактичні теплові втрати часто перевищують розрахункові значення, особливо у випадках, коли ізоляція в зонах теплових мостів була виконана неналежним чином або неповно. Це

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

свідчить про важливість точних вимірювань та коректного утеплення таких зон.

У висновках автори наголошують на необхідності врахування теплових мостів при проектуванні енергоефективних будівель і проведенні енергетичних аудитів. Впровадження більш точних методів оцінки і вимірювання теплових втрат стає ключовим кроком на шляху до зменшення споживання енергії в будівлях та підвищення їхньої енергоефективності. Тому важливо не лише на етапі проектування будівель, але й у процесі їх експлуатації, застосовувати найсучасніші методи аналізу та коригування термічного захисту.

Практичне значення дослідження полягає в тому, що отримані дані можуть бути безпосередньо використані для оптимізації термічного захисту як новобудов, так і для реконструкції існуючих будівель. Це дозволить значно знизити теплові втрати і, відповідно, витрати на опалення та охолодження. Крім того, результати можуть бути використані для вдосконалення нормативних підходів до розрахунку теплопровідності конструкцій, що є важливим кроком для підвищення енергоефективності на рівні нормативного регулювання будівельної галузі.

Наукова стаття [8] присвячена дослідженню одного з важливих факторів, що значно впливають на енергетичну ефективність багатоповерхових житлових будівель у Китаї, — теплових мостів. Автори аналізують, як наявність теплопровідних включень у конструкціях будівель, зокрема на стиках матеріалів з різною теплопровідністю, знижує загальний опір теплопередачі огорожувальних конструкцій. Це, в свою чергу, призводить до значних втрат енергії, що мають як економічні, так і екологічні наслідки.

Метою дослідження було визначити кількісні характеристики впливу теплових мостів на річне енергоспоживання в типових багатоквартирних будинках, які розташовані в різних кліматичних регіонах Китаю. Для цього

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

було використано спеціалізоване програмне забезпечення для енергетичного моделювання, яке дозволило провести порівняння різних варіантів термічного захисту будівельних оболонок. Враховувалися як варіанти з урахуванням теплових мостів, так і без них.

Дослідження охоплює кілька типових сценаріїв проектування конструкцій, серед яких особливу увагу приділено таким елементам, як зовнішні стіни, перекриття та з'єднання елементів, що найчастіше утворюють теплові мости. Це включає в себе бетонні балкони, перемички, колони, а також місця кріплення фасадних систем. Оскільки саме ці елементи зазвичай є найбільш вразливими до теплових втрат, їхній вплив на загальне енергоспоживання є ключовим у контексті енергоефективності будівель.

Результати дослідження показують, що теплові мости можуть призвести до збільшення річного енергоспоживання будівлі на 10–30%. Це значення варіюється залежно від кліматичних умов та вибору будівельних матеріалів, що використовуються в конструкціях. Водночас, ігнорування теплових мостів при розрахунках може суттєво занижувати реальні витрати на опалення та охолодження, що призводить до ненадійних прогнозів енергоспоживання і знижує точність енергоефективних розрахунків.

Автори підкреслюють необхідність обов'язкового врахування теплових мостів при проектуванні нових житлових об'єктів та під час модернізації існуючих будівель. Вони також зазначають важливість встановлення чітких нормативів щодо теплових мостів у національних стандартах енергоефективності, що дозволить забезпечити кращу енергоефективність в будівельному секторі країни.

Практичне значення дослідження полягає в обґрунтуванні необхідності використання конструктивних і матеріальних рішень, які мінімізують теплові втрати через теплові мости. Це є критичним для досягнення цілей

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15

низьковуглецевого будівництва в Китаї, що не лише покращить енергетичну ефективність будівель, але й сприятиме зменшенню викидів парникових газів та зниженню енергетичних витрат. Врахування цього аспекту в проектуванні і будівництві дозволить значно покращити ефективність використання енергії в житловому секторі та наблизити країну до міжнародних стандартів у галузі сталого розвитку.

У цій науковій статті [9] досліджується вплив точкових теплопровідних включень на приведений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій. Актуальність роботи обумовлена стрімким розвитком будівельної галузі в Україні, де зростаючі вимоги до енергоефективності безпосередньо впливають на вартість теплоізоляційних матеріалів і, відповідно, на загальну собівартість будівництва. Враховуючи високі витрати на теплоізоляцію, автори підкреслюють важливість проведення точних розрахунків опору теплопередачі, включаючи модельні значення теплопровідних включень, адже саме ці елементи відіграють вирішальну роль у формуванні теплової оболонки будівлі.

Метою дослідження є оцінка впливу точкових теплопровідних включень, таких як металеві кріплення, анкери та інші з'єднувальні елементи, на приведений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій. Окрім цього, автори ставлять за мету обґрунтувати необхідність врахування таких включень при проектуванні та реконструкції будівель з метою досягнення високої енергоефективності.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

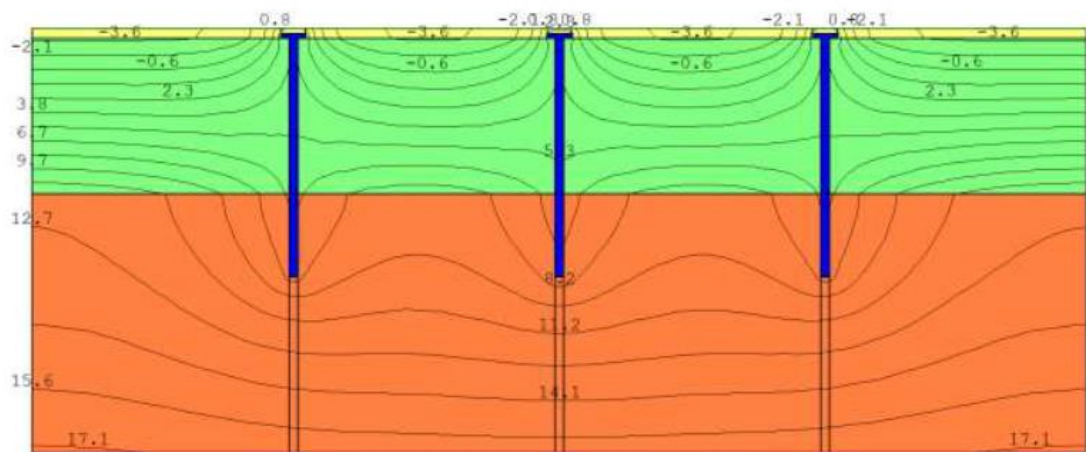


Рис.2 Ізотерми, які виникають при впливі точкових теплопровідних включень (дюбелів кріплення утеплювача). Випадок для металевого дюбеля, утеплювач - мінеральна вата, 150 мм [9].

Методологія дослідження включає застосування методів теплотехнічного аналізу та чисельного моделювання для оцінки впливу точкових теплопровідних включень на теплові характеристики конструкцій згідно [10]. Для цього було використано спеціалізоване програмне забезпечення для моделювання температурних полів та визначення теплових потоків через конструкції з різними варіантами точкових включень. Це дозволило автором отримати детальну картину теплових втрат через огорожувальні конструкції з урахуванням різних типів точкових теплопровідних елементів.

Основні результати дослідження включають кілька важливих висновків:

- Встановлено, що точкові теплопровідні включення, зокрема кріпильні елементи, здатні суттєво знижувати приведений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій, що призводить до значного збільшення тепловтрат.
- Показано, що ігнорування впливу таких включень при розрахунках може призвести до переоцінки енергоефективності будівлі та зниження необхідної

товщини теплоізоляційного шару, що, у свою чергу, збільшує витрати на опалення та охолодження будівель. [11]

- Наголошено на необхідності врахування точкових теплопровідних включень при проектуванні теплоізоляції та виборі конструктивних рішень для забезпечення відповідності будівель нормативним вимогам щодо енергоефективності [1].

Практичне значення роботи полягає в тому, що отримані результати можуть бути використані інженерами та проектувальниками для більш точного розрахунку теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій. Це сприятиме підвищенню енергоефективності будівель, зменшенню витрат на опалення та охолодження та загальному зниженню експлуатаційних витрат. Крім того, врахування точкових теплопровідних включень дозволить забезпечити довговічність конструкцій та відповідність їх енергетичним стандартам, що важливо для сталого розвитку будівельного сектору в Україні.

У науковій статті [12] досліджується вплив термічних неоднорідностей, зокрема зовнішніх кутів будівель, на теплозахисні властивості огорожувальних конструкцій. Авторка роботи підкреслює важливість розуміння того, як такі термічні неоднорідності, що виникають через зміни в геометрії будівлі, можуть впливати на загальну ефективність теплоізоляції. На її думку, наявність таких зон, як зовнішні кути, може суттєво знижувати теплоізоляційні характеристики стін, що, в свою чергу, негативно позначається на енергоефективності будівель.

Метою дослідження було оцінити вплив термічних неоднорідностей, таких як зовнішні кути, на приведений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій, а також розробити рекомендації для мінімізації цього впливу. Це надзвичайно важливо для досягнення високих показників енергоефективності

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

в будівництві, оскільки наявність таких теплових слабких місць може значно збільшити витрати на опалення та охолодження будівель.

Методологія дослідження включала математичне моделювання процесу теплопереносу через зовнішній кут будівлі. Застосування чисельних методів для вирішення цієї задачі з використанням комп'ютерних технологій дозволило авторці отримати точні результати щодо температурних полів та значень приведенного опору теплопередачі для різних конфігурацій кутів будівель. Ці моделі дозволили детально вивчити, як зміни в конструкціях та розташуванні зовнішніх кутів впливають на ефективність теплоізоляції.

Основні результати дослідження:

- Встановлено, що зовнішні кути будівель є зонами підвищених тепловтрат, оскільки в них відбувається концентрація теплових потоків, що значно погіршує загальну ефективність теплоізоляції в цих ділянках.
- Показано, що ігнорування впливу термічних неоднорідностей при розрахунках теплотехнічних характеристик може призвести до переоцінки енергоефективності будівлі. Це, в свою чергу, може призвести до недооцінки необхідної товщини теплоізоляційного шару та надмірних витрат на опалення.
- Наголошено на необхідності врахування термічних неоднорідностей, таких як зовнішні кути, при проектуванні теплоізоляції та виборі конструктивних рішень, щоб забезпечити відповідність будівель нормативним вимогам з енергоефективності.

Практичне значення цього дослідження полягає в тому, що отримані результати можуть бути використані інженерами та проектувальниками для більш точного розрахунку теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій. Це дозволить не тільки підвищити енергоефективність будівель, а й знизити експлуатаційні витрати на опалення та охолодження. Врахування

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

термічних неоднорідностей є важливим кроком для досягнення більш сталого розвитку будівельної галузі та поліпшення якості життя користувачів таких будівель.

У ході аналізу сучасних наукових досліджень було встановлено, що теплопровідні включення в огорожувальних конструкціях будівель мають суттєвий вплив на їх теплотехнічні характеристики. Так звані «містки холоду», які утворюються через точкові, лінійні або площинні включення (металеві кріплення, армування, конструктивні елементи), призводять до значного зниження приведенного опору теплопередачі, що, у свою чергу, знижує загальну енергоефективність будівлі.

Дослідження показали, що теплопровідні включення можуть знижувати термічний опір огорожувальних конструкцій на 10–30%, залежно від типу, матеріалу та кількості таких елементів. Зокрема, найбільший негативний вплив мають конструктивні елементи, як-от перекриття, балкони, віконні укоси та зовнішні кути. Встановлено також, що ігнорування впливу теплових містків у проектуванні призводить до суттєвих похибок у прогнозуванні енергоспоживання та невиправдано занижених витрат на опалення. Це, у свою чергу, негативно впливає як на енергоефективність, так і на комфорт користувачів будівлі.

Методики розрахунку (аналітичні, чисельні та експериментальні) довели необхідність обов'язкового врахування впливу теплопровідних включень при проектуванні сучасних енергоефективних будівель. Розрахунки, що ігнорують теплові містки, можуть значно занижувати прогнозоване енергоспоживання будівлі.

Практичне значення досліджених робіт полягає у тому, що результати можуть бути безпосередньо використані інженерами та проектувальниками для

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

оптимізації конструкцій теплоізоляційних оболонок, вибору матеріалів, програмного моделювання та удосконалення нормативних підходів.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1
ФІЗИЧНІ ТА НОРМАТИВНІ ОСНОВИ ТЕПЛОВОГО ЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ

Студент / _____ /

Керівник / _____ /

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.1. Основи теплопередачі в огорожувальних конструкціях

Одним із ключових чинників, що впливає на тепловий комфорт приміщень і витрати енергії на опалення або охолодження, є теплопередача через огорожувальні конструкції. Ці конструкції — зовнішні стіни, покрівлі, перекриття, вікна та двері — виконують важливу функцію теплоізоляції, запобігаючи надмірним тепловтратам у холодну пору року та перегріву приміщень улітку.

Розуміння фізичних основ теплопередачі в огорожувальних конструкціях є необхідним для правильного вибору будівельних матеріалів, розрахунку теплозахисних властивостей огорожень та дотримання будівельних норм. У цьому розділі розглядаються основні механізми теплопередачі — теплопровідність, конвекція та теплове випромінювання — а також їх вплив на тепловий баланс будівлі. Крім того, аналізуються сучасні підходи до зменшення тепловтрат, зокрема використання енергозберігаючих матеріалів і технологій, що відповідають вимогам чинних нормативних документів.

1.1.1 Визначення коефіцієнтів теплового зв'язку та швидкості теплового потоку з 3D-розрахунків

а) Дві граничні температури, нерозділена модель

Якщо є лише два середовища з двома різними температурами (наприклад, одна внутрішня та одна зовнішня температура), і якщо загальна площа приміщення або будівлі розраховується тривимірно з однієї моделі, то загальний коефіцієнт теплового зв'язку $L_{3D,1,2}$ отримується із загального теплового потоку приміщення або будівлі, як зазначено у формулі (1):

$$\Phi = L_{3D,1,2} \cdot (\theta_1 - \theta_2) \quad \text{Форм.(1.1.)}$$

б) Дві граничні температури, модель з розділенням

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Якщо приміщення або будівля розділена на розділення (див. Рис. 1.1.), загальне значення $L_{3D,i,j}$ розраховується за формулою (1.2.):

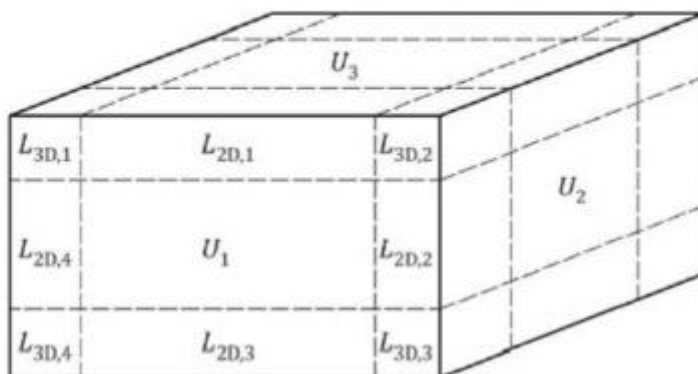


рис.1.1. - Розбиття огорожувальної конструкції будівлі на 3D, 2D та 1D геометричні моделі.

$$L_{3D,i,j} = \sum_{k=1}^{N_k} U_{k(i,j)} \cdot A_k + \sum_{m=1}^{N_m} L_{2D,m(i,j)} \cdot I_m + \sum_{n=1}^{N_n} L_{3D,n(i,j)} \quad \text{Форм.(1.2.)}$$

,де

$L_{3D,i,j}$ – коефіцієнт теплового зв'язку, отриманий з 3D розрахунку для частини n приміщення або будівлі;

$L_{2D,m(i,j)}$ – коефіцієнт теплового зв'язку, отриманий з 2D розрахунку для частини m приміщення або будівлі;

I_m – довжина, на якій застосовується значення $L_{2D,m(i,j)}$;

$U_{k(i,j)}$ – коефіцієнт теплопроникувності, отриманий з 1D розрахунку для частини k приміщення або будівлі;

A_k – площа, на якій застосовується значення U_k ;

N_n – загальна кількість тривимірних деталей;

N_m – загальна кількість двовимірних деталей;

N_k – загальна кількість одновимірних деталей.

ПРИМІТКА. У формулі (1.2.) $\sum A_k$ менше за загальну площу поверхні оболонки, оскільки частина площі поверхні включена до двовимірного та тривимірного членів.

в) Більше двох граничних температур

Тепловий потік $\Phi_{i,j}$ з середовища i до термічно пов'язаного середовища j визначається формулою (1.3.):

$$\Phi_{i,j} = L_{3D,i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j) \quad \text{Форм.(1.3.)}$$

Тепловий потік до кімнати або з кімнати при температурі 0 можна розрахувати за формулою (1.4.):

$$\Phi = \sum_j [L_{3D,i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j)] \quad \text{Форм.(1.4.)}$$

,де

$L_{3D,i,j}$ – коефіцієнти зв'язку між кімнатою та сусідніми кімнатами або зовнішнім середовищем;

θ_j – температури сусідніх кімнат або зовнішнього середовища.

Загальний тепловий потік до, будівлі або з будівлі можна розрахувати за формулою (1.5.):

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\Phi = \sum_i \sum_j [L_{3D,i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j)] \quad \text{Форм.(1.5.)}$$

,де

θ_i – температури внутрішніх приміщень;

θ_j – температури зовнішнього середовища;

$L_{3D,i,j}$ – відповідні коефіцієнти зв'язку.

1.1.2 Розрахунки з використанням лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі з 3D-розрахунків

а) Розрахунок коефіцієнта теплового зв'язку

Зв'язок між $L_{3D,i,j}$ та коефіцієнтами теплопередачі визначається формулою (1.5.):

$$L_{3D,i,j} = \sum_{k=1}^{N_k} U_{k(i,j)} \cdot A_k + \sum_{m=1}^{N_m} \Psi_{m(i,j)} \cdot I_m + \sum_{n=1}^{N_n} \chi_{n(i,j)} \quad \text{Форм.(1.5.)}$$

,де

$U_{k(i,j)}$ – коефіцієнт теплопередачі частини k приміщення або будівлі;

A_k – площа, на якій діє значення $U_{k(i,j)}$;

$\Psi_{m(i,j)}$ – лінійний коефіцієнт теплопередачі частини m приміщення або будівлі;

I_m – довжина, на якій діє значення $\Psi_{m(i,j)}$;

$\chi_{n(i,j)}$ – точковий коефіцієнт теплопередачі частини n приміщення або будівлі;

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

N_k – кількість коефіцієнтів теплопередачі;

N_m – кількість лінійних коефіцієнтів теплопередачі;

N_n – кількість точкових коефіцієнтів теплопередачі.

ПРИМІТКА 1

У формулі (1.5.) $\sum A_k$ дорівнює загальній площі поверхні оболонки.

ПРИМІТКА 2

$L_{3D,i,j}$ еквівалентно коефіцієнту теплопередачі H , що використовується в інших стандартах

б) Розрахунок лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі

Значення визначаються за формулою (1.6.):

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot I_j \quad \text{Форм.(1.6.)}$$

„де

L_{2D} – коефіцієнт теплового зв'язку, отриманий з двовимірного розрахунку компонента, що розділяє два середовища, що розглядаються;

U_j – коефіцієнт теплопередачі одновимірного компонента j , що розділяє два середовища, що розглядаються;

I_j – довжина, на якій застосовується значення U_j .

Значення χ визначаються за формулою (1.7.):

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\chi = L_{3D} - \sum_{i=1}^{N_i} U_i \cdot A_i - \sum_{j=1}^{N_j} \psi_j \cdot l_j$$

,де

L_{3D} – коефіцієнт теплового зв'язку, отриманий за допомогою 3D розрахунку 3D компонента, що розділяє два середовища, що розглядаються;

U_i – коефіцієнт теплопередачі 1D-компонента, що розділяє два середовища, що розглядаються;

A_i – площа, на якій застосовується значення U ;

ψ_j – лінійні коефіцієнти теплопередачі, розраховані за формулою (1.11.);

l_j – довжина, на якій застосовується значення ;

N_j – кількість 2D-компонентів;

N_i – кількість 1D-компонентів

Визначаючи значення Ψ та χ , необхідно вказати, які розміри (наприклад, внутрішні чи зовнішні) використовуються, оскільки для кількох типів теплових містків значення Ψ та χ залежать від цього вибору.

1.1.3 Визначення коефіцієнта теплового зв'язку, швидкості теплового потоку та лінійного коефіцієнта теплопередачі за допомогою двовимірних розрахунків

a) Дві граничні температури

Швидкість теплового потоку на метр довжини, Φ_i , лінійного теплового мосту з внутрішнього середовища, позначеного нижнім індексом "int", до

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

зовнішнього середовища, позначеного нижнім індексом "e", визначається формулою (1.8.):

$$\Phi_i = L_{2D} \cdot (\theta_{int} - \theta_e) \quad \text{Форм.(1.8.)}$$

де L_{2D} – коефіцієнт теплового зв'язку, отриманий за допомогою двовимірного розрахунку компонента, що розділяє два середовища, що розглядаються.

б) Більше двох граничних температур

Тепловий потік $\Phi_{i,j}$ з середовища і до термічно пов'язаного середовища j визначається формулою (1.9.):

$$\Phi_{i,j} = L_{2D,i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j) \quad \text{Форм.(1.9.)}$$

Для більш ніж двох середовищ з різними температурами (наприклад, різними внутрішніми або зовнішніми температурами), загальний тепловий потік $\Phi_{i,j}$ до приміщення або з приміщення або будівлі можна розрахувати за формулою (1.10.):

$$\Phi = \sum_{i < j} [L_{2D,i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j)] \quad \text{Форм.(1.10.)}$$

де $L_{2D,i,j}$ – коефіцієнти зв'язку між кожною парою середовищ.

в) Визначення лінійного коефіцієнта теплопередачі

Лінійний коефіцієнт теплопередачі, що розглядається для лінійного теплового містка, що розділяє два середовища, Ψ , визначається формулою (1.11.):

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot l_j \quad \text{Форм.(1.11.)}$$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

,де

U_j – коефіцієнт теплопередачі одновимірного компонента j , що розділяє два середовища, що розглядаються;

l_j – довжина в межах двовимірної геометричної моделі, на яку застосовується значення U_j ;

N_j – кількість одновимірних компонентів.

Під час визначення лінійного коефіцієнта теплопередачі необхідно вказати, які розміри (наприклад, внутрішні чи зовнішні) використовуються, оскільки для кількох типів теплових містків значення лінійного коефіцієнта теплопередачі залежить від цього вибору.

1.1.4 Визначення лінійного коефіцієнта теплопередачі для стиків стіна/підлога

a) Внутрішній рівень підлоги дорівнює або вище за зовнішній рівень землі

L_{2D} визначається числовим розрахунком усієї деталі (включаючи ґрунт, крайову ізоляцію, якщо це застосовується). U_w розраховується за стандартом [13], тоді як U_g розраховується за спрощеною процедурою ISO 13370, включаючи будь-яку суцільну ізоляцію плити покриття та, де це застосовується, поправку на крайову ізоляцію (див. Рисунок 1.2.).

Обчисліть Ψ_g за формулою (1.12.), використовуючи внутрішні розміри, та за формулою (1.13.), використовуючи зовнішні розміри:

$$\Psi_g = L_{2D} - h_w \cdot U_w - 0,5 \times B \cdot U_g \quad \text{Форм.(1.12.)}$$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

$$\Psi_g = L_{2D} - (h_w + h_f) \cdot U_w - (0,5 \times B + w) \cdot U_g \quad \text{Форм.(1.13.)}$$

де U_w – коефіцієнт теплопередачі стіни над землею, змодельований у числовому розрахунку

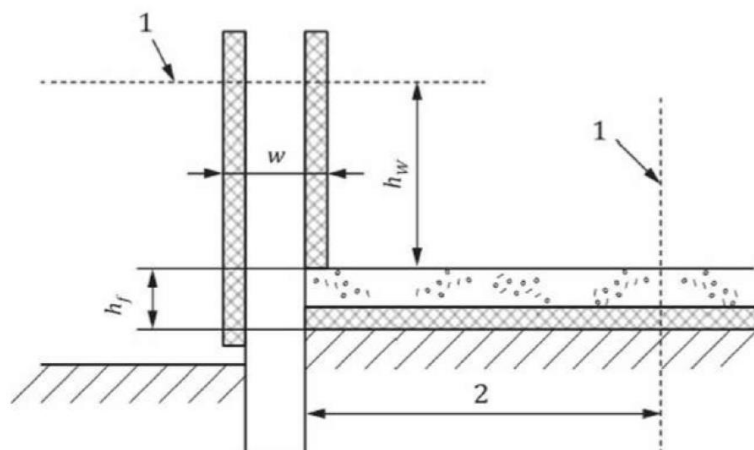


Рис. 1.2. Модель для розрахунку лінійного коефіцієнта теплопередачі стику стіна/підлога (внутрішній рівень підлоги дорівнює або вищий за зовнішній рівень землі)

Умовні позначення:

1 - адіабатична межа

2 - $0,5 \times B$ або 4 м

h_f - висота верху плити перекриття над рівнем землі

h_w - мінімальна відстань від стику до площини зрізу

W - ширина стіни над землею

ПРИМІТКА: Розміри моделі дорівнюють $0,5 \times B$ всередині будівлі та $2,5 \times B$ зовні будівлі та під землею.

б) Внутрішній рівень підлоги нижче зовнішнього рівня землі

L_{2D} отримується шляхом чисельного розрахунку всієї деталі (включаючи ґрунт, підвал і ізоляцію краю, якщо це застосовно). U_w розраховується з використанням [13], тоді як U_g і $U_{w,b}$ розраховуються за спрощеною процедурою в [14] для опалювального підвалу, включаючи будь-яку повну ізоляцію плити перекриття та передачу через стіну підвалу, а також, де це можливо, допуск на глибину підвалу та поправку на ізоляцію краю (див. Рис. 1.3.).

Обчисліть Ψ_g за формулою (1.14.) з використанням внутрішніх розмірів і за формулою (1.15.) з використанням зовнішніх розмірів:

$$\Psi_g = L_{2D} - (h_w + h_f) \cdot U_w - h_f \cdot U_{w,b} - 0,5 \times B \cdot U_g \quad \text{Форм.(1.14.)}$$

$$\Psi_g = L_{2D} - (h_w + h_f) \cdot U_w - h_f \cdot U_{w,b} - (0,5 \times B + w) \cdot U_g \quad \text{Форм.(1.15.)}$$

, де

U_w – коефіцієнт теплопередачі стіни над землею, змодельований у числовому розрахунку;

$U_{w,b}$ – коефіцієнт теплопередачі стіни підвалу, розрахований згідно з [14]

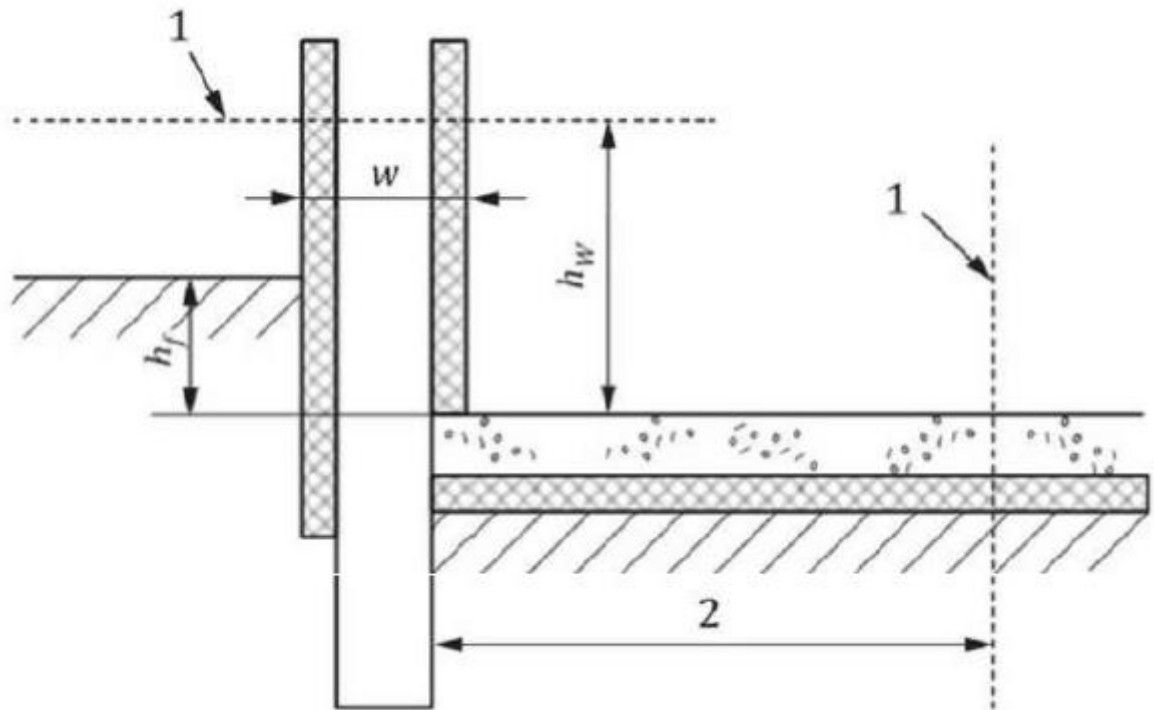


Рис. 1.3. Модель для розрахунку лінійного коефіцієнта теплопередачі стику стіни/підлоги (внутрішній рівень підлоги нижче зовнішнього рівня землі)

Умовні позначення:

1 - адіабатична межа

2 - $0,5 \times B$ або 4 м

h_f - висота верху плити перекриття над рівнем землі

h_w - мінімальна відстань від стику до площини зрізу

W - ширина стіни над землею

в) Внутрішній рівень підлоги дорівнює або перевищує зовнішній рівень землі

Зніміть стіну до рівня нижньої сторони плити перекриття (див. Рис. 1.4.).

Використовуйте адіабатичні межі, де стіна раніше контактувала з плитою

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

перекриття або землю. Отримайте $L_{2D,a}$ шляхом другого чисельного розрахунку на переглянутій деталі.

L_{2D} , і $L_{2D,a}$ отримують чисельним обчисленням.

потім,

$$\Psi_g = L_{2D} - h_w \cdot U_w L_{2D,a} \quad \text{Форм.(1.16.)}$$

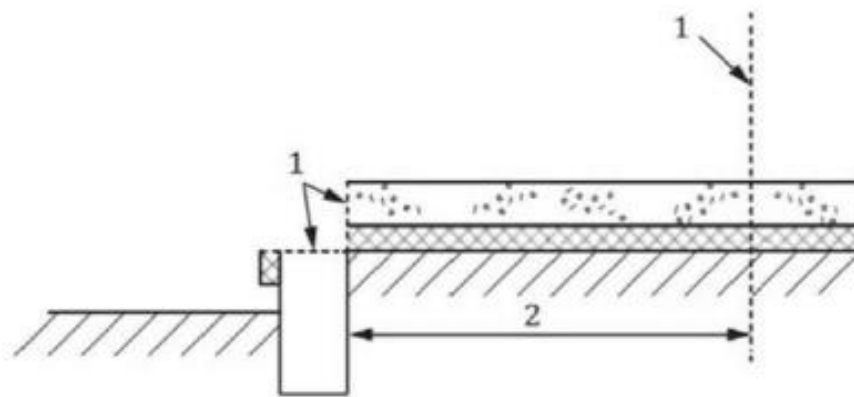


Рис. 1.5. – Модель для другого числового розрахунку (рівень внутрішньої підлоги дорівнює або вищий за рівень зовнішньої землі)

Умовні позначення:

1 - адіабатична межа

2 - $0,5 \times B$ або 4 м

г) *Внутрішній рівень підлоги нижче зовнішнього рівня землі*

Замініть весь матеріал під землею ґрунтом (але зберігши ізоляцію підлоги по всій поверхні) та видаліть стіну до рівня нижньої сторони плити переkritтя (див. Рис. 1.6.). Використовуйте адіабатичні межі там, де стіна раніше

контактувала з плитою перекриття або землею. Отримайте $L_{2D,a}$ за допомогою другого числового розрахунку на переглянутій деталі.

Як L_{2D} , так і $L_{2D,a}$ отримують числовим розрахунком.

Потім

$$\Psi_g = L_{2D} - (h_w - h_f) \cdot U_w - L_{2D,a} \quad \text{Форм.(1.17.)}$$

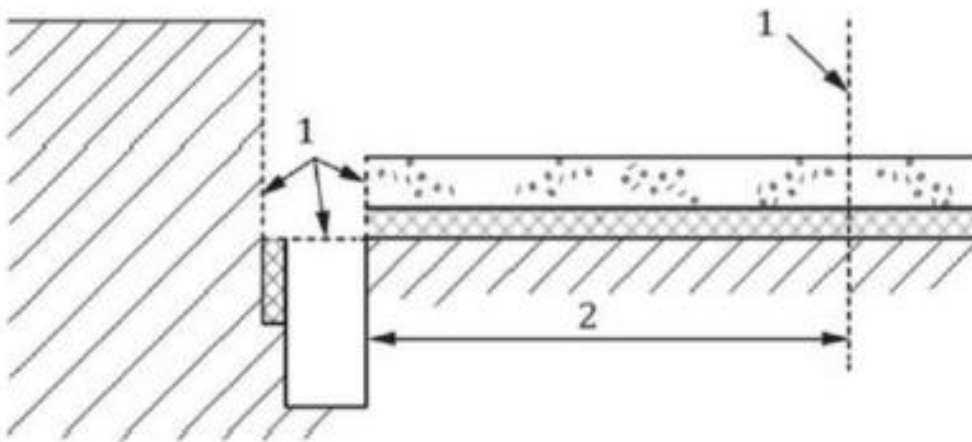


Рис. 1.6. – Модель для другого числового розрахунку (рівень внутрішньої підлоги нижче рівня зовнішньої землі)

Умовні позначення:

1 - адіабатична межа

2 - $0,5 \times B$ або 4 м

1.1.5 Визначення коефіцієнта зовнішньої періодичної теплопередачі для перших поверхів

Геометричну модель з попереднього розділу можна використовувати з методом числового розрахунку, що залежить від часу, для визначення як Ψ_g , так і коефіцієнта зовнішньої періодичної теплопередачі H_{pe} . Розмір кроків у

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

часі має бути таким, щоб забезпечити стабільний розрахунок. Визначте середній загальний тепловий потік через внутрішні поверхні у Вт/м² для кожного місяця року. Розрахунок продовжується, доки тепловий потік через внутрішні поверхні за грудень минулого року не відрізнятиметься менш ніж на 1% від теплового потоку в грудні попереднього року. Зазвичай це можна отримати, розраховуючи щонайменше за 10 років.

Внутрішня температура підтримується на постійному значенні $\bar{\theta}_i$, а зовнішня температура в момент часу t у °С, $\theta_e(t)$, представлена формулою (1.18.):

$$\theta_e(t) = \bar{\theta}_e - \widehat{\theta}_e \cdot \cos\left(2\pi \frac{t - \tau}{12}\right) \quad \text{Форм.(1.18.)}$$

,де

$\bar{\theta}_e$ – середньорічна зовнішня температура, °С;

$\widehat{\theta}_e$ – амплітуда коливань середньомісячної зовнішньої температури, К;

t – час, виражений у місяцях ($t = 0$ на початку січня);

τ – час, виражений у місяцях, коли спостерігається мінімальна зовнішня температура.

Для отримання додаткової інформації, включаючи властивості ґрунту, див. [14].

Для кожного місяця отримайте тепловий потік, q_m , на додаток до того, що враховується U_w та U_g , як зазначено у формулі (1.19.):

$$q_m = q_{c,m} - h_w \cdot U_w \cdot (\bar{\theta}_{int} - \theta_{e,m}) - 0,5 \times B \cdot U_g \cdot (\bar{\theta}_{int} - \bar{\theta}_e) \quad \text{Форм.(1.19.)}$$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

де $q_{c,m}$ – середній тепловий потік через внутрішні поверхні за місяць m , отриманий з числових результатів. Далі, як наведено у формулі (1.20.):

$$\Psi_g = \frac{\sum_{m=1}^{12} q_m}{12 \times (\bar{\theta}_{int} - \bar{\theta}_e)} \quad \text{Форм.(1.20.)}$$

та формула (1.21.):

$$H_{pe} = P \cdot \left(\frac{q_{max} - q_{min}}{2 \times \bar{\theta}_e} \right) \quad \text{Форм.(1.21.)}$$

P – це відкритий периметр підлоги;

q_{max} – максимальне значення q_m .

q_{min} – мінімальне значення q_m .

ПРИМІТКА:

H_{pe} , розраховане за формулою (1.21.), включає Ψ_g .

1.2 Нормативна база з визначення теплового опору будівель

Забезпечення енергоефективності будівель є одним із ключових завдань у сучасному будівництві. Одним із основних показників, що характеризує теплозахисні властивості огорожувальних конструкцій, є тепловий опір. У нормативній базі України визначені вимоги до методів його обчислення, мінімальних значень та особливостей врахування кліматичних умов.

Визначення теплового опору регламентується низкою державних будівельних норм (ДБН) та стандартів (ДСТУ), серед яких основними є:

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

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Затверджено Наказом Міністерства розвитку громад та територій України від 15.12.2021 № 342 та набрав чинності з 01.07.2022.

Цей нормативний документ є основним джерелом вимог до теплозахисту будівель в Україні. Він встановлює мінімально допустимі показники теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій, а також методику їх розрахунку. Головною метою документа є забезпечення енергоефективності, зменшення тепловтрат і створення належного мікроклімату в будівлях протягом усього року.

У ДБН В.2.6-31:2021 наведено нормативні та мінімально допустимі значення опору теплопередачі для різних типів огорожувальних конструкцій (стіни, дахи, підлоги, вікна тощо), що застосовуються залежно від функціонального призначення будівлі (житлова, громадська, промислова) та кліматичної зони. Також у документі враховано методики розрахунку приведеного опору теплопередачі з урахуванням теплових містків, вологісного режиму конструкцій, впливу паро- та повітропроникності, а також відновлюваних джерел енергії, якщо вони використовуються в будівлі.

Особливістю цієї редакції ДБН є оновлення норм відповідно до європейських підходів та гармонізація з Директивами ЄС щодо енергоефективності. Документ є обов'язковим для застосування в проектуванні нових будівель, реконструкції, капітальному ремонті та термомодернізації існуючих об'єктів. Також він є ключовим при сертифікації енергоефективності та оцінюванні відповідності об'єкта вимогам законодавства України у сфері енергозбереження.

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

Затверджено Наказом Мінрегіону України від 06.10.2022 № 201.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Цей стандарт є чинним нормативним документом в Україні, який визначає методологію енергетичного моделювання будівель для оцінки їх енергоефективності. Він є ключовим у контексті реалізації державної політики з енергозбереження та гармонізований із європейським підходом до розрахунків енергоспоживання.

ДСТУ 9191:2022 регламентує порядок побудови математичної моделі будівлі з урахуванням її конструктивних, кліматичних, інженерних та експлуатаційних характеристик. У документі визначено основні параметри, які впливають на енергетичну поведінку будівлі: геометрія, орієнтація, огорожувальні конструкції, теплові мости, кліматичні умови, внутрішні тепловиділення, системи опалення, вентиляції, кондиціонування, гарячого водопостачання, а також використання поновлюваних джерел енергії.

Особлива увага у стандарті приділена використанню програмного забезпечення для моделювання енергоспоживання, зокрема вимогам до точності розрахунків, типу моделей та етапів моделювання. Стандарт також визначає структуру звіту з результатами моделювання, який може бути використаний для сертифікації енергоефективності, порівняльного аналізу варіантів реконструкції чи нових проектів.

ДСТУ 9191:2022 є обов'язковим для фахівців, які займаються енергетичним аудитом, проектуванням енергоефективних будівель, впровадженням стандартів сталого будівництва, а також для сертифікованих енергоаудиторів та експертів з енергозбереження. Він сприяє уніфікації розрахунків і забезпечує прозорість та об'єктивність під час визначення класу енергоефективності будівель.

1.2.3 ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010 Конструкції будинків і споруд. Настанова щодо проектування й улаштування вікон та дверей.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Затверджено наказом Мінрегіонбуду України від 15.11.2010 р. № 444

ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010 «Настанова з проектування теплової ізоляції будівель» є настановчим нормативним документом, який містить методичні рекомендації щодо забезпечення теплозахисту будівель та споруд. Цей документ розроблений для доповнення та конкретизації положень основних будівельних норм і стандартів, що стосуються розрахунку теплового опору огорожувальних конструкцій. У настанові викладено основи проектування теплової ізоляції з урахуванням вимог енергозбереження, санітарно-гігієнічних умов, довговічності та економічної доцільності. Документ містить рекомендації щодо вибору матеріалів для утеплення, розрахунку теплового опору багатошарових конструкцій, визначення впливу вологи, а також способів забезпечення необхідного рівня теплозахисту будівель у різних кліматичних умовах України. Особливу увагу приділено розгляду практичних аспектів проектування теплоізоляції – наприклад, необхідності врахування повітропроникності конструкцій, пароізоляції, впливу теплових містків, захисту від конденсації вологи та збереження експлуатаційних властивостей матеріалів протягом усього життєвого циклу будівлі. Настанова також містить приклади розрахунків і типові рішення для різних видів огорожувальних конструкцій. ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010 використовується проєктувальниками, інженерами та технічними експертами при розробленні проєктної документації, а також є важливим джерелом для освітніх цілей у сфері будівництва.

1.2.4 ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Поправка»

ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Настанова з будівельної кліматології» є настановчим нормативним документом, який встановлює основні кліматичні

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

характеристики, необхідні для проектування будівель та споруд на території України. Документ містить систематизовані дані щодо кліматичних умов для різних населених пунктів, які враховуються під час розрахунку теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій, вентиляційних систем, опалення, кондиціонування та інших інженерних рішень. У настанові подано інформацію про середньомісячні та середньорічні температури повітря, кількість днів опалювального періоду, середню температуру опалювального періоду, розрахункові зовнішні температури повітря для опалення, вентиляції і кондиціонування, середню вологість, швидкість вітру, інтенсивність сонячної радіації та інші кліматичні параметри. Ці показники використовуються як вихідні дані при визначенні теплового опору огорожувальних конструкцій, виборі матеріалів утеплення та оцінці енергоефективності будівель. Документ також містить рекомендації щодо зонування території України за кліматичними умовами та пояснення щодо правильного застосування кліматичних показників у розрахунках. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 є обов'язковим довідковим джерелом у проєктній практиці та забезпечує єдність підходів до врахування кліматичних факторів у будівництві.

1.2.5 ДСТУ EN ISO 6946:2022 ДСТУ EN ISO 6946:2022 Будівельні компоненти. Термічний опір і теплопроникність. Методи розрахунку (EN ISO 6946:2017, IDT; ISO 6946:2017, IDT)

ДСТУ EN ISO 6946:2022 «Будівлі. Елементи огорожувальних конструкцій. Опір теплопередачі та коефіцієнт теплопередачі. Метод розрахунку (EN ISO 6946:2017, IDT)» є державним стандартом України, гармонізованим з міжнародним стандартом ISO. Цей документ встановлює методику розрахунку теплового опору та коефіцієнта теплопередачі для плоских багатошарових огорожувальних конструкцій будівель, таких як зовнішні стіни, перекриття, покрівлі, підлоги та стелі. Стандарт передбачає

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

використання теплофізичних характеристик кожного шару конструкції (товщини та коефіцієнтів теплопровідності) для обчислення загального теплового опору конструкції. Також у ньому враховується вплив повітряних прошарків і поверхневих термічних опорів (внутрішніх та зовнішніх плівок). Документ містить алгоритми розрахунку як для однорідних, так і для неоднорідних конструкцій, де застосовується метод середнього значення для визначення ефективного опору. Водночас стандарт не враховує теплові містки, які потребують окремого моделювання відповідно до інших нормативів. ДСТУ EN ISO 6946:2022 є важливим інструментом для проєктувальників, енергоаудиторів та інженерів, оскільки дозволяє проводити точні розрахунки теплозахисних властивостей будівель та забезпечувати відповідність конструкцій вимогам з енергоефективності. Стандарт широко використовується в практиці будівельного проєктування, у тому числі в рамках програмного забезпечення для енергетичного моделювання та сертифікації.

1.2.6 ДСТУ EN ISO 6946:2022

EN 12831:2003 «Heating systems in buildings - Method for calculation of the design heat load» представляє європейський підхід, орієнтований на розрахунок навантаження на систему опалення. Його кардинальна відмінність полягає в тому, що вплив лінійних містків холоду враховується не шляхом коригування характеристик стіни, а через зміну коефіцієнта теплопередачі світлопрозорої конструкції (вікна)¹⁰. Скоригований коефіцієнт ΔU_{kc} визначається додаванням поправки ΔU_{tb} , що залежить від площі та периметру вікна. Такий підхід не враховує теплофізичні властивості непрозорої частини огороження, що робить його менш чутливим до типу стінової конструкції.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

РОЗДІЛ 2
ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОПРОВІДНИХ
ВКЛЮЧЕНЬ

Студент / _____ /

Керівник / _____ /

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

2.1. Моделювання теплових потоків

2.1.1 Реалізація чисельної моделі теплопередачі у вузлі примикання

У процесі дослідження теплотехнічних характеристик будівельних конструкцій особливу увагу слід приділяти вузлам примикання, оскільки саме в цих місцях найчастіше виникають так звані теплові мости. Для того щоб оцінити розподіл температури у такому вузлі, було створено чисельну модель у середовищі Scilab.

Вона базується на методі скінченних різниць і дозволяє простежити, як змінюється температура у поперечному перерізі стіна–віконний блок, враховуючи різні матеріали та їх теплофізичні властивості.

У моделі прийнято, що товщина стіни разом з утеплювачем становить 0,5 м, а висота досліджуваного фрагмента дорівнює 1 м. Область була розбита на обчислювальну сітку, яка містить 50 вузлів по горизонталі та 100 вузлів по вертикалі. Такий вибір параметрів забезпечує компроміс між точністю результатів та швидкістю розрахунку. У середині цієї області виділено кілька зон, що відповідають реальним елементам конструкції: це стіна з утеплювачем, віконна рама та склопакет. Всі вони розташовані у центральній частині моделі, що дає змогу врахувати вплив неоднорідності на тепловий режим.

Кожному з елементів були призначені свої коефіцієнти теплопровідності. Наприклад, для цегли було прийнято значення $\lambda = 0,8 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, для утеплювача – $\lambda = 0,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, для віконної рами – $\lambda = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, а для скла – $\lambda = 1,0 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$. Ці дані були занесені в окрему матрицю теплопровідностей, яка відповідає координатам сітки. Таким чином, у будь-якій точці області можна було врахувати, який саме матеріал розташований і які його властивості.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Важливим кроком у постановці задачі є задання початкових та граничних умов. Для внутрішнього середовища було прийнято температуру 20 °С, а для зовнішнього – мінус 10 °С. Відповідно, ліва межа області моделі фіксується на рівні внутрішньої температури, а права – на рівні зовнішньої. Для того щоб ітераційний алгоритм швидше збігався, початковий розподіл температури між цими границями задавався не випадковим чином, а у вигляді лінійного профілю – від 20 °С до –10 °С. Це дозволяє значно зменшити кількість необхідних обчислень.

Основним інструментом розв’язання була обрана ітераційна схема Гаусса–Зейделя. Вона дає змогу поступово уточнювати значення температур у кожному вузлі обчислювальної сітки, використовуючи дані з найближчих сусідніх точок. У кожному кроці розрахунку температура в конкретному вузлі обчислюється як середньозважене значення від температур сусідніх вузлів з урахуванням теплопровідності на межах між матеріалами. Таким чином, програма послідовно оновлює температуру в усіх точках, поки зміни не стають настільки малими, що розрахунок можна вважати завершеним. У даному випадку критерій зупинки було обрано як різницю між новими та попередніми значеннями, яка не перевищує 10^{-4} . Це забезпечує достатньо високу точність і разом із тим не призводить до надмірних витрат часу на розрахунок.

Після завершення обчислень отриманий розподіл температури відображається у вигляді графіка. Для цього використовується функція *Sgrayplot*, яка формує псевдоколірну карту. Завдяки цьому можна наочно побачити, як температура змінюється у різних ділянках конструкції, а також легко визначити проблемні місця. Зокрема, візуалізація дозволяє виявити ділянки з підвищеною щільністю теплового потоку, які відповідають тепловим мостам. У реальних умовах саме в цих зонах найчастіше виникає ризик утворення конденсату та зниження теплового комфорту.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Вибір саме методу скінченних різниць і алгоритму Гаусса–Зейделя обумовлений їх відносною простотою та ефективністю для двовимірних задач теплопровідності. На відміну від більш складних програмних пакетів, які вимагають значних ресурсів та ліцензій, Scilab дає змогу реалізувати потрібну модель у відкритому середовищі, а також легко модифікувати параметри та умови задачі. Таким чином, дослідник отримує гнучкий інструмент, придатний як для навчальних експериментів, так і для проведення наукових досліджень.

Практична цінність моделі полягає у можливості кількісно оцінювати теплові втрати через вузли примикання, прогнозувати температурний режим внутрішньої поверхні та визначати ймовірність появи зон конденсації. Крім того, результати чисельного аналізу можуть бути використані для оптимізації конструкційних рішень, вибору матеріалів і товщини утеплювача, що є важливим у сучасних умовах енергозбереження та підвищення ефективності будівель.

Загалом розроблений скрипт можна розглядати як універсальний приклад застосування чисельних методів у будівельній фізиці. Він показує, як за допомогою нескладних математичних засобів і програмного коду можна досліджувати складні явища теплопередачі в неоднорідних системах. Отримані результати дозволяють зробити висновки щодо енергоефективності будівлі та сприяють пошуку рішень для покращення теплового захисту огорожувальних конструкцій.

2.1.2 Фізико-математичне моделювання теплопередачі в неоднорідних огорожувальних конструкціях

1. Фізична модель теплового потоку

Фізична модель описує теплопередачу через неоднорідну конструкцію, враховуючи:

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

- Геометрію системи: вузол примикання включає стіну (з утеплювачем), віконну раму, склопакет і з'єднувальні елементи (наприклад: монтажну піну, герметики).
- Матеріали: кожен елемент має різні теплофізичні властивості (теплопровідність λ , теплоємність c , густина ρ).
- Умови теплопередачі:
 - а) Внутрішня температура T_{int} (20°C)
 - б) Зовнішня температура T_{ext} (-10°C)
 - в) Конвективний теплообмін на внутрішній і зовнішній поверхнях (коефіцієнти тепловіддачі α_{int} , α_{ext})
- Тип теплопередачі: у даному випадку переважає теплопровідність через тверді матеріали (стіна, утеплювач, рама, скло) та конвекція на поверхнях. Радіаційний теплообмін може враховуватися для склопакета, але часто є другорядним.
- Неоднорідність: вузол примикання має складну геометрію та різні матеріали, що прозводить до двовимірного або тривимірного розподілу температури.

Спрощення для фізичної моделі:

- Розглядаємо стаціонарний режим теплопередачі (температура не змінюється з часом)
- Геометрію спрощуємо до двовимірної (поперечний переріз вузла примикання).
- Враховуємо теплопровідність і конвективний теплообмін, ігноруючи радіацію для спрощення.

Схема фізичної моделі:

1. Стіна: складається з основного матеріалу та утеплювача
2. Віконна рама

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

3. Склопакет: багат шарове скло з повітряними прошарками

4. З'єднувальні елементи: монтажна піна, герметики.

5. Граничні умови:

- Внутрішня поверхня: $T = T_{int}$ або конвективний теплообмін ($q = \alpha_{int} T$)
- Зовнішня поверхня $T = T_{ext}$ або $q = \alpha_{ext} T$.

6. Тепловий потік: тепловий потік $q \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2} \right]$ через конструкцію визначається законом Фур'є

$$q = -\lambda \nabla T, \quad \text{Форм.(2.1.)}$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності, ∇T – градієнт температури.

2. Математична модель

Для моделювання теплового потоку в неоднорідній конструкції використовуємо рівняння теплопровідності в стаціонарному режимі (рівняння Лапласа), враховуючи неоднорідність матеріалів.

Основне рішення

У стаціонарному режимі тепловий потік описується рівнянням теплопровідності:

$$\nabla \cdot (\lambda \nabla T) = 0 \quad \text{Форм.(2.2.)}$$

де:

$T_{(x,y)}$ – температура в точці (x,y) у двовимірній системі,

$\lambda_{(x,y)}$ – коефіцієнт теплопровідності, який залежить від матеріалу в даній точці.

Для 2-D системи рівняння має вигляд:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) = 0 \quad \text{Форм.(2.3.)}$$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Граничні умови:

1. На внутрішній поверхні (стіна, рама, скло):

$$-\lambda \frac{\delta T}{\delta n} = \alpha_{int} (T_{int} - T_{surface}) \quad \text{Форм.(2.4.)}$$

,де $\frac{\delta T}{\delta n}$ – похідна по нормалі до поверхні,

α_{int} – коефіцієнт тепловіддачі.

2. На зовнішній поверхні

$$-\lambda \frac{\delta T}{\delta n} = \alpha_{ext} (T_{surface} - T_{ext}) \quad \text{Форм.(2.5.)}$$

3. На межах матеріалів:

- Температура неперервна: $T_1 = T_2$
- Тепловий потік неперервний: $\lambda_1 \frac{\delta T_1}{\delta n} = \lambda_2 \frac{\delta T_2}{\delta n}$

1. Метод скінченних елементів

- Розбиваємо область на скінченну кількість елементів (трикутники або прямокутники).
- Для кожного елемента задаємо рівняння теплопровідності з відповідними λ .
- Враховуємо граничні умови та умови сполучення.
- Використовуємо програмне забезпечення (наприклад: ANSYS, COMSOL, Multiphysics) для числового розв'язання.

2. Метод скінченних різниць

- Дискретизуємо область на сітку.
- Замінюємо похідні скінченними різницями:

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

$$\frac{\delta}{\delta x} \left(\lambda \frac{\delta T}{\delta x} \right) \approx \frac{\lambda_{i+1/2} (T_{i+1j} - T_{i,j})}{\Delta x^2} \quad \text{Форм.(2.6.)}$$

- Розв'язуємо систему лінійних рівнянь.

3. Спрощений одновимірний аналіз (для оцінки): Для окремих ділянок (стіна, скло) можна застосувати закон теплопровідності:

$$q = \frac{T_{int} - T_{ext}}{\sum \left(\frac{d_i}{\lambda_i} \right) + \frac{1}{\alpha_{int}} + \frac{1}{\alpha_{ext}}} \quad \text{Форм.(2.7.)}$$

де d_i – товщина шару, λ_i – коефіцієнт теплопровідності.

2.1.3 Результати моделі

Отриманий розподіл температури $T(x, y)$ дозволяє визначити:

- Зони можливого утворення конденсату (де $T < T_{dew}$).
- Теплові втрати через вузол примикання.
- Температуру на внутрішній поверхні для оцінки комфорту.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

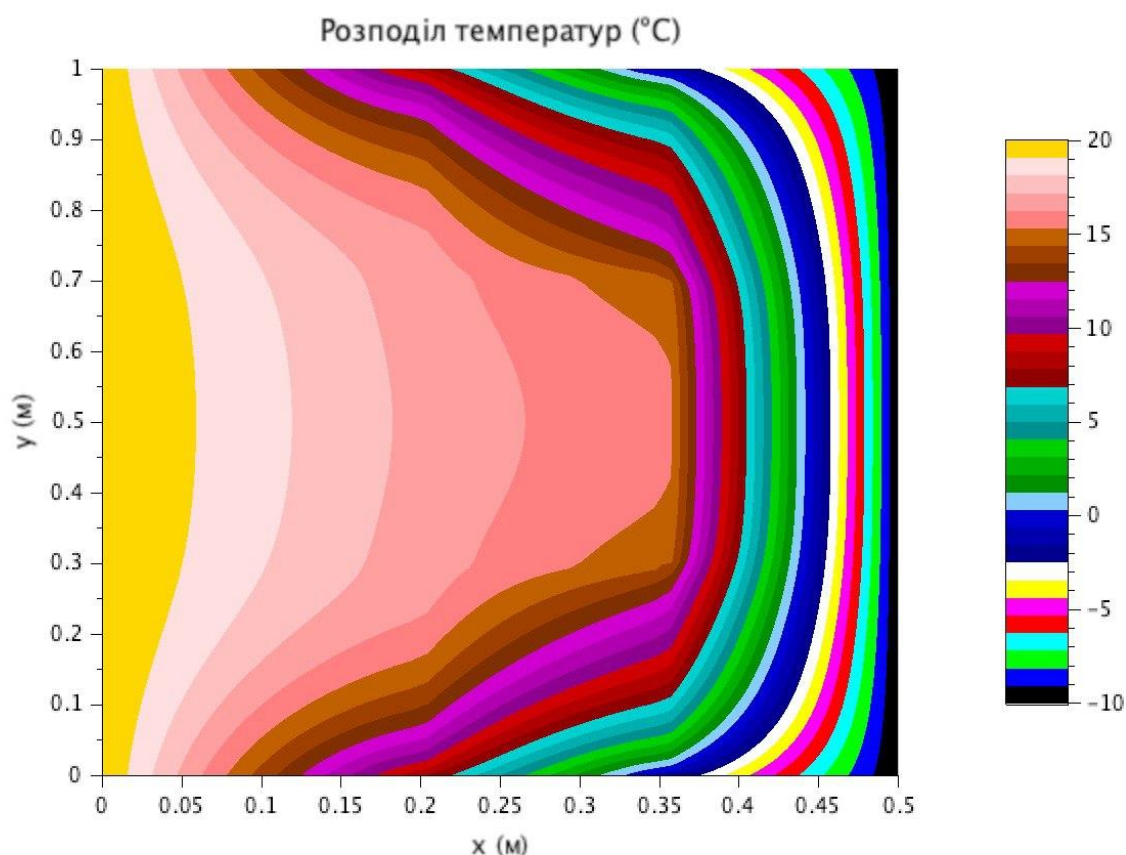


рис.2.1. «Розподіл температур у поперечному перерізі вузла стіна–віконний блок»

Це зображення відображає розподіл температур у поперечному перерізі вузла «стіна–віконний блок», отриманий у результаті роботи чисельної моделі. На графіку показані ізотерми, які характеризують зміни температури в залежності від координат x (товщина стіни) та y (висота розрахункової ділянки).

Зліва (при $x = 0$) видно жовту зону з температурою близько $+20^{\circ}\text{C}$, що відповідає внутрішній поверхні стіни, яка контактує з теплим повітрям приміщення. Справа (при $x = 0,5$ м) зображено темну ділянку з температурою близько -10°C , що відповідає зовнішньому повітрю. Між цими крайніми зонами поступово змінюється колірна палітра, що відображає зниження температури від центру до периферії.

Нерівномірність температурних ліній добре ілюструє вплив неоднорідної структури конструкції. В області, де розташовані матеріали з меншою теплопровідністю (утеплювач), ізотерми віддалені одна від одної, що свідчить про уповільнений тепловий потік. Навпаки, у зонах, де знаходиться скло та елементи віконної рами, спостерігається помітне ущільнення ізотерм. Це означає, що тепло тут проходить інтенсивніше, формуючи характерні теплові мости.

Особливо важливо відзначити, що на внутрішній поверхні в окремих зонах температура помітно знижується порівняно із середнім рівнем. Це потенційно небезпечні ділянки з точки зору утворення конденсату та розвитку грибка, оскільки температура може знизитися до точки роси.

Таким чином, отриманий результат підтверджує правильність побудованої моделі та демонструє реальну картину теплових процесів у вузлі примикання. Графік дозволяє наочно визначити місця найбільших теплових втрат і є основою для подальшої оптимізації конструкції — зокрема, вибору ефективніших теплоізоляційних матеріалів чи удосконалення геометрії примикання.

У результаті проведеного моделювання було реалізовано чисельну модель теплопередачі у вузлі примикання «стіна–віконний блок» із використанням середовища Scilab. Створений програмний код на основі методу скінченних різниць і алгоритму Гаусса–Зейделя дав можливість отримати двовимірний розподіл температури в неоднорідній конструкції з урахуванням різних теплофізичних властивостей матеріалів.

Результати розрахунків показали, що найбільші теплові втрати спостерігаються в зонах віконної рами та склопакета, де утворюються теплові мости. Водночас шар утеплювача забезпечує значне зниження теплового потоку, формуючи плавний градієнт температур. Аналіз

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

температурних полів дозволив визначити потенційно небезпечні ділянки, де температура внутрішньої поверхні може знижуватися до рівня, близького до точки роси, що створює умови для утворення конденсату та погіршення теплового комфорту.

Таким чином, проведені дослідження підтвердили доцільність використання чисельного моделювання для аналізу теплотехнічного стану вузлів примикання. Розроблений підхід може застосовуватися для оптимізації будівельних конструкцій, вибору теплоізоляційних матеріалів та вдосконалення вузлів з метою підвищення енергоефективності будівель і забезпечення нормативних вимог щодо теплозахисту.

2.2. Методика обчислення приведенного опору

2.2.1. Графічне моделювання температурного поля огорожувальної конструкції

У сучасному будівництві, де ключовим пріоритетом є енергоефективність, недостатньо спиратися лише на спрощені, одновимірні розрахунки теплопередачі. Реальні огорожувальні конструкції (стіни, дахи, стики) є термічно неоднорідними системами, що містять так звані «містки холоду». Ці ділянки, утворені металевими кріпленнями, залізобетонними включеннями чи іншими елементами з високою теплопровідністю, суттєво змінюють картину теплових потоків, спричиняючи значні додаткові втрати енергії. Точне визначення цих втрат вимагає застосування сучасних інструментів, що дозволяють візуалізувати та аналізувати складні теплові процеси.

Графічне моделювання температурного поля — це потужний інструмент, що дозволяє не лише обчислити, а й наочно представити розподіл температур усередині та на поверхні конструкції. Замість абстрактних цифр, ми отримуємо термограми (кольорові карти ізотерм), які миттєво виявляють проблемні зони. Як видно на прикладі, отриманому в програмному

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

середовищі, візуалізація ізотерм (кривих однакових температур) дозволяє інженерам і проектувальникам ідентифікувати найбільш вразливі місця, де лінії згущуються, що свідчить про інтенсивний тепловий потік. Наприклад, на представленій термограмі чітко видно, як лінії температури викривляються і ущільнюються в зоні примикання стіни до віконного блоку, демонструючи формування термічного мосту.

Для виконання цього завдання буде використано спеціалізоване програмне середовище «Therm». Завдяки методу скінченних елементів, який лежить в основі цього програмного комплексу, ми зможемо створити детальні двовимірні моделі типових вузлів огорожувальних конструкцій. Це дозволить провести числовий аналіз і отримати точні дані про температурні поля, щільність теплових потоків, а також розрахувати лінійні та точкові коефіцієнти теплопередачі (Ψ , χ). Ці параметри є критично важливими для подальшого визначення приведенного опору теплопередачі конструкції, що відповідає вимогам чинних нормативних документів.

Результати цього моделювання стануть основою для висновків щодо ефективності застосованих рішень та розробки практичних рекомендацій для підвищення теплозахисту будівель.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

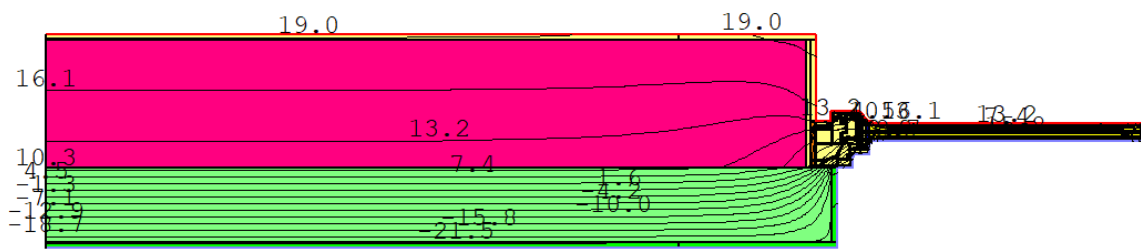


рис.2.2. Вузол примикання віконного блоку до зовнішньої огорожувальної конструкції.

На рисунку 2.2. представлено результати графічного моделювання стаціонарного температурного поля для вузла примикання віконного блоку до зовнішньої огорожувальної конструкції. Моделювання було виконане у спеціалізованому програмному середовищі THERM, яке використовує метод скінченних елементів для вирішення задач теплопередачі.

Моделювання проводилося для розрахункових умов, що відповідають холодній порі року: внутрішня температура повітря приймалася $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура зовнішнього середовища — $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Конструкція вузла складається з матеріалів з різними теплотехнічними характеристиками, що і є причиною його теплотехнічної неоднорідності:

- Зовнішня стіна: газобетон, $\lambda = 0,12\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
- Шар утеплювача: мінеральна вата, $\lambda = 0,045\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
- Віконна рама: ПВХ-профіль, $\lambda = 0,18\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$;
- Герметизаційний шар: монтажна піна, $\lambda = 0,04\text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Отримана термограма наочно візуалізує розподіл тепла. Ізотерми (лінії однакових температур) показують поступове зниження температури від

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

внутрішньої поверхні (зображена червоним кольором, де температура сягає +19 °С) до зовнішньої (зелена зона з температурою близько -22 °С).

Ключовим результатом моделювання є ідентифікація «містка холоду». Його наявність підтверджується такими візуальними ознаками:

1. Деформація температурного поля: У зоні стику віконної рами зі стіною спостерігається значне викривлення ізотерм. Вони ніби "втягуються" у конструкцію, що вказує на шлях найменшого термічного опору, яким тепло інтенсивно покидає приміщення.
2. Згущення ізотерм: Найщільніше розташування ліній температур спостерігається саме в області ПВХ-профілю та зони його примикання. Згущення ліній свідчить про різкий перепад (градієнт) температури на малій відстані, що, згідно із законом Фур'є, вказує на значно вищу щільність теплового потоку порівняно з основною площиною стіни.

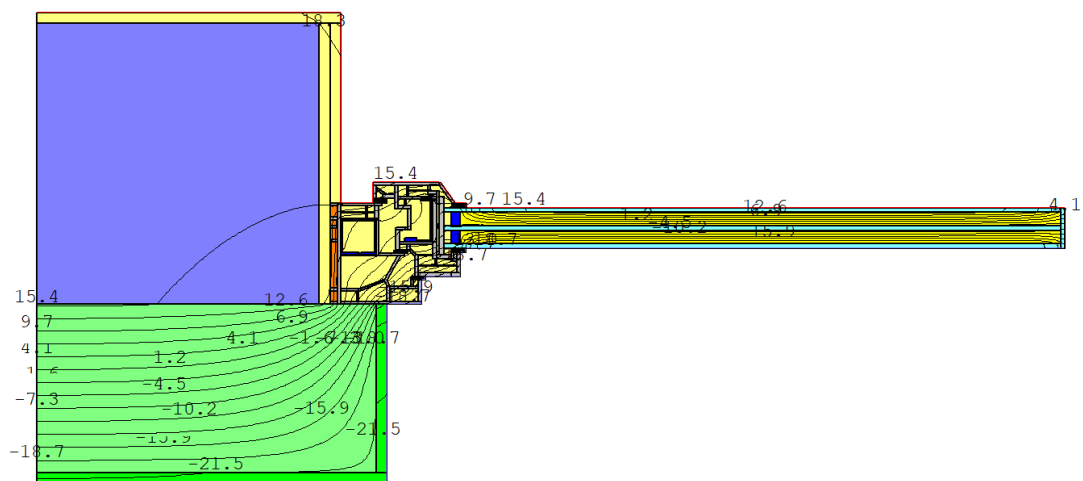


рис 2.3. Вузол примикання віконного блоку до зовнішньої огорожувальної конструкції.

На рисунку 2.3. наведено результати числового моделювання температурного поля у вузлі примикання віконного блоку до зовнішньої огорожувальної

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

конструкції. Модель побудовано для оцінки впливу теплопровідних включень у зоні стику різнорідних матеріалів – стіни, шару утеплювача, віконного профілю та склопакета.

Умови моделювання прийнято відповідно до реальних експлуатаційних параметрів: температура внутрішнього повітря $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$, зовнішнього середовища $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$. Граничні умови задано по поверхнях внутрішньої та зовнішньої сторін конструкції з урахуванням коефіцієнтів тепловіддачі.

Як видно з рисунка, у товщі зовнішньої стіни температура поступово знижується від $+15,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (внутрішня поверхня) до $-21,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (зовнішня межа). У центральній частині стіни ізотерми мають плавний горизонтальний характер, що відповідає рівномірному розподілу температур. Проте в зоні віконного отвору та стику матеріалів спостерігається значне викривлення ізотерм, що свідчить про зміну напрямку теплового потоку та наявність теплопровідного включення.

Найнижчі температури фіксуються в області підвіконного вузла, де ізотерми згущуються і різко змінюють форму. Це свідчить про підвищену густину теплового потоку та, відповідно, збільшені тепловтрати через дану ділянку. Температура на внутрішній поверхні в зоні стику віконного профілю нижча за температуру на внутрішній поверхні стіни на $3\text{--}4\text{ }^{\circ}\text{C}$, що може призводити до утворення конденсату або зволоження матеріалів під час експлуатації.

Отримані результати підтверджують, що вузол примикання вікна є потенційним джерелом теплових втрат. Для підвищення енергоефективності конструкції доцільно застосовувати термовставки з низькою теплопровідністю, додаткові шари утеплювача або модифіковані монтажні рішення із зменшенням площі контакту теплопровідних елементів.

Таким чином, побудована модель дозволила визначити зони ризику в огорожувальній конструкції, де можливе порушення температурного

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

режиму, і слугує основою для подальшого аналізу приведенного опору теплопередачі.

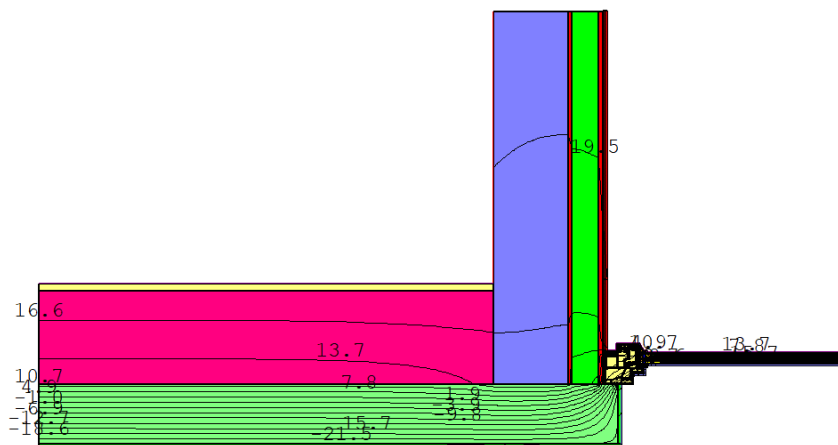


рис 2.4. Вузол примикання зовнішньої стіни до міжповерхового перекриття

На рисунку 2.4. наведено результати комп'ютерного моделювання температурного поля у фрагменті огорожувальної конструкції будівлі – у зоні стику зовнішньої стіни та міжповерхового перекриття. Дослідження виконано з метою визначення характеру розподілу температур та виявлення ділянок із підвищеним тепловим потоком, що спричинені теплопровідними включеннями у конструкції.

Під час моделювання прийнято такі умови: температура внутрішнього повітря +20 °С, температура зовнішнього середовища –22 °С. Граничні умови теплообміну встановлено відповідно до нормативних значень коефіцієнтів тепловіддачі для внутрішніх і зовнішніх поверхонь.

У товщі стіни температура плавно знижується від +19,5 °С на внутрішній поверхні до –21,5 °С на зовнішній стороні конструкції. У середині шару утеплювача формується область ізотерм температур у межах 7–13 °С, що

свідчить про нормальний тепловий перехід через конструкцію без локальних втрат.

Однак у зоні стику стіни з перекриттям спостерігається викривлення ізотерм і зниження температури до $+3...+5$ °С, що вказує на наявність містка холоду. У цій частині тепловий потік локально збільшується, що може спричинити підвищені втрати тепла, а також появу зон з ризиком утворення конденсату при тривалому охолодженні матеріалу.

Виділені ділянки теплопровідних включень свідчать про необхідність удосконалення вузла конструкції. Для зменшення впливу теплопровідності доцільно:

- застосувати теплоізоляційні вставки у зоні стику перекриття та стіни;
- передбачити перекриття містка холоду шаром утеплювача;
- використати матеріали з нижчою теплопровідністю у зоні примикання.

Отримані результати підтверджують, що навіть при достатній товщині основного теплоізоляційного шару, саме місця конструктивних стиків визначають ефективність теплозахисної оболонки будівлі. Аналіз таких температурних полів є важливою частиною оцінки енергоефективності та дозволяє виявити потенційно проблемні ділянки ще на етапі проектування.

Аналіз температур на внутрішній поверхні показує, що в зоні контакту рами та укосу температура знижується до критичних значень $+13 ... +14$ °С. При певній вологості внутрішнього повітря ця температура може виявитися нижчою за «точку роси», що неминуче призведе до випадіння конденсату на поверхні. Довготривалий вплив вологи, у свою чергу, створює сприятливі умови для розвитку плісняви та грибка, а також може призвести до поступової деградації матеріалів.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

При цьому основна частина стіни, захищена ефективним утеплювачем (мінеральною ватою), зберігає стабільний та рівномірний температурний градієнт, що є бажаним для енергоефективної конструкції.

Таким чином, отримані результати моделювання наочно підтверджують ключову тезу дослідження: навіть при використанні сучасних матеріалів, конструктивні вузли та стики є слабкими місцями теплоізоляційної оболонки. Вони суттєво впливають на теплотехнічну однорідність та загальний приведений опір теплопередачі, вимагаючи впровадження спеціальних інженерних рішень, таких як використання терморозривів, утеплених укосів або монтажних систем з покращеними тепловими характеристиками.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3
РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОПРОВІДНИХ
ВКЛЮЧЕНЬ

Студент / _____ /

Керівник / _____ /

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1. Конструктивні рішення

3.1.1. Рішення для горизонтальних містків холоду (примикання балконних плит та міжповерхових перекриттів).

Горизонтальні теплопровідні включення, зокрема вузли примикання залізобетонних балконних плит та міжповерхових перекриттів до огорожувальної конструкції, є одними з найбільш критичних з точки зору теплових втрат та гіротермічного комфорту. Висока теплопровідність бетону та арматури $\lambda \approx 1.7 - 2.04 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ призводить до формування багатовимірних теплових потоків, що спричиняє значне зниження температури на внутрішній поверхні у зоні примикання. Це, у свою чергу, зумовлює суттєві некомпенсовані втрати тепла, що кількісно описуються лінійним коефіцієнтом теплопередачі ψ , та створює високий ризик поверхневої конденсації вологи і, як наслідок, розвитку мікробіологічної корозії (плісняви).

Аналіз традиційних конструктивних рішень, де плита перекриття або балконна плита є монолітним продовженням внутрішніх конструкцій, що прорізає теплоізоляційний шар, свідчить про неприпустимо високі значення ψ та критично низький температурний фактор f_{Rsi} (часто нижче 0.72), що не відповідає нормативним вимогам енергоефективності.

Для нівелювання негативного впливу цих містків холоду в сучасному енергоефективному будівництві застосовується низка інженерних рішень, що різняться за ефективністю, складністю реалізації та сферою застосування (нове будівництво чи реконструкція).

1. Застосування спеціалізованих терморозривів (термовкладишів)

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

Найбільш технологічним та ефективним методом є інтеграція у вузол примикання несучих термоізоляційних елементів (також відомих як "терморозриви" або "термовкладиші").

Дані елементи є композитною конструкцією, що складається з:

- Теплоізоляційного блоку: Виготовляється з матеріалів з екстремально низькою теплопровідністю, таких як екструдований пінополістирол високої щільності (XPS), спінений полістирол з графітовими домішками або жорстка мінеральна вата високої щільності.
- Силового каркаса: Арматурні стержні, що проходять крізь утеплювач та забезпечують сприйняття згинальних моментів та поперечних сил. Для мінімізації теплопередачі силова арматура часто виготовляється з нержавіючої сталі (яка має приблизно втричі нижчу теплопровідність порівняно зі звичайною вуглецевою сталлю) або з композитних матеріалів (наприклад, склопластику).

Впровадження таких термовкладишів дозволяє фактично роз'єднати теплий внутрішній контур (плита перекриття) та холодний зовнішній (балконна плита), забезпечуючи при цьому необхідну несучу здатність вузла. Ефективність даного рішення полягає у радикальному зменшенні лінійного коефіцієнта теплопередачі ψ (до 80-90% порівняно з традиційним вузлом) та гарантованому підвищенні температури на внутрішній поверхні, що унеможливорює конденсацію.

2. Конструктивне від'єднання балконних конструкцій

Альтернативним методом, що повністю виключає виникнення містка холоду, є архітектурно-конструктивне відокремлення балконів від основної будівлі.

Це реалізується двома основними способами:

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

1. Балкони на власних опорах: Проектування балконів як самонесучих конструкцій, що спираються на власні колони або пілони, примикаючи до фасаду без жорсткого зв'язку з плитами перекриття.
2. Підвісні конструкції: Використання балконів, що кріпляться до несучої стіни за допомогою спеціальних консольних кронштейнів, які проходять крізь теплоізоляційний шар точково, а не лінійно.

Хоча цей метод є термічно ідеальним, його застосування часто обмежується архітектурними, естетичними або конструктивними міркуваннями (особливо в умовах щільної забудови) і є доцільним переважно у новому будівництві.

3. Локалізоване утеплення (компенсаційний метод)

У випадках, коли повноцінний терморозрив або конструктивне від'єднання неможливі (зокрема, при реконструкції існуючого фонду), застосовується метод локалізованого додаткового утеплення.

Метод полягає у влаштуванні суцільного шару ефективного утеплювача (зазвичай XPS або PIR-плит через їх високу міцність на стиск та низьке водопоглинання) по верхній та нижній поверхнях балконної плити, а також по її торцю.

Важливо: Для досягнення мінімального ефекту, утеплювач має заходити не лише на горизонтальні поверхні балкона, але й обов'язково заводитись на вертикальну площину фасаду (як зверху, так і знизу плити) на відстань не менше 500 мм, створюючи так званий "тепловий бандаж".

Дане рішення не усуває місток холоду повністю, але дозволяє змістити ізотерми та підвищити температуру на внутрішній поверхні, зменшуючи ризик конденсації. Ефективність цього методу є значно нижчою порівняно з терморозривами, і він має розглядатися радше як вимушена компенсаційна міра.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

Отже, для досягнення високих показників енергоефективності та забезпечення гігротермічного комфорту в сучасних будівлях, рішення щодо мінімізації впливу горизонтальних містків холоду має прийматися на етапі проектування. Пріоритетним та найбільш збалансованим рішенням є використання сертифікованих несучих термоізоляційних елементів (терморозривів). Конструктивне від'єднання балконів є ефективною, але ситуативною альтернативою, тоді як метод локалізованого утеплення слід застосовувати переважно при роботі з існуючими конструкціями.

3.1.2. Рішення для вертикальних містків холоду (кути, колони, обрамлення прорізів).

Вертикальні теплопровідні включення, зумовлені як геометрією огорожувальної конструкції (наприклад, кути), так і наявністю структурних елементів з високою теплопровідністю (колони, пілястри, залізобетонне обрамлення прорізів), є суттєвими факторами, що погіршують загальну теплотехнічну однорідність та енергетичну ефективність будівлі. Їхній вплив, що кількісно оцінюється лінійним коефіцієнтом теплопередачі, призводить до локального зниження температури на внутрішній поверхні та, як наслідок, підвищеного ризику поверхневої конденсації вологи при досягненні точки роси.

Аналіз стандартних вузлів, особливо в каркасно-монолітному будівництві, демонструє, що некомпенсовані вертикальні містки холоду можуть спричиняти до 20-30% загальних трансмісійних тепловтрат. Розробка та імплементація ефективних рішень для нівелювання їхнього впливу є пріоритетним завданням при проектуванні енергоефективних огорожувальних конструкцій.

1. Геометричні містки холоду (зовнішні та внутрішні кути)

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

Проблема кутових зон полягає у багатовимірному розходженні теплового потоку. Зовнішня поверхня, що віддає тепло, має значно більшу площу, ніж внутрішня поверхня, що сприймає тепло. Це призводить до інтенсифікації тепловіддачі та значного зниження температури на внутрішній поверхні у внутрішньому куті.

Рекомендовані рішення:

- Забезпечення безперервності теплоізоляції: Це фундаментальний принцип. При використанні систем утеплення (наприклад, ETICS) необхідно забезпечити щільне, суцільне прилягання теплоізоляційних плит у кутовій зоні без розривів та шпарин.
- Компенсаційне потовщення ізоляції: У зонах з високими вимогами до гігротермічного комфорту або при критичних розрахункових значеннях f_{Rsi} (температурний фактор), рекомендується локальне збільшення товщини теплоізоляційного шару в кутовій зоні (наприклад, на 25-50% порівняно з основною площиною фасаду).
- Правильне перекриття плит: При монтажі утеплювача в кутах слід уникати наскрізних вертикальних швів. Плити повинні монтуватися з обов'язковою "перев'язкою" (зубчастим з'єднанням), що механічно зміцнює кут та мінімізує інфільтрацію.

2. Конструктивні містки холоду (колони, ригелі, пілястри)

Залізобетонні або металеві несучі елементи, інтегровані в площину огорожувальної конструкції, мають теплопровідність в десятки разів вищу, ніж основний матеріал стіни (наприклад, газобетон або цегла) та в 40-50 разів вищу, ніж у теплоізоляційних матеріалів.

Рекомендовані рішення:

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

- Повне зовнішнє обгортання: Найбільш ефективним методом є розміщення конструктивного елемента (колони) повністю у внутрішній, "теплій" зоні. Весь фасад, включно з колонами, повинен бути вкритий суцільним, безперервним шаром зовнішньої теплоізоляції.
- Розрахункове збільшення товщини ізоляції: Товщина теплоізоляційного шару, що припадає на залізобетонну колону, повинна бути розрахована окремо. Для досягнення однакового приведенного опору теплопередачі, товщина утеплювача на колоні має бути значно більшою, ніж на основній площині стіни (часто в 1.5-2 рази), щоб компенсувати високу теплопровідність бетону.
- Використання теплоізоляційних кладочних матеріалів: Якщо колона частково виступає з кладки, простір між нею та основною стіною повинен заповнюватися не розчином, а ефективними теплоізоляційними матеріалами (наприклад, ніздрюватими блоками низької щільності або жорсткими мінераловатними плитами).

3. Вузли примикання прорізів (віконні та дверні блоки)

Обрамлення прорізів є однією з найскладніших зон, де поєднуються геометричні (кути укосів) та конструктивні (перемички, підвіконні зони) містки холоду, а також з'являється третій елемент — сама віконна конструкція.

Рекомендовані рішення:

- Виніс віконного блоку в площину утеплювача: Це золотий стандарт для нового будівництва та глибокої термомодернізації. Рама вікна монтується не в площині несучої стіни, а виноситься назовні у площину теплоізоляційного шару за допомогою спеціальних консольних кронштейнів або опорних профілів (наприклад, з Purenit®

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

або XPS високої щільності). Це дозволяє теплоізоляції безперервно "обгорнути" раму з усіх боків, практично повністю усуваючи місток холоду $\Psi \approx 0.01-0.05 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

- Технологія "теплого монтажу" (при монтажі в площині стіни): Якщо виніс неможливий, застосовується багат шарова ізоляція монтажного шва. Ключовим є заведення шару теплоізоляції на раму вікна ззовні (утеплення укосів).
 - Зовнішні укоси: Обов'язково утеплюються ефективним тонким утеплювачем (XPS, PIR, фенольна піна) товщиною не менше 25-30 мм. Утеплювач має заходити на коробку рами мінімум на 15-20 мм.
 - Підвіконна зона: Зона під зовнішнім відливом та внутрішнім підвіконням утеплюється жорсткими вологостійкими матеріалами (XPS, EPS високої щільності).
 - Перемички: Залізобетонні перемички над прорізами мають бути замінені на готові теплоізоляційні блоки-перемички (наприклад, з газобетону) або ретельно утеплені ззовні шаром, що перевищує товщину основного утеплення фасаду.

Отже, ефективна мінімізація впливу вертикальних містків холоду вимагає комплексного підходу ще на стадії проектування. Пріоритетом є забезпечення абсолютної безперервності теплоізоляційного контуру.

Локальні рішення, такі як потовщення ізоляції, виніс вікон в зону утеплення та використання спеціалізованих теплоізоляційних елементів (термо-укосів, теплих перемичок), є критично необхідними для досягнення нормативних показників f_{Rsi} та запобігання ризикам конденсації і біологічної корозії.

3.2. Використання енергозберігаючих матеріалів

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Використання енергозберігаючих матеріалів щодо зменшення впливу теплопровідних включень

Одним із фундаментальних підходів до мінімізації впливу теплопровідних включень є цілеспрямований вибір та застосування будівельних матеріалів з покращеними теплотехнічними характеристиками. Традиційні конструкційні матеріали (важкий бетон, повнотіла цегла, сталь) володіють високими коефіцієнтами теплопровідності, що робить їх першопричиною виникнення містків холоду. Стратегія їх нівелювання шляхом матеріалознавства полягає у двох основних напрямках:

1. Заміна або комбінування конструкційних матеріалів з матеріалами, що мають низьку теплопровідність.
2. Використання спеціалізованих високоефективних ізоляторів у вузлах примикання.

Розглянемо ключові групи матеріалів, що застосовуються для вирішення цієї проблеми.

1. Конструкційно-теплоізоляційні матеріали

Ця категорія включає матеріали, які одночасно виконують несучу або огорожувальну функцію та володіють достатньо низькою теплопровідністю, що дозволяє зменшити інтенсивність теплових потоків.

- Ніздрюваті бетони (автоклавний газобетон, пінобетон): Завдяки своїй пористій структурі, дані матеріали мають коефіцієнт теплопровідності $\lambda \approx 0.10 - 0.15 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, що в 10-15 разів нижче, ніж у важкого бетону. Використання їх для заповнення каркасів або в якості основного матеріалу стін дозволяє створити більш однорідну огорожувальну конструкцію, значно знижуючи вплив геометричних містків холоду (кутів).

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

- Тепла кераміка (поризовані керамічні блоки): Складна внутрішня геометрія з великою кількістю замкнених повітряних порожнин суттєво подовжує шлях теплового потоку та збільшує термічний опір елемента порівняно зі звичайною цеглою.
- Теплі кладочні розчини: Застосування стандартного цементно-піщаного розчину $\lambda \approx 0.9 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$) у швах створює власну сітку містків холоду. Використання спеціалізованих "теплих" розчинів з перлітовим або вермикулітовим заповнювачем $\lambda \approx 0.2 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ або тонкошарових клейових сумішей (для газобетону) є обов'язковою умовою для забезпечення теплотехнічної однорідності кладки.

Хоча ці матеріали суттєво покращують ситуацію, вони не усувають проблему повністю і, як правило, все одно потребують додаткового шару ефективної теплоізоляції.

2. Матеріали для спеціалізованих терморозривів

Це найбільш технологічний підхід, що передбачає інтеграцію у вузол примикання спеціальних елементів, які механічно з'єднують конструкції, але термічно їх роз'єднують.

- Композитна та нержавіюча арматура: При влаштуванні несучих термовкладишів (наприклад, для балконів) ключове значення має матеріал арматурних стержнів, що проходять крізь утеплювач. Заміна традиційної вуглецевої сталі $\lambda \approx 50 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ на нержавіючу сталь $\lambda \approx 15 - 17 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ знижує тепловий потік через арматуру втричі. Ще більш ефективним є використання склопластикової (GFRP) або базальтопластикової (BFRP) арматури, теплопровідність якої становить $\lambda \approx 0.4 - 0.5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, що фактично усуває місток холоду по арматурному каркасу.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

- Опорні профілі високої щільності: Для виключення містків холоду в зоні примикання віконних блоків та у підвіконній зоні використовуються спеціалізовані матеріали, що поєднують низьку теплопровідність та високу міцність на стиск. До них належать поліуретанові композити або екструдований пінополістирол (XPS) дуже високої щільності (400-700 кПа). Вони дозволяють створити надійну, термічно ізольовану основу для монтажу конструкцій.

3. Високоєфективні теплоізоляційні матеріали (для компенсації)

У випадках, коли уникнути конструкційного містка холоду неможливо (наприклад, існуючі колони, перемички), єдиним рішенням є його зовнішня компенсація шаром теплоізоляції. Ефективність цього методу прямо залежить від теплопровідності ізоляційного матеріалу, особливо в умовах обмеженого простору (наприклад, віконні укоси).

- Традиційна ізоляція (Мінеральна вата, EPS, XPS): Матеріали з $\lambda \approx 0.035 - 0.045 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Є стандартом для утеплення фасадів, але їх товщина може бути недостатньою для компенсації потужних містків холоду без значного потовщення.
- Пінополіуретан (PUR) та пінополіізоціанурат (PIR): Мають коефіцієнт теплопровідності $\lambda \approx 0.022 - 0.028 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, що в середньому на 40% ефективніше за традиційні утеплювачі. Це дозволяє досягти необхідного термічного опору при значно меншій товщині, що є критичним для утеплення укосів, балконних плит та ригелів.
- Фенольна піна (PF): Володіє схожими з PIR/PUR характеристиками $\lambda \approx 0.021 - 0.028 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ та високою вогнестійкістю.
- Аерогелі: На сьогодні є найбільш ефективними комерційно доступними утеплювачами з рекордно низькою теплопровідністю $\lambda \approx 0.015 - 0.019 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Використовуються у вигляді матів або

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

штукатурних сумішей. Незважаючи на високу вартість, їх застосування є виправданим у критичних вузлах, де товщина ізоляції не може перевищувати 10-20 мм (наприклад, при реставрації історичних будівель або у складних вузлах примикання вікон).

Висновок: Стратегічний вибір енергозберігаючих матеріалів є ключовим фактором у боротьбі з теплопровідними включеннями. Ефективне рішення полягає не в одному універсальному матеріалі, а в комплексному системному підході: використанні конструкційних матеріалів з низькою теплопровідністю для основних огорожень, інтеграції спеціалізованих терморозривів на композитній арматурі у вузлах примикання та застосуванні високоефективних тонкошарових утеплювачів (PIR, аерогелі) для компенсації неминучих конструктивних містків холоду.

3.2.1. Матеріали з пониженою теплопровідністю

Нижче наведено текст, написаний у науковому стилі, що відповідає стилістиці та лексиці академічної статті в галузі теплотехніки. Акцент зроблено на фізичних властивостях та класифікації матеріалів.

Матеріали з пониженою теплопровідністю

Ефективність конструктивних рішень, спрямованих на нівелювання теплопровідних включень, безпосередньо корелює з теплофізичними характеристиками матеріалів, що застосовуються у вузлах спряження. З точки зору теплофізики, стратегія вибору матеріалів базується на мінімізації кондуктивної складової теплопереносу.

Матеріали, що застосовуються для зменшення локальних теплових потоків q , можна класифікувати за функціональним призначенням та структурою пор на три основні групи: конструкційно-теплоізоляційні, високоефективні полімерні ізолятори та надізоляційні матеріали (SIM).

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

1. Конструкційно-теплоізоляційні матеріали (Structural-Insulating Materials)

Ця група матеріалів дозволяє забезпечити необхідну несучу здатність вузла при одночасному зниженні коефіцієнта теплопровідності до значень, що значно поступаються традиційним бетонам та цеглі.

- Автоклавні ніздрюваті бетони (AAC): Матеріали характеризуються рівномірним розподілом сферичних пор діаметром 1–3 мм. Для мінімізації містків холоду в несучих стінах доцільно застосовувати марки низької щільності (D300–D400) з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda \approx 0.08 - 0.10$ Вт/(м·К). Ізотропність структури забезпечує стабільний термічний опір у всіх напрямках теплового потоку.
- Поризована кераміка: Ефект зниження теплопровідності досягається двома шляхами: створенням мікропор у самій кераміці (вигорання добавок) та макроструктурою блоку (щілиновидні порожнечі).
- Важливий аспект: Матеріал проявляє теплову анізотропію. Теплопровідність впоперек щілин значно нижча $\lambda \approx 0.11 - 0.14$ Вт/(м·К), ніж вздовж них. Це вимагає суворого дотримання орієнтації блоків у вузлах примикання (наприклад, у кутах).

2. Високоєфективні полімерні ізолятори

У вузлах з обмеженим геометричним простором (відкоси вікон, торці перекриттів) застосування волокнистих утеплювачів часто є неможливим через недостатній термічний опір при малій товщині. У таких випадках пріоритет надається матеріалам із закритою комірчастою структурою, заповненою газом з низькою теплопровідністю.

- Пінополіізоціанурат (PIR): Модифікований пінополіуретан з жорсткою структурою. Завдяки наявності ізолюючого газу в комірках (наприклад, пентану), матеріал демонструє стабільно низькі показники $\lambda \approx 0.022 - 0.024$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Вт/(м·К). Висока міцність на стиск дозволяє використовувати його під навантаженням (наприклад, у вузлах примикання покрівлі до парапету або під стяжкою підлоги балкона).

- Екструдований пінополістирол (XPS): Характеризується практично нульовим водопоглинанням, що робить його безальтернативним матеріалом для ліквідації містків холоду в цокольних зонах, фундаментах та "мокрих" зонах. Коефіцієнт теплопровідності становить $\lambda \approx 0.029 - 0.034$ Вт/(м·К).

3. Надізоляційні матеріали (Super Insulation Materials - SIM)

Це інноваційна група матеріалів, теплопровідність яких нижча за теплопровідність нерухомого повітря ($\lambda_{\text{air}} \approx 0.025$ Вт/(м·К)). Їх використання виправдане у найбільш критичних вузлах при реконструкції історичних будівель або при виправленні грубих проектних помилок, де товщина ізоляції обмежена 10–20 мм.

- Аерогелі: Нанопористі матеріали на основі діоксиду кремнію. Розмір пор у них (20-40 нм) менший за довжину вільного пробігу молекул повітря, що блокує механізм теплопровідності газу (ефект Кнудсена).
 - Характеристики: $\lambda \approx 0.014 - 0.020$ Вт/(м·К).
 - Застосування: Термоізоляція віконних відкосів, тонкошарова ізоляція залізобетонних колон, утеплення складних геометричних елементів.
- Вакуумні ізоляційні панелі (VIP): Являють собою пористий сердечник, запаятий у газонепроникну оболонку, з якої відкачано повітря.
 - Характеристики: Рекордно низька теплопровідність $\lambda \approx 0.004 - 0.007$ Вт/(м·К).
 - Обмеження: Неможливість підрізки на будмайданчику та вразливість до механічних пошкоджень обмежують їх масове використання, проте вони є незамінними для локальної ізоляції зон примикання балконних плит та терас, де висота порога критична.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

Вибір матеріалу з пониженою теплопровідністю для усунення містків холоду повинен базуватися на комплексному аналізі: необхідного термічного опору, допустимої товщини шару, механічних навантажень та умов вологості. Інтеграція сучасних SIM-матеріалів та конструкційних теплоізоляторів дозволяє досягти нормативних значень лінійного коефіцієнта теплопередачі навіть у конструктивно складних вузлах.

3.2.2. Теплоізоляційні композити нового покоління

Традиційна дихотомія будівельних матеріалів, де конструкційні елементи (бетон, метал) забезпечують несучу здатність, а ізоляційні — термічний опір, стає обмежуючим фактором при вирішенні складних вузлів примикань. Відповіддю на цей виклик стала розробка класу композиційних матеріалів нового покоління, що поєднують структурну цілісність із низькою теплопровідністю.

Ефективність таких композитів базується на синергії матриці (зв'язуючої речовини) та дисперсного наповнювача або армуючого компонента.

1. Аерогельні композитні системи

Чистий кварцовий аерогель, попри свої унікальні теплофізичні властивості $\lambda \approx 0.012$ Вт/(м·К), є крихким та складним у монтажі. Сучасні композити на його основі вирішують цю проблему шляхом інтеграції аерогельних гранул у волокнисту матрицю (скловолокно, поліефірні волокна).

- Аерогельні мати (Blankets): Це гнучкі композитні полотна, що зберігають гідрофобність та високий термічний опір $\lambda \approx 0.012 - 0.020$ Вт/(м·К) навіть під дією механічного стиску. Завдяки малій товщині (5–10 мм), вони є безальтернативним рішенням для розриву містків холоду в зонах зі складною геометрією (криволінійні поверхні, примикання віконних рам, історичні фасади).

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

- Теплоізоляційні штукатурки з аерогелем: Композитні суміші на мінеральній основі з додаванням гранульованого аерогелю дозволяють створювати безшовне ізоляційне покриття. Це ефективно нівелює вплив кладочних швів та неоднорідностей стіни, забезпечуючи $\lambda \approx 0.028 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, що значно ефективніше за традиційні "теплі" штукатурки на перліті.

2. Полімерні композити, армовані волокном (FRP)

У контексті боротьби з точковими та лінійними містками холоду, найбільший інтерес представляють склопластики (GFRP) та базальтопластики (BFRP). Ці матеріали розглядаються як заміна сталевих елементів у конструктивних зв'язках.

- Теплофізичні переваги: Коефіцієнт теплопровідності композитної арматури вздовж волокон становить $\lambda \approx 0.4 - 0.6 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$, що у 100 разів менше за теплопровідність вуглецевої сталі.
- Застосування: Використання композитних гнучких зв'язків (анкерів) у тришарових стінових панелях та фасадних системах дозволяє зменшити вплив точкових включень майже до нуля. Також перспективним є використання профілів з пултрузійного склопластику як елементів підконструкції для навісних вентиляованих фасадів та віконних систем.

3. Синтактичні піни та бетони (Syntactic Foams)

Цей клас матеріалів утворюється шляхом введення в полімерну або цементну матрицю порожнистих мікросфер (скляних, керамічних або полімерних). На відміну від традиційного спінювання газом, мікросфери мають жорстку оболонку, що забезпечує матеріалу високу міцність на стиск.

- Конструкційно-ізоляційні властивості: Синтактичні композити можуть сприймати значні навантаження, маючи при цьому теплопровідність у діапазоні $\lambda \approx 0.04 - 0.12 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Це дозволяє виготовляти з них опорні

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		76

елементи (цокольні профілі, підкладки під колони, монтажні блоки для вікон), які механічно з'єднують конструкції, але термічно їх ізолюють.

4. Композити з фазовим переходом (PCM-композити)

Хоча PCM (Phase Change Materials) працюють переважно на підвищення теплової інерції, їх інтеграція в пористі утеплювачі або будівельні суміші дозволяє створити "розумні" композити для зон температурних містків.

У зонах локального перегріву або переохолодження (наприклад, кути будівель) мікрокапсульовані парафіни у складі композиту поглинають або виділяють приховане тепло фазового переходу. Це дозволяє згладжувати температурні коливання на внутрішній поверхні, динамічно утримуючи температуру вище точки роси та запобігаючи конденсації у критичні періоди.

Висновок: Використання композитів нового покоління дозволяє перейти від стратегії "ізоляції" містків холоду до стратегії їх "конструктивного заміщення". Заміна високотеплопровідних елементів (сталь, бетон) на навантажувані композити (FRP, синтактичні піни) є найбільш радикальним та ефективним методом підвищення теплотехнічної однорідності оболонки будівлі.

3.2.3. Інноваційні технології монтажу для усунення містків холоду

Інноваційні технології монтажу для усунення містків холоду

Ефективність теплоізоляційної оболонки будівлі визначається не лише номінальними характеристиками матеріалів, але й технологічною якістю виконання вузлів примикання. Традиційні методи монтажу часто не здатні забезпечити безперервність ізотерм у складних перетинах, що призводить до виникнення конвективних та кондуктивних втрат тепла. Сучасна інженерна практика пропонує ряд інноваційних монтажних технологій, спрямованих на

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

мінімізацію впливу "людського фактору" та конструктивне виключення теплопровідних включень.

1. Системи виносного монтажу світлопрозорих конструкцій

Найбільш критичним лінійним містком холоду в огорожувальних конструкціях є периметр віконних та дверних прорізів. Класичний монтаж у площині несучої стіни, навіть із утепленням відкосів, залишає шлях для теплового потоку через стіновий матеріал в обхід рами.

Інноваційним вирішенням є технологія виносного монтажу (Pre-wall installation system).

- Принцип дії: Віконний блок виноситься за межі несучої стіни безпосередньо в зону теплоізоляційного шару.
- Технологічна реалізація: Використовуються спеціальні монтажні рами (фальш-коробки) з високощільних ізоляційних матеріалів (Purenit®, EPS високої щільності) або консольні системи кронштейнів (наприклад, Triotherm).
- Результат: Ізотерми проходять крізь стіну та вікно практично лінійно, без викривлень. Значення лінійного коефіцієнта теплопередачі знижується до $\Psi_{install} \leq 0.01 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$, що відповідає стандартам "пасивного будинку".

2. Технології термічного розриву у підсистемах вентиляованих фасадів

Навісні вентиляовані фасади (НВФ) традиційно кріпляться на алюмінієві або сталеві кронштейни, які пронизують шар мінеральної вати, створюючи чисельні точкові містки холоду. При значній щільності кронштейнів це може знижувати ефективність утеплення на 30–40%.

Сучасні монтажні рішення включають:

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		78

- Термоізоляційні прокладки-термостопа: Використання жорстких полімерних вставок (пароніт, поліпропілен) між кронштейном та стіною для розриву кондуктивного потоку.
- Телескопічні кронштейни з композитів: Повна відмова від металу в зоні проходження через утеплювач. Несучий елемент виготовляється зі склопластику або нержавіючої сталі з інтегрованим поліамідним мостом. Це дозволяє зменшити точковий коефіцієнт тепловтрат до значень менше 0.002 Вт/К на елемент.

3. Аерозольні та рідкі системи герметизації (Airtightness Technologies)

Неконтрольована інфільтрація повітря через нещільності монтажних швів є формою конвективного містка холоду. Традиційні стрічкові герметики вимагають ідеально рівних поверхонь, що часто недосяжно на реальному будівельному майданчику.

Інновацією є застосування напилюваних або рідких паропроникних мембран.

- Матеріал наноситься за допомогою безповітряного розпилення або пензлем, утворюючи безшовну, еластичну плівку (полімерну "шкіру"), що щільно облягає анкери, нерівності кладки та складні геометричні переходи.
- Це гарантує абсолютну герметичність вузла, виключаючи "продування" утеплювача та конденсацію вологи всередині монтажного шва.

4. Модульна префабрикація вузлів (Off-site Construction)

Радикальним методом усунення монтажних дефектів є перенесення процесу формування вузлів з будівельного майданчика в заводські умови.

- Сендвіч-панелі з інтегрованими з'єднаннями: Виготовлення стінових модулів, де вікна, терморозриви для балконів та ізоляція вже вмонтовані з

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

високою точністю. На будмайданчику відбувається лише герметизація стиків між великими модулями.

- Адитивні технології (3D-друк): Можливість друку стінових блоків зі складною внутрішньою комірчастою структурою, яка розрахована математично для максимального подовження шляху теплового потоку в зонах кутів та примикань, що робить додаткові монтажні заходи зайвими.

Висновок: Застосування інноваційних технологій монтажу переводить боротьбу з мітками холоду з площини "додаткового утеплення" в площину "конструктивної інтеграції". Виносний монтаж вікон, композитні фасадні підсистеми та рідка герметизація є необхідним технологічним базисом для досягнення високих класів енергоефективності (A, A+).

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4
АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕПЛОПРОВІДНИХ ВКЛЮЧЕНЬ

Студент / _____ /

Керівник / _____ /

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.1. Аналіз впливу теплопровідних включень

Розроблений програмний модуль у середовищі чисельного моделювання Scilab призначений для проведення параметричного аналізу енергоефективності огорожувальних конструкцій. Головною метою роботи алгоритму є дослідження та візуалізація впливу теплопровідних включень на значення приведенного опору теплопередачі. В основу розрахунків покладено нормативну методику, що базується на принципі суперпозиції теплових втрат, де підсумковий теплозахист визначається сумою втрат через однорідну частину стіни, лінійні елементи (такі як стики панелей або укуси) та точкові кріплення (фасадні дюбелі чи кронштейни).

Алгоритм роботи програми розпочинається з ініціалізації масивів даних, де задаються діапазони варіювання лінійного та точкового коефіцієнтів теплопередачі з фіксованим кроком, а також вводяться геометричні та теплотехнічні константи досліджуваної будівлі. Використання матричних операцій дозволяє миттєво обчислити значення приведенного опору для всіх можливих комбінацій параметрів без необхідності створення складних циклічних конструкцій.

Для інтерпретації отриманих даних програма генерує три типи візуалізації. Спершу будується тривимірна поверхня відгуку, яка дозволяє візуально оцінити загальний характер зниження теплозахисних властивостей при зростанні впливу теплових мостів. Далі виконується детальний аналіз у вигляді двовимірних графіків-зрізів, що демонструють ізольований вплив кожного типу включень при фіксованому значенні іншого, що дає змогу порівняти "вагу" лінійних та точкових втрат окремо. Завершується робота модуля формуванням точної таблиці з розрахунковими значеннями в окремому вікні, що забезпечує зручність верифікації даних та їх подальшого використання у текстовій частині магістерської роботи.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Практична цінність цього інструменту полягає у можливості швидкого економічного обґрунтування проектних рішень. Графічна та таблична інформація дозволяє наочно визначити межі ефективності утеплення та довести доцільність застосування сучасних кріпильних елементів зі зниженою теплопровідністю замість традиційних рішень.

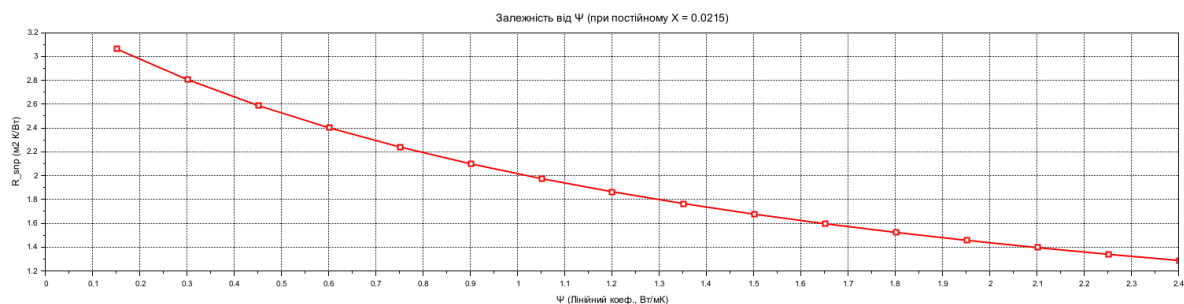


Рис. 4.1 графік залежності від ψ (при постійному $\chi = 0.0215$)

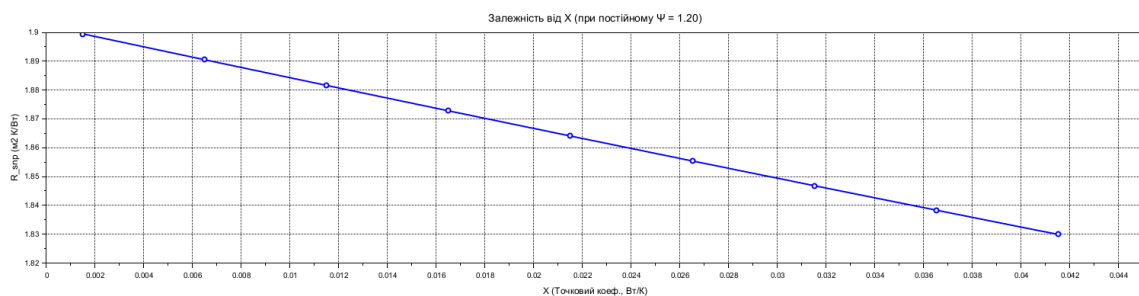


Рис. 4.2 графік залежності від χ (при постійному $\psi = 1.20$)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

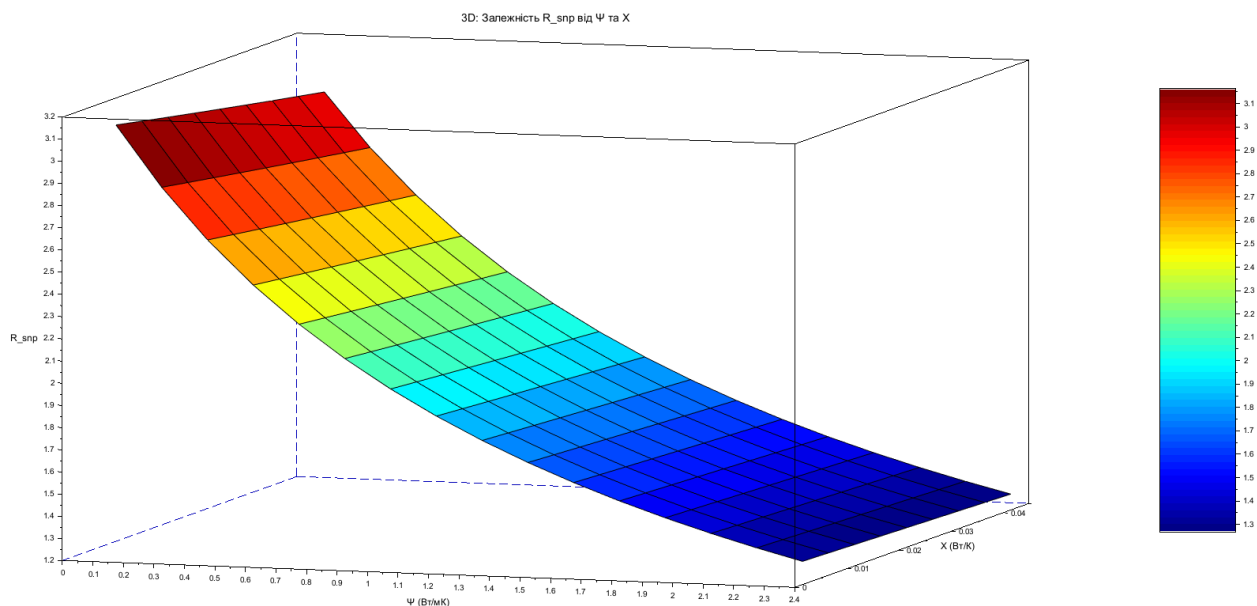


Рис. 4.3 3D візуалізація залежності R від ψ та χ

За результатами проведеного параметричного аналізу в середовищі Scilab можна зробити наступні висновки:

Характер залежності та чутливість системи

Отримані поверхні відгуку та двовимірні графіки демонструють чітко виражену обернену нелінійну (гіперболічну) залежність між інтенсивністю теплових мостів та загальною енергоефективністю конструкції.

Критично важливим є виявлення зони високої чутливості в області малих значень ψ та χ . Навіть незначна поява теплопровідних включень (зростання ψ від 0 до 0.2 Вт/м·К) призводить до різкого падіння приведенного опору (градієнт падіння є максимальним). Це свідчить про те, що перші конструктивні помилки або недбалість при монтажі завдають найбільшої шкоди енергоефективності, тоді як подальше погіршення якості вузлів має менш виражений, але стабільно негативний ефект.

2. Порівняльна оцінка впливу факторів (Лінійні vs Точкові)

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

Аналіз вагових коефіцієнтів у знаменнику розрахункової формули дозволяє стверджувати, що для типових фасадних систем (за заданих у моделі співвідношень площі A , довжини стиків L та кількості кріплень N) лінійні включення є домінуючим фактором тепловтрат.

Сумарний тепловий потік через лінійні елементи (стики плит, примикання до вікон, кутові зони) значно перевищує потік через точкові кріплення. Це дозволяє визначити ієрархію пріоритетів при проектуванні: першочерговим завданням є мінімізація коефіцієнта ψ (якісне виконання швів, використання термовкладишів), а оптимізація дюбелів χ є вторинною, хоча й необхідною умовою.

3. Ефект "теплого шунтування"

Модель наочно ілюструє фізичний процес "шунтування" теплоізоляції. При досягненні певних значень ψ та χ , графік R виходить на "плато" (асимптотичне наближення). Це означає, що тепловий потік починає проходити переважно через теплопровідні включення (бетонні ребра, металеві кронштейни), оминаючи основний масив утеплювача.

Практичний висновок: У такій ситуації просте збільшення товщини утеплювача (зростання R) стає економічно недоцільним, оскільки приріст загального опору конструкції буде нівельований втратами через мости холоду.

4. Верифікація проектних рішень

Розроблена програма дозволяє переходити від абстрактних вимог ДБН до конкретних числових показників. Моделювання підтверджує, що ігнорування теплопровідних включень при теплотехнічному розрахунку призводить до значної похибки (завищення реального опору конструкції на 20-40% залежно від щільності кріплень). Це підкреслює необхідність використання розрахункових моделей з урахуванням ψ та χ на ранніх етапах проектування

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

для уникнення розбіжностей між проектними та експлуатаційними показниками енергоспоживання.

таблиця 4.1 залежності приведенного опору теплопередачі від характеристик теплопровідних включень

Ψ (Вт/(м·К))	χ (Вт/К)	$R_{\text{спр}}$ (м ² ·К/Вт)
0,15	0,0015	3,1599
0,15	0,0165	3,0868
0,15	0,0315	3,0169
0,6	0,0015	2,4602
0,6	0,0165	2,4157
0,6	0,0315	2,3727
1,05	0,0015	2,0142
1,05	0,0165	1,9843
1,05	0,0315	1,9552
1,5	0,0015	1,7051
1,5	0,0165	1,6836
1,5	0,0315	1,6626
1,95	0,0015	1,4783
1,95	0,0165	1,4621
1,95	0,0315	1,4462
2,4	0,0015	1,3047
2,4	0,0165	1,292
2,4	0,0315	1,2796

Аналіз табличних даних залежності приведенного опору теплопередачі R від характеристик теплопровідних включень дозволяє зробити наступні висновки:

1. Домінуючий вплив лінійних включень (ψ)

Найбільш суттєвий вплив на зниження енергоефективності конструкції має лінійний коефіцієнт теплопередачі.

Як видно з таблиці, при фіксованому значенні точкового включення ($\chi = 0,0015$ Вт/К), зростання ψ з 0,15 до 2,4 Вт/(м·К) призводить до падіння приведенного опору з 3,16 до 1,30 м²·К/Вт. Тобто, погіршення якості лінійних стиків зменшує теплозахисні властивості стіни у 2,4 рази.

2. Вплив точкових включень (χ)

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						86
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вплив точкових теплопровідних включень у досліджуваному діапазоні є менш критичним, ніж лінійних.

При мінімальному лінійному впливі ($\psi = 0,15 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$), зміна характеристики кріплення від найякіснішого ($\chi = 0,0015$) до найгіршого ($\chi = 0,0315$) знижує опір з 3,16 до 3,02 $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$. Різниця становить лише близько 4,5%.

3. Ефект нівелювання

При високих значеннях лінійних тепловтрат (наприклад, при $\psi = 2,4$), вплив якості дюбелів стає майже непомітним (різниця між $\chi = 0,0015$ та $\chi = 0,0315$ складає лише 0,02 $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$). Це свідчить про те, що при наявності потужних лінійних мостів холоду (неякісні стики, неутеплені укуси), боротьба за енергоефективність шляхом покращення лише точкових кріплень не дає відчутного результату.

Аналіз отриманих розрахункових даних дозволяє стверджувати, що вплив теплопровідних включень на інтегральний показник енергоефективності стіни має яскраво виражену нерівнозначність, де домінуючим фактором виступають лінійні елементи теплових втрат. Згідно з результатами моделювання, варіація лінійного коефіцієнта теплопередачі (ψ) у досліджуваному діапазоні призводить до критичної деградації теплозахисних властивостей конструкції: при збільшенні ψ з 0,15 до 2,4 $\text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ приведений опір теплопередачі знижується у 2,4 рази (з 3,16 до 1,30 $\text{м}^2\cdot\text{К}/\text{Вт}$), що свідчить про визначальну роль якості виконання стиків, укусів та кутових зон. Натомість вплив точкових включень (χ) є другорядним, оскільки навіть за їх найгірших показників зниження загального опору не перевищує 5% за умови якісної ізоляції лінійних ділянок. Більше того, виявлено ефект «поглинання» меншого фактора більшим: при наявності значних лінійних тепловтрат оптимізація точкових кріплень стає технічно неефективною, оскільки приріст опору знаходиться в межах похибки вимірювань. Таким чином, пріоритетним

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						87
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вектором при проектуванні енергоефективних фасадів має бути конструктивна мінімізація лінійних містків холоду, без усунення яких досягнення нормативних показників енергозбереження є неможливим навіть за використання найсучасніших систем кріплення.

4.2. Розрахунок приведеного опору з урахуванням теплопровідних включень

4.2.1 Вихідні дані для розрахунків

Проектними рішеннями передбачається провести такі огорожувальні конструкції:

- Влаштування віконних блоків із ПВХ профілю з монтажною шириною 70 мм, двокамерним склопакетом 4i-14Ar-4-14Ar-4i;

- Конструкція зовнішніх стін (тип-1/2/3) має наступний склад: звичайна керамічна цегла на цементно-піщаному розчині/блоки з ніздрюватого бетону (400 кг/м^3)/залізобетон товщинами 250/250/250 мм відповідно, мінераловатні плити (135 кг/м^3) товщиною 150 мм, штукатурка товщиною 10 мм;

- Конструкція суміщеного покриття має наступний склад: залізобетонна плита товщиною 200 мм, стяжка із цементно-піщаного розчину товщиною від 50 мм, гідроізоляція товщиною 4 мм, екструдований пінополістирол (30 кг/м^3) товщиною 200 мм, ПЕ плівка, стяжка із бетону товщиною 100 мм, гідроізоляція товщиною 8 мм, геотекстиль, дренажне полотно, геотекстиль, щебінь;

- Конструкція перекриття під еркером має наступний склад: лінолеум товщиною 5 мм, стяжка самовирівнююча товщиною 5 мм, стяжка із цементно-піщаного розчину товщиною 84 мм, ПЕ плівка, мембрана

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		88

товщиною 6 мм, залізобетонна плита товщиною 200 мм, мінераловатні плити (135 кг/м^3) товщиною 200 мм, штукатурка товщиною 10 мм;

- Конструкція перекриття над паркінгом (тип-1) має наступний склад: лінолеум товщиною 5 мм, стяжка самовирівнююча товщиною 5 мм, стяжка із цементно-піщаного розчину товщиною 84 мм, ПЕ плівка, екструдований пінополістирол (30 кг/м^3) товщиною 50 мм, мембрана товщиною 6 мм, залізобетонна плита товщиною 300 мм;

- Конструкція перекриття над паркінгом (тип-2) має наступний склад: плитка товщиною 10 мм, шар клею товщиною 10 мм, стяжка із цементно-піщаного розчину товщиною 74 мм, ПЕ плівка, екструдований пінополістирол (30 кг/м^3) товщиною 50 мм, мембрана товщиною 6 мм, залізобетонна плита товщиною 300 мм.

Допускається проектом на наступній стадії проектування використання інших матеріалів, що застосовуються в зовнішніх огорожувальних конструкціях, з теплофізичними характеристиками не гіршими за прийняті в проекті або такими, що не протирічать вимогам розрахунків ДБН В.1.2-11:2021 та ДБН В.2.6-31:2021.

4.2.2. Розрахункові і кліматичні та теплоенергетичні параметри

Згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 розрахункова температура внутрішнього повітря приймається $\theta_{\text{int}} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, відносна вологість повітря $\phi_{\text{int}} = 55\%$.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.2. Кліматичні параметри для умов м. Київ згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:

Середньомісячна температура зовнішнього повітря, °С											
Середньомісячна відносна вологість зовнішнього повітря, %											
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
-4,7	-3,6	1	9	15,2	18,3	19,8	19	13,9	8,1	1,9	-2,5
83	79	74	66	62	68	69	68	74	77	84	85

Згідно з ДБН В.2.6-31:2021 нормативне значення приведенного опору теплопередачі $R_{q \min}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$, становить:

- для зовнішніх стін – $4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;
- для суміщеного покриття – $7,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;
- для світлопрозорих огорожувальних конструкцій – $0,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$;
- для зовнішніх дверей – $0,7 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$.

Граничне значення питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні, E_{Pp} згідно з Наказу Міністерства розвитку громад та територій України від 27.10.2020 № 260 становить: $70 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$.

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції $\Delta T_{ст}$, °С згідно ДБН В.2.6-31:2021:

- для зовнішніх стін – $4,0 \text{ } ^\circ\text{С}$;
- для покриття та перекриття горищ – $3,0 \text{ } ^\circ\text{С}$;
- для перекриття над проїздами та підвалами – $2,0 \text{ } ^\circ\text{С}$.

4.2.3. *Визначення теплотехнічних показників огорожувальних конструкцій*

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій

Приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій визначається згідно з п.5 ДСТУ 9191:2022.

Величини розрахункових теплофізичних параметрів матеріалів, що використовуються, визначені згідно з додатком А ДСТУ 9191:2022.

Зовнішні стіни

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі для І кліматичної зони (згідно ДБН В.2.6-31:2021) складає 4,0 (м²·°С/Вт).

Таблиця 4.3. Склад стінового огородження (тип-1)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина, мм	Тепло-провідність, Вт/(м·К)	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
1	Керамічна звичайна цегла на цементно-піщаному розчині	250	0,81	74
2	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	150	0,041	Протокол №65.21.028 аналог 1
3	Штукатурка	10	0,87	67

Розраховуємо дійсне значення опору теплопередачі для зовнішньої стіни:

$$R_{\Sigma 1} = 1/8,7 + 0,25/0,81 + 0,15/0,041 + 0,01/0,87 + 1/23 = 4,137 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Таблиця 4.4. Склад стінового огородження (тип-2)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина, мм	Тепло-провідність, Вт/(м·К)	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
1	Блоки з ніздрюватого бетону (густина 400 кг/м ³)	250	0,13	38
2	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	150	0,041	Протокол №65.21.028 аналог 1
3	Штукатурка	10	0,87	67

Розраховуємо дійсне значення опору теплопередачі для зовнішньої стіни:

$$R_{\Sigma 2} = 1/8,7 + 0,25/0,13 + 0,15/0,041 + 0,01/0,87 + 1/23 = 5,752 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		91

Таблиця 1.5. Склад стінового огороження (тип-3)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Тов-щина, мм	Тепло-провідність, Вт/(м·К)	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
1	Залізобетон	250	2,04	64
2	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	150	0,041	Протокол №65.21.028 аналог 1
3	Штукатурка	10	0,87	67

Розраховуємо дійсне значення опору теплопередачі для зовнішньої стіни:

$$R_{\Sigma 3} = 1/8,7 + 0,25/2,04 + 0,15/0,041 + 0,01/0,87 + 1/23 = 3,951 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Розраховуємо приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної зовнішньої стіни за формулою:

$$R_{\Sigma np} = \frac{A_{\Sigma}}{\sum_i \frac{A_i}{R_i} + \sum_m I_m \cdot \psi_m + \sum_j N_j \cdot \chi_j}$$

де $A_{\Sigma} = 5466,3 \text{ м}^2$ – загальна площа зовнішніх стін;

$A_1 = 129,4 \text{ м}^2$ – площа зовнішніх стін типу-1;

$R_{\Sigma 1} = 4,137 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ – опір теплопередачі термічнооднорідної стіни типу-1;

$A_2 = 3617,8 \text{ м}^2$ – площа зовнішніх стін типу-2;

$R_{\Sigma 2} = 5,752 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ – опір теплопередачі термічнооднорідної стіни типу-2;

$A_3 = 857,6 \text{ м}^2$ – площа зовнішніх стін типу-3;

$R_{\Sigma 3} = 3,951 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ – опір теплопередачі термічнооднорідної стіни типу-3;

ψ_m – лінійний коефіцієнт теплопередачі лінійного теплопровідного включення, Вт/(м·К) визначається згідно додатку Г ДСТУ 9191:2022:

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						92
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- для вузла примикання віконної конструкції до зовнішніх стін в зоні перемички – 0,080 Вт/(м·К);
- для вузла примикання віконної конструкції до зовнішніх стін в зоні підвіконня – 0,068 Вт/(м·К);
- для вузла примикання віконної конструкції до зовнішніх стін в зоні рядового сполучення – 0,073 Вт/(м·К);

I_m – лінійний розмір (проекція) лінійного теплопровідного включення, К:

- для вузла примикання віконної конструкції до зовнішніх стін в зоні перемички – 1059,9 м;
- для вузла примикання віконної конструкції до зовнішніх стін в зоні підвіконня – 1059,9 м;
- для вузла примикання віконної конструкції до зовнішніх стін в зоні рядового сполучення – 2666,3 м;

$$\Psi_m \cdot I_m = 0,08 \cdot 1059,9 + 0,068 \cdot 1059,9 + 0,073 \cdot 2666,3 = 351,5 \text{ Вт/К};$$

χ_j – точковий коефіцієнт теплопередачі точкового теплопровідного включення, Вт/К визначається згідно додатку Д ДСТУ 9191:2022:

- вузол влаштування пластикового дюбеля з металевим стрижнем для кріплення теплоізоляційного шару – 0,005 Вт/К;

N_j – загальна кількість точкових теплопровідних включень, шт.

- вузол влаштування пластикового дюбеля з металевим стрижнем для кріплення теплоізоляційного шару – 60783 шт.;

$$\chi_j \cdot N_j = 0,005 \cdot 60783 = 303,92 \text{ Вт/К}$$

Тоді приведений опір теплопередачі термічно неоднорідної зовнішньої стіни дорівнює:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = 5466,3 / (129,4 / 4,137 + 3617,8 / 5,752 + 857,6 / 3,951 + 351,5 + 303,92) = 3,57 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						93
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірка умови (4): $R_{\Sigma пр} \geq R_{q \min}$, $3,57 \geq 4,0 \times 0,8$ згідно пункту 5.2.1 ДБН В.2.6-31:2021. Отже, умова виконується.

Перевірка умови (5):

Температура внутрішньої поверхні стіни/укосів:

$$\theta_{si,H,i} = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_{\Sigma i} h_{si}}$$

де θ_{int} – температура внутрішнього повітря, в даному випадку 20°C згідно таблиці Б.2 ДБН В.2.6-31:2021;

θ_{ext} – розрахункова температура зовнішнього повітря, для I температурної зони мінус 22°C згідно таблиці Б.4 ДБН В.2.6-31:2021;

$$\theta_{si,H,1} = 20 - (20 - (-22))/(8,7 \cdot 4,137) = 18,83^{\circ}\text{C};$$

$$\theta_{si,H,2} = 20 - (20 - (-22))/(8,7 \cdot 5,752) = 19,16^{\circ}\text{C};$$

$$\theta_{si,H,3} = 20 - (20 - (-22))/(8,7 \cdot 3,951) = 18,78^{\circ}\text{C};$$

$$\theta_{si,H,ПМ1} = 20 - (20 - (-22))/(8,7 \cdot (0,18/0,08)) = 17,85^{\circ}\text{C};$$

$$\theta_{si,H,ПВ1} = 20 - (20 - (-22))/(8,7 \cdot (0,18/0,068)) = 18,18^{\circ}\text{C};$$

$$\theta_{si,H,PC1} = 20 - (20 - (-22))/(8,7 \cdot (0,18/0,073)) = 18,04^{\circ}\text{C};$$

Приведена температура внутрішньої поверхні стіни:

$$\theta_{si,пр,H} = \frac{\sum_i \theta_{si,H,i} \cdot A_{si,H,i}}{A_{si,\Sigma,H}}$$

$$\theta_{si,пр,H} = (18,83 \cdot 129,4 + 19,16 \cdot 3617,8 + 18,78 \cdot 857,6 + 17,85 \cdot 190,8 + 18,18 \cdot 190,8 + 18,04 \cdot 479,9) / 5466,3 = 18,91^{\circ}\text{C}$$

Визначаємо коефіцієнт скління фасадів будівлі:

$$m_{gl,B} = A_{si,\Sigma C,B} / (A_{si,\Sigma C,B} + A_{si,\Sigma H,B})$$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						94
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де $A_{si,\Sigma C,B} = 2459,2 \text{ м}^2$ - загальна площа світлопрозорих огорожувальних конструкцій;

$A_{si,\Sigma H,B} = 4604,8/87,9 \text{ м}^2$ - загальна площа зовнішніх стін (без укосів)/дверей;

$$m_w = 2459,2 / (2459,2 + 4604,8 + 87,9) = 0,34.$$

Оскільки коефіцієнт скління фасадів становить 0,34, що більше ніж 0,3, тоді температурний перепад між внутрішньою температурою огороження та температурою внутрішнього повітря становить:

$$\Delta\theta_{\text{int-si,np}} = \theta_{\text{int}} - \frac{\theta_{\text{si,np,H}} \cdot A_{\text{si,\Sigma H}} + \theta_{\text{si,np,C}} \cdot A_{\text{si,\Sigma C}}}{A_{\text{si,\Sigma H}} + A_{\text{si,\Sigma C}}}$$

$A_{\text{si,\Sigma H}} = 5466,3 \text{ м}^2$ – загальна площа зовнішніх стін;

$A_{\text{si,\Sigma C}} = 2459,2 \text{ м}^2$ – загальна площа світлопрозорих огорожувальних конструкцій;

$\theta_{\text{si,np,H}} = 18,91 \text{ }^\circ\text{C}$ – приведена температура внутрішньої поверхні стіни;

$\theta_{\text{si,np,C}} = 15,73 \text{ }^\circ\text{C}$ – приведена температура внутрішньої поверхні світлопрозорих огорожувальних конструкцій, розрахована в п.3.1.4;

$$\Delta\theta_{\text{int-si,np}} = 20 - (18,91 \cdot 5466,3 + 15,73 \cdot 2459,2) / (5466,3 + 2459,2) = 2,08 \text{ }^\circ\text{C}$$

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції для зовнішніх стін становить $\Delta\theta_{\text{int-si,max}} = 4,0 \text{ }^\circ\text{C}$ згідно таблиці 3 ДБН В.2.6-31:2021.

$\Delta\theta_{\text{int-si}} \leq \Delta\theta_{\text{int-si,max}}, 2,08 \leq 4,0$. Отже, умова виконується.

Суміщене покриття

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі для I температурної зони (згідно ДБН В.2.6-31:2021) складає 7,0 (м²·°C/Вт).

Таблиця 4.6. Склад суміщеного покриття, тип-1

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						95
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина, мм	Теплопровідність, Вт/(м·К)	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
1	Залізобетонна плита покриття	200	2,04	64
2	Стяжка із цементно-піщаного розчину	від 50	0,93	68
3	Гідроізоляція	4	0,17	83
4	Екструдований пінополістирол (густина 30 кг/м ³)	200	0,034	Протокол №34К/23 аналог 4
5	ПЕ плівка	0,2	0,23	85
6	Стяжка із бетону	100	1,86	65
7	Гідроізоляція	8	0,17	83
8	Геотекстиль	-	-	-
9	Дренажне полотно	-	-	-
10	Геотекстиль	-	-	-
11	Щебінь	-	-	-

Розраховуємо дійсне значення опору теплопередачі для однорідного суміщеного покриття:

$$R_{\Sigma} = 1/10 + 0,2/2,04 + 0,05/0,93 + 0,004/0,17 + 0,2/0,034 + 0,0002/0,23 + 0,1/1,86 + 0,008/0,17 + 1/23 = 6,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Приведений опір теплопередачі суміщеного покриття дорівнює опору теплопередачі для однорідного суміщеного покриття так як лінійних та точкових теплопровідних включень немає.

$$R_{\Sigma \text{пр}} = 6,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Перевірка умови (4): $R_{\Sigma \text{пр}} \geq R_{q \text{ min}}$, $6,3 \geq 7,0 \times 0,8$ згідно пункту 5.2.1 ДБН В.2.6-31:2021. Отже, умова виконується.

Перевірка умови (5):

Температура внутрішньої поверхні огороження:

$$\theta_{si, H, i} = \theta_{\text{int}} - \frac{\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext}}}{R_{\Sigma i} h_{si}}$$

де θ_{int} – температура внутрішнього повітря, в даному випадку 20°C згідно таблиці Б.2 ДБН В.2.6-31:2021;

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		96

θ_{ext} – розрахункова температура зовнішнього повітря, для I температурної зони мінус 22 °С згідно таблиці Б.4 ДБН В.2.6-31:2021;

$$\theta_{si,H,1} = 20 - (20 - (-22))/(10 \cdot 6,3) = 19,33 \text{ °C};$$

Приведена температура внутрішньої поверхні суміщеного покриття:

$$\theta_{si,np,H} = \frac{\sum_i \theta_{si,H,i} \cdot A_{si,H,i}}{A_{si,\Sigma,H}}$$

$$\theta_{si,np,H} = (19,33 \cdot 595,1)/595,1 = 19,33 \text{ °C}$$

Різниця температур між температурою внутрішнього повітря та приведеною температурою внутрішньої поверхні огороження:

$$\Delta\theta_{int-si} = \theta_{int} - \theta_{si,np,H} = 20 - 19,33 = 0,67 \text{ °C}$$

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції для суміщеного покриття становить

$$\Delta\theta_{int-si,max} = 4,0 \text{ °C згідно таблиці 3 ДБН В.2.6-31:2021.}$$

$$\Delta\theta_{int-si} \leq \Delta\theta_{int-si,max}, \quad 0,67 \leq 4,0. \text{ Отже, умова виконується.}$$

Перекриття під еркером

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі для I температурної зони (згідно ДБН В.2.6-31:2021) складає 5,0 (м·°C/Вт).

Таблиця 4.7. Склад перекриття під еркером

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Тов-щина, мм	Тепло-провідність, Вт/(м·К)	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
1	Лінолеум	5	0,17	88
2	Стяжка самовирівнююча	5	0,23	32
3	Стяжка із цементно-піщаного розчину	84	0,93	68
4	ПЕ плівка	0,2	0,23	84
5	Мембрана	6	0,047	8

6	Залізобетон	200	2,04	64
7	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	200	0,041	Протокол №65.21.028 аналог 1
8	Штукатурка	10	0,87	67

Розраховуємо дійсне значення опору теплопередачі для однорідного перекриття під еркером:

$$R_{\Sigma 1} = 1/5,9 + 0,005/0,17 + 0,005/0,23 + 0,084/0,93 + 0,0002/0,23 + 0,006/0,047 + 0,2/2,04 + 0,2/0,041 + 0,01/0,87 + 1/23 = 5,471 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Розраховуємо приведений опір теплопередачі термічно неоднорідного перекриття під еркером за формулою (1) ДСТУ 9191:2022:

$$R_{\Sigma np} = \frac{A_{\Sigma}}{\sum_i \frac{A_i}{R_i} + \sum_m I_m \cdot \Psi_m + \sum_j N_j \cdot \chi_j}$$

де $A_{\Sigma} = 16,9 \text{ м}^2$ – загальна площа перекриття під еркером;

$A_1 = 16,9 \text{ м}^2$ – площа однорідного перекриття під еркером;

$R_{\Sigma 1} = 5,471 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ – опір теплопередачі термічно однорідного перекриття під еркером;

Ψ_m – лінійний коефіцієнт теплопередачі лінійного теплопровідного включення, Вт/(м·К) визначається згідно додатку Г ДСТУ 9191:2022:

I_m – лінійний розмір (проекція) лінійного теплопровідного включення, К:

Лінійні включення відсутні.

$$\Psi_m \cdot I_m = 0 \text{ Вт/К};$$

χ_j – точковий коефіцієнт теплопередачі точкового теплопровідного включення, Вт/К визначається згідно додатку Д ДСТУ 9191:2022:

- вузол влаштування пластикового дюбеля з металевим стрижнем для кріплення теплоізоляційного шару – 0,005 Вт/К;

N_j – загальна кількість точкових теплопровідних включень, шт.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		98

- вузол влаштування пластикового дюбеля з металевим стрижнем для кріплення теплоізоляційного шару – 161 шт.;

$$\chi_j \cdot N_j = 0,005 \cdot 161 = 0,805 \text{ Вт/К}$$

Тоді приведений опір теплопередачі термічно неоднорідного перекриття під еркером дорівнює:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = 16,9 / (16,9 / 5,471 + 0 + 0,805) = 4,34 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

Перевірка умови (4): $R_{\Sigma \text{пр}} \geq R_{q \text{ min}}$, $4,34 \geq 5,0 \times 0,8$ згідно пункту 5.2.1 ДБН В.2.6-31:2021. Отже, умова виконується.

Перевірка умови (5):

Температура внутрішньої поверхні огороження:

$$\theta_{si,H,i} = \theta_{\text{int}} - \frac{\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext}}}{R_{\Sigma i} h_{si}}$$

де θ_{int} – температура внутрішнього повітря, в даному випадку 20°C згідно таблиці Б.2 ДБН В.2.6-31:2021;

θ_{ext} – розрахункова температура зовнішнього повітря, для I температурної зони мінус 22°C згідно таблиці Б.4 ДБН В.2.6-31:2021;

$$\theta_{si,H,1} = 20 - (20 - (-22)) / (5,9 \cdot 5,471) = 18,70^\circ\text{C};$$

Приведена температура внутрішньої поверхні перекриття над паркінгом:

$$\theta_{si, \text{пр}, H} = \frac{\sum_i \theta_{si,H,i} \cdot A_{si,H,i}}{A_{si, \Sigma, H}}$$

$$\theta_{si, \text{пр}, H} = (18,7 \cdot 16,9) / 16,9 = 18,7^\circ\text{C}$$

Різниця температур між температурою внутрішнього повітря та приведеною температурою внутрішньої поверхні огороження:

$$\Delta\theta_{\text{int-si}} = \theta_{\text{int}} - \theta_{si, \text{пр}, H} = 20 - 18,7 = 1,3^\circ\text{C}$$

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		99

внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції для перекриття під еркером $\Delta\theta_{\text{int-si,max}} = 2,0 \text{ }^\circ\text{C}$ згідно таблиці 3 ДБН В.2.6-31:2021.

$$\Delta\theta_{\text{int-si}} \leq \Delta\theta_{\text{int-si,max}}, 1,3 \leq 2,0. \text{ Отже, умова виконується.}$$

Перекриття над паркінгом

Розраховуємо мінімально допустиме значення опору теплопередачі над перекриття над паркінгом:

$$R_{q \text{ min}} = \frac{\theta_{\text{int,1}} - \theta_{\text{int,2}}}{\Delta\theta_{\text{int-si,max}}} \cdot \frac{1}{h_{\text{si,1}}}$$

де, $\theta_{\text{int,1}}$ – температура внутрішнього повітря, в даному випадку $20 \text{ }^\circ\text{C}$ згідно таблиці Б.2 ДБН В.2.6-31:2021;

$\theta_{\text{int,2}}$ – температура внутрішнього повітря в паркінгу, в даному випадку $5 \text{ }^\circ\text{C}$;

$\Delta\theta_{\text{int-si,max}}$ – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, для перекриття над паркінгом становить $2,0 \text{ }^\circ\text{C}$ згідно таблиці 3 ДБН В.2.6-31:2021;

$h_{\text{si,1}}$ – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, для перекриття над паркінгом $5,9 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

$$R_{q \text{ min}} = (20 - 5)/(2 \cdot 5,9) = 1,27 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)}/\text{Вт}.$$

Таблиця 4.8. Склад перекриття над паркінгом, тип-1

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Тов-щина, мм	Тепло-провідність, Вт/(м·К)	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
1	Лінолеум	5	0,17	88
2	Стяжка самовирівнююча	5	0,23	32
3	Стяжка із цементно-піщаного розчину	84	0,93	68
4	ПЕ плівка	0,2	0,23	84

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		100

5	Екструдований пінополістирол (густина 30 кг/м ³)	50	0,034	Протокол №34К/23 аналог 4
6	Мембрана	6	0,047	8
7	Залізобетон	300	2,04	64

Розраховуємо дійсне значення опору теплопередачі для однорідного перекриття над паркінгом:

$$R_{\Sigma 1} = 1/5,9 + 0,005/0,17 + 0,005/0,23 + 0,084/0,93 + 0,0002/0,23 + 0,05/0,034 + 0,006/0,047 + 0,3/2,04 + 1/12 = 2,14 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

Таблиця 4.9. Склад перекриття над паркінгом, тип-2

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Тов-щина, мм	Тепло-провідність, Вт/(м·К)	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
1	Покриття підлоги	10	1,1	73
2	Шар клею	10	0,08	34
3	Стяжка із цементно-піщаного розчину	74	0,93	68
4	ПЕ плівка	0,2	0,23	84
5	Екструдований пінополістирол (густина 30 кг/м ³)	50	0,034	Протокол №34К/23 аналог 4
6	Мембрана	6	0,047	8
7	Залізобетон	300	2,04	64

Розраховуємо дійсне значення опору теплопередачі для однорідного перекриття над паркінгом:

$$R_{\Sigma 2} = 1/5,9 + 0,01/1,1 + 0,01/0,08 + 0,084/0,93 + 0,0002/0,23 + 0,05/0,034 + 0,006/0,047 + 0,3/2,04 + 1/12 = 2,223 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт.}$$

Розраховуємо приведений опір теплопередачі термічно неоднорідного перекриття над паркінгом за формулою (1) ДСТУ 9191:2022:

$$R_{\Sigma np} = \frac{A_{\Sigma}}{\sum_i \frac{A_i}{R_i} + \sum_m I_m \cdot \psi_m + \sum_j N_j \cdot \chi_j}$$

де $A_{\Sigma} = 578,2 \text{ м}^2$ – загальна площа перекриття над паркінгом;

$A_1 = 385,4 \text{ м}^2$ – площа однорідного перекриття над паркінгом, тип-1;

$R_{\Sigma 1} = 2,14 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ – опір теплопередачі термічно однорідного перекриття над паркінгом, тип-1;

$A_2 = 192,8 \text{ м}^2$ – площа однорідного перекриття над паркінгом, тип-2;

$R_{\Sigma 2} = 2,223 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ – опір теплопередачі термічно однорідного перекриття над паркінгом, тип-2;

Ψ_m – лінійний коефіцієнт теплопередачі лінійного теплопровідного включення, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ визначається згідно додатку Г ДСТУ 9191:2022:

I_m – лінійний розмір (проекція) лінійного теплопровідного включення, К :

Лінійні включення відсутні.

$$\Psi_m \cdot I_m = 0 \text{ Вт/К};$$

χ_j – точковий коефіцієнт теплопередачі точкового теплопровідного включення, Вт/К визначається згідно додатку Д ДСТУ 9191:2022:

N_j – загальна кількість точкових теплопровідних включень, шт.

Точкові включення відсутні.

$$\chi_j \cdot N_j = 0 \text{ Вт/К}$$

Тоді приведений опір теплопередачі термічно неоднорідного перекриття над паркінгом дорівнює:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = 578,2 / (385,4 / 2,14 + 192,8 / 2,223 + 0 + 0) = 2,17 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

Перевірка умови (4): $R_{\Sigma \text{пр}} \geq R_{q \text{ min}}$, $2,17 \geq 1,27$. Отже, умова виконується.

Перевірка умови (5):

Температура внутрішньої поверхні огороження:

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						102
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\theta_{si,H,i} = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{ext}}{R_{\Sigma i} h_{si}}$$

де θ_{int} – температура внутрішнього повітря, в даному випадку 20°C згідно таблиці Б.2 ДБН В.2.6-31:2021;

θ_{ext} – розрахункова температура зовнішнього повітря, для I температурної зони мінус 22 °С згідно таблиці Б.4 ДБН В.2.6-31:2021;

$$\theta_{si,H,1} = 20 - (20 - (5))/(5,9 \cdot 2,14) = 18,81 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$\theta_{si,H,2} = 20 - (20 - (5))/(5,9 \cdot 2,223) = 18,86 \text{ } ^\circ\text{C};$$

Приведена температура внутрішньої поверхні перекриття над паркінгом:

$$\theta_{si,np,H} = \frac{\sum_i \theta_{si,H,i} \cdot A_{si,H,i}}{A_{si,\Sigma,H}}$$

$$\theta_{si,np,H} = (18,81 \cdot 385,4 + 18,86 \cdot 192,8)/578,2 = 18,83 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Різниця температур між температурою внутрішнього повітря та приведеною температурою внутрішньої поверхні огороження:

$$\Delta\theta_{int-si} = \theta_{int} - \theta_{si,np,H} = 20 - 18,83 = 1,17 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції для перекриття над паркінгом $\Delta\theta_{int-si,max} = 2,0 \text{ } ^\circ\text{C}$ згідно таблиці 3 ДБН В.2.6-31:2021.

$$\Delta\theta_{int-si} \leq \Delta\theta_{int-si,max}, 1,17 \leq 2,0. \text{ Отже, умова виконується.}$$

Світлопрозорі огорожувальні конструкції

Мінімально допустиме значення термічного опору теплопередачі для I кліматичної зони (згідно ДБН В.2.6-31:2021) складає 0,9 (м·°С/Вт).

Так як коефіцієнт скління фасаду складає $m_{gl,B} = 0,35$ (п.3.1.1) розраховуємо необхідну приведену температуру на внутрішній поверхні

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		103

світлопрозорих огорожувальних конструкцій здатну забезпечити задану різницю температур ($\Delta\theta_{\text{int-si,max}}$) за формулою (Л.3) згідно ДСТУ 9191:2022:

$$\theta_{\text{si,np,C}} = \frac{(\theta_{\text{int}} - \Delta\theta_{\text{int-si,max}}) \cdot (A_{\text{si},\Sigma C} + A_{\text{si},\Sigma H}) - \theta_{\text{si,np,H}} \cdot A_{\text{si},\Sigma H}}{A_{\text{si},\Sigma C}}$$

$$\Delta\theta_{\text{si,np,C}} = (20 - 4) \cdot (2459,2 + 5466,3) - 18,91 \cdot 5466,3 / 2459,2 = 9,53 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції, в зовнішньому огороженні визначається за формулою (Л.5) згідно ДСТУ 9191:2022:

$$R_{q \text{ min,gl}} = \frac{\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{ext}}}{(\theta_{\text{int}} - \theta_{\text{si,np,C}})} \cdot \frac{1}{h_{\text{si}}}$$

$$R_{q \text{ min,gl}} = (20 - (-22)) / ((20 - 9,53) \cdot 8) = 0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}.$$

До установки приймаються віконні блоки із ПВХ профілю товщиною 70 мм ($R_{\text{проф}} = 1/1,3 = 0,77 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$) з двокамерними склопакетами 4і-14Ar-4-14Ar-4і ($R_{\text{сп}} = 1,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$).

Розраховуємо приведений опір теплопередачі віконних блоків із двокамерними склопакетами за формулою:

$$R_{\Sigma np} = \frac{F_{\text{cn}} + F_{\text{проф}}}{\frac{F_{\text{cn}}}{R_{\text{cn}}} + \frac{F_{\text{проф}}}{R_{\text{проф}}} + \sum_{j=1}^J k_j L_j}$$

де $F_{\Sigma} = 2459,2 \text{ м}^2$ – загальна площа світлопрозорих огорожувальних конструкцій;

$$F_{\text{сп}} = 1770,6 \text{ м}^2 \text{ – загальна площа склопакетів;}$$

$F_{\text{проф}} = 688,6 \text{ м}^2$ – загальна площа профільних елементів (рам віконних блоків, імпортів, тощо);

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		104

$R_{\text{ст}} = 1,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ – приведений опір теплопередачі термічно однорідного склопакету;

$R_{\text{проф}} = 0,77 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ – приведений опір теплопередачі елементів із профілю;

k_j – лінійний коефіцієнт теплопередачі лінійного теплопровідного включення, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ визначається згідно таблиці К.1 ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010:

- лінійні теплопровідні включення в зоні примикання склопакету до рами при заглибленні дистанційної рамки відносно штапика 5 мм становить – $0,06 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

L_j – лінійний розмір (проекція) лінійного теплопровідного включення, м:

- лінійні теплопровідні включення в зоні примикання склопакету до рами – $7244,1 \text{ м}$;

$$L_j \cdot k_j = 0,06 \cdot 7244,1 = 434,65 \text{ Вт}/\text{К};$$

Тоді приведений опір теплопередачі віконних блоків становить:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = 2459,2 / (1770,6 / 1,6 + 688,6 / 0,77 + 434,65) = 1,01 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}.$$

Перевірка умови (4): $R_{\Sigma \text{пр}} \geq R_{q \text{ min}}, 1,01 \geq 0,9$. Отже, умова виконується.

Перевірка умови (6):

Згідно п.5.5.2 ДБН В.2.6-31:2021 мінімально допустиме значення температури на внутрішній поверхні $\Delta\theta_{\text{si, min}}$ світлопрозорих огорожувальних конструкцій при розрахункових значеннях температур зовнішнього та внутрішнього повітря, прийнятих згідно з додатком Б ДБН В.2.6-31:2021, повинно бути не менше ніж температура точки роси θ_D .

Температуру внутрішньої поверхні віконних блоків визначаємо за формулою:

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						105
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\theta_{si,min} = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{e,poz}}{R_{\Sigma np} \alpha_e}$$

де θ_{int} – температура внутрішнього повітря, в даному випадку 20°C згідно таблиці Б.2 ДБН В.2.6-31:2021;

$\theta_{e,poz}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, для I температурної зони мінус 22 °С згідно таблиці Б.4 ДБН В.2.6-31:2021;

$$\theta_{si,min} = 20 - (20 - (-22))/(8,0 \cdot 1,01) = 14,80 \text{ °C}$$

При $\theta_{int} = 20 \text{ °C}$; $\varphi_{int} = 55 \%$ температура точки роси внутрішнього повітря становить $\theta_D = 10,7 \text{ °C}$.

$T_{в min} > \theta_D$, $14,80 > 10,7$. Отже, умова (6) виконується відносно точки роси.

Визначаємо температури на поверхні віконного склопакету та профілю:

$$\theta_{si,min,снк} = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{e,poz}}{R_{cn/проф} h_{si}}$$

- віконного склопакету:

$$\theta_{si,min,сн1} = 20 - (20 - (-22))/8/1,6 = 16,72 \text{ °C}$$

- профілю:

$$\theta_{si,min,проф} = 20 - (20 - (-22))/8/0,77 = 13,18 \text{ °C}$$

Визначаємо приведену температуру внутрішньої поверхні світлопрозорих огорожувальних конструкцій для розрахунку в п.3.1.1:

$$\theta_{si,min,снк} = \frac{\theta_{si,min,сн} \cdot F_{сн} + \theta_{si,min,проф} \cdot F_{проф}}{F_{сн} + F_{проф}}$$

$$\theta_{si,min,снк} = (16,72 \cdot 1770,6 + 13,18 \cdot 688,6)/(1770,6 + 688,6) = 15,73 \text{ °C}$$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		106

4.2.4. Тепловологісний стан огорожувальних конструкцій.

Тепловологісний стан зовнішніх огорожувальних конструкцій визначається згідно ДСТУ Б В.2.6-192:2013.

Необхідність оцінки тепловологісного стану при проектуванні зовнішніх огорожень для визначення заходів щодо:

- запобігання можливості зволоження матеріалів огорожувальної конструкції;
- уникнення можливості конденсації водяної пари на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції;
- запобігання можливості конденсації водяної пари в товщі огорожувальної конструкції;
- забезпечення умови від'ємного або нульового річного балансу вологи в товщі огорожу-вальних конструкцій (умови виведення за період вологовіддачі всієї вологи, що сконденсувалася за період вологонакопичення).

Зовнішні стіни

Таблиця 4.10. Склад стінового огороження (тип-1)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина, мм	Тепло-провідність, Вт/(м·К)	Термічний опір шару, (м ² ·К)/Вт	Коефіцієнт паропроникності, мг/(м·год·Па)	Опір паропроникненню, (м ² ·год·Па)/мг	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
1	Керамічна звичайна цегла на цементно-піщаному розчині	250	0,81	0,309	0,11	2,273	74
2	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	150	0,041	3,659	0,43	0,349	Протокол №65.21.02 8 аналог 1
3	Штукатурка	10	0,87	0,011	0,098	0,102	67

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						107
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 розрахункова температура внутрішнього повітря приймається $\theta_{int}=20^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря $\varphi_{int}=55\%$.

Згідно з таблицею Б.1 додатка Б ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 визначаються парціальні тиски насиченої водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$E_B = 2340 \text{ Па}$ – при температурі внутрішнього повітря 20°C ;

$E_3 = 412 \text{ Па}$ – при температурі зовнішнього повітря $-4,7^{\circ}\text{C}$ (в січні).

$\varphi_3 = 83\%$ – відносна вологість зовнішнього повітря (в січні).

Визначаємо парціальні тиски водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$e_B = 0,01\varphi_{int} \cdot E_B = 0,01 \cdot 55 \cdot 2340 = 1287 \text{ Па}$;

$e_3 = 0,01\varphi_3 \cdot E_3 = 0,01 \cdot 83 \cdot 412 = 342 \text{ Па}$.

Визначаємо розподіл температур $\theta(x)$, $^{\circ}\text{C}$, по товщині конструкції за

формулою:
$$\theta(x) = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{зов}}{R_{\Sigma}} \left(\frac{1}{h_{si}} + R_x \right)$$

де θ_{int} – внутрішня температура приміщення, $^{\circ}\text{C}$;

$\theta_{зов}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$, як середня місячна температура повітря;

R_{Σ} – опір теплопередачі огорожувальної конструкції (однорідної частини), $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{Вт}$;

h_{si} – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, приймають згідно з додатком Б ДСТУ 9191;

R_x – опір теплопередачі частини огорожувальної конструкції, що розташована між внутрішньою поверхнею та площиною, для якої проводиться розрахунок, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{Вт}$.

Визначаємо розподіл температур $\theta(x)$, $^{\circ}\text{C}$, по товщині конструкції:

- для внутрішньої поверхні:

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						108
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\theta(1) = 20 - [(20 - (-4,7))/4,137] \cdot (1/8,7) = 19,3 \text{ } ^\circ\text{C};$$

- на межі 1-го та 2-го шару:

$$\theta(2) = 20 - [(20 - (-4,7))/4,137] \cdot (1/8,7 + 0,309) = 17,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

- на межі 2-го та 3-го шару:

$$\theta(3) = 20 - [(20 - (-4,7))/4,137] \cdot (1/8,7 + 0,309 + 3,659) = -4,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

- на зовнішній поверхні 3-го шару:

$$\theta(4) = 20 - [(20 - (-4,7))/4,137] \cdot (1/8,7 + 0,309 + 3,659 + 0,011) = -4,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

$\theta(x)$, $^\circ\text{C}$

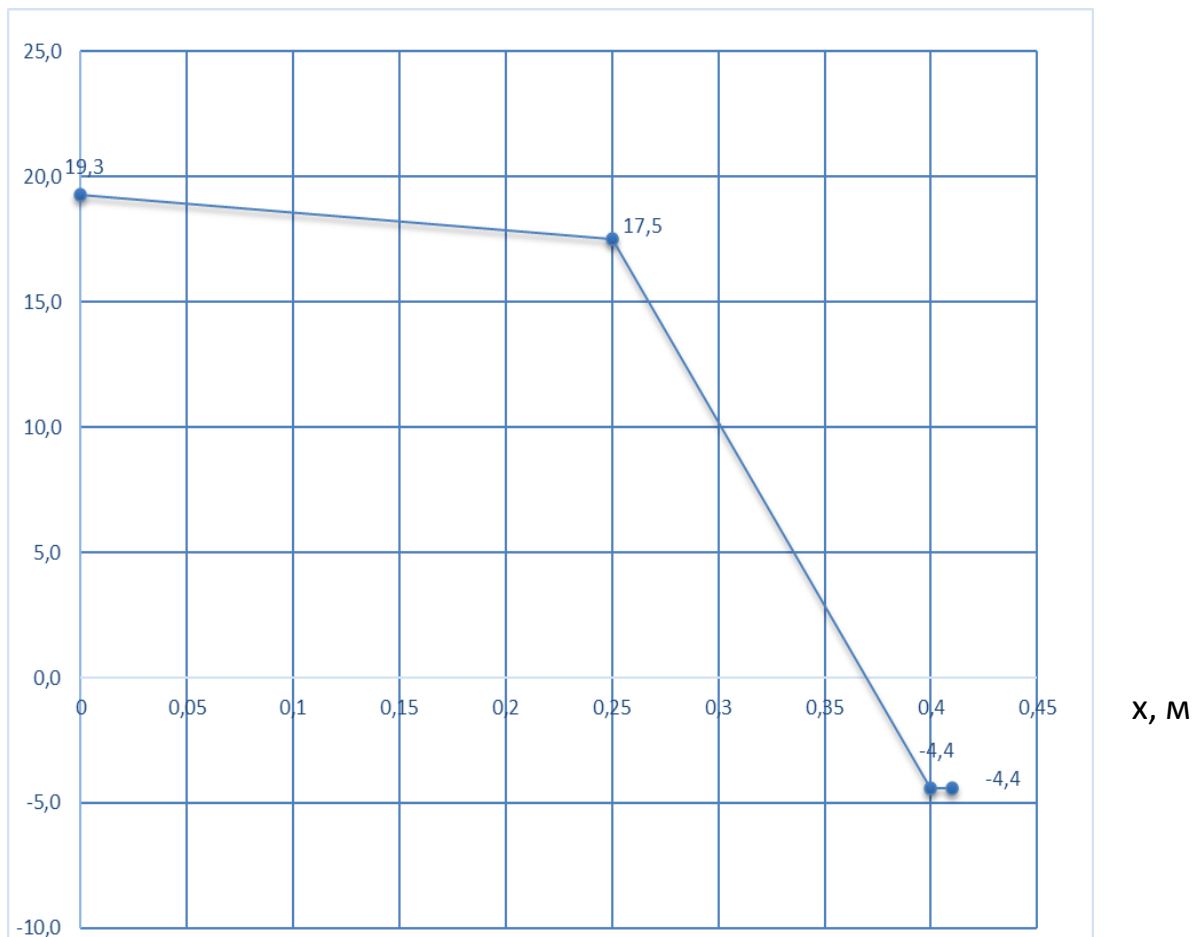


Рис. 4.4. Розподіл температур у товщі зовнішньої стіни

У масштабі опорів паропроникненню будуюмо залежність парціального тиску насиченої водяної пари та парціального тиску водяної пари.

$p, \text{Па}$

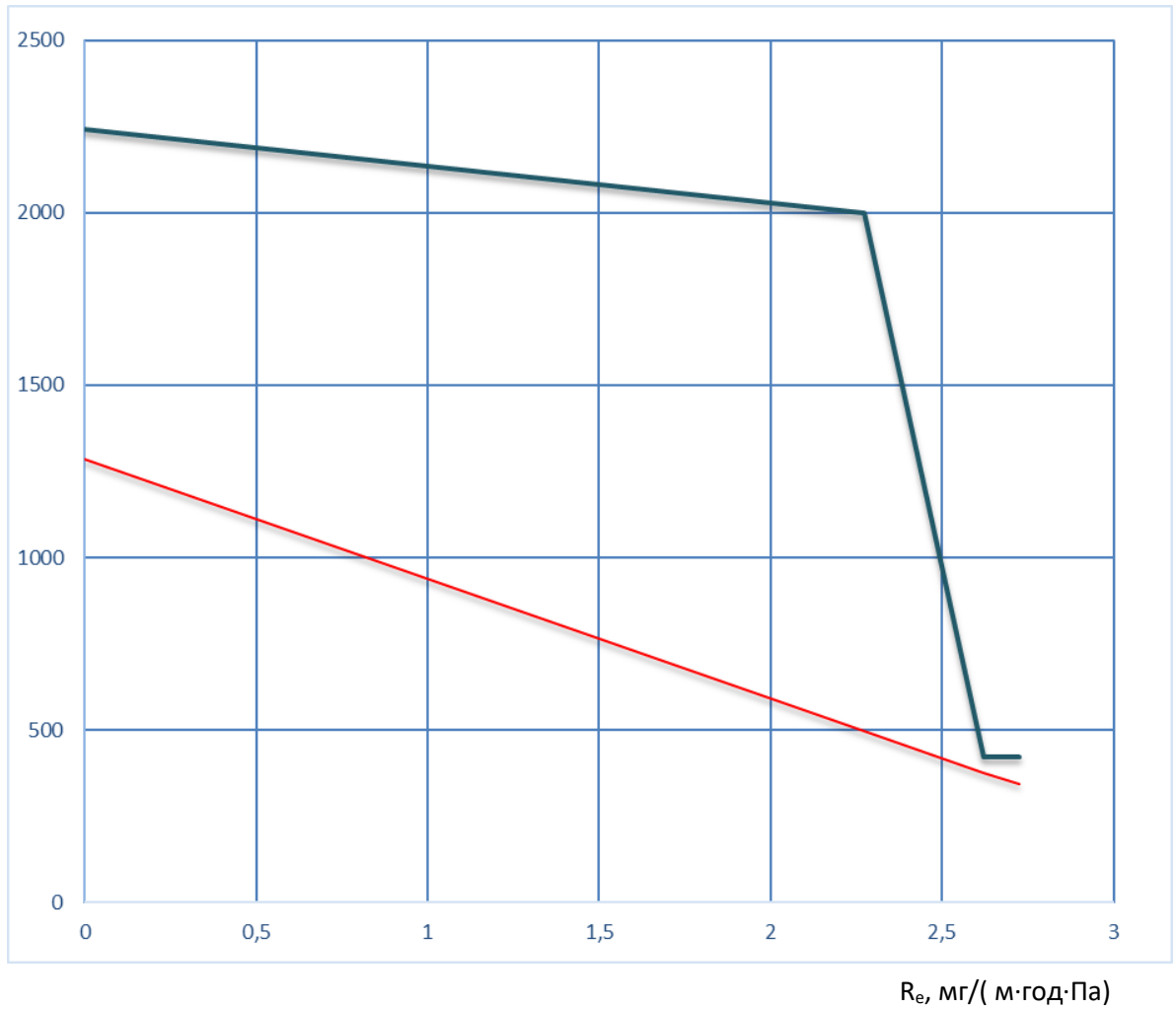


Рис. 4.5. Розподіл парціальних тисків у товщі зовнішньої стіни

Оскільки лінії E та e не перетинаються, що свідчить про те що процес конденсації водяної пари в товщі огорджувальної конструкції не відбувається.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Арк.

110

Таблиця 4.11. Склад стінового огороження (тип-2)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина, мм	Тепло-провідність, Вт/(м·К)	Термічний опір шару, (м ² ·К)/Вт	Коефіцієнт паропроникності, мг/(м·год·Па)	Опір паропроникненню, (м ² ·год·Па)/мг	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
1	Блоки з ніздрюватого бетону (густина 400 кг/м ³)	250	0,13	1,923	0,23	1,087	38
2	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	150	0,041	3,659	0,43	0,349	Протокол №65.21.02 8 аналог 1
3	Штукатурка	10	0,87	0,011	0,098	0,102	67

Згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 розрахункова температура внутрішнього повітря приймається $\theta_{int}=20^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря $\varphi_{int}=55\%$.

Згідно з таблицею Б.1 додатка Б ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 визначаються парціальні тиски насиченої водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$E_B = 2340 \text{ Па}$ – при температурі внутрішнього повітря 20°C ;

$E_3 = 412 \text{ Па}$ – при температурі зовнішнього повітря $-4,7^{\circ}\text{C}$ (в січні).

$\varphi_3 = 83\%$ – відносна вологість зовнішнього повітря (в січні).

Визначаємо парціальні тиски водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$e_B = 0,01\varphi_{int} \cdot E_B = 0,01 \cdot 55 \cdot 2340 = 1287 \text{ Па}$;

$e_3 = 0,01\varphi_3 \cdot E_3 = 0,01 \cdot 83 \cdot 412 = 342 \text{ Па}$.

Визначаємо розподіл температур $\theta(x)$, $^{\circ}\text{C}$, по товщині конструкції за

формулою:
$$\theta(x) = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{зов.}}{R_{\Sigma}} \left(\frac{1}{h_{si}} + R_x \right)$$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		111

де θ_{int} – внутрішня температура приміщення, °С;

$\theta_{\text{зов}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С, як середня місячна температура повітря;

R_{Σ} – опір теплопередачі огорожувальної конструкції (однорідної частини), $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$;

h_{si} – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, приймають згідно з додатком Б ДСТУ 9191;

R_X – опір теплопередачі частини огорожувальної конструкції, що розташована між внутрішньою поверхнею та площиною, для якої проводиться розрахунок, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$.

Визначаємо розподіл температур $\theta(x)$, °С, по товщині конструкції:

- для внутрішньої поверхні:

$$\theta(1) = 20 - [(20 - (-4,7))/5,752] \cdot (1/8,7) = 19,5 \text{ } ^\circ\text{С};$$

- на межі 1-го та 2-го шару:

$$\theta(2) = 20 - [(20 - (-4,7))/5,752] \cdot (1/8,7 + 1,923) = 11,2 \text{ } ^\circ\text{С};$$

- на межі 2-го та 3-го шару:

$$\theta(3) = 20 - [(20 - (-4,7))/5,752] \cdot (1/8,7 + 1,923 + 3,659) = -4,5 \text{ } ^\circ\text{С};$$

- на зовнішній поверхні 3-го шару:

$$\theta(4) = 20 - [(20 - (-4,7))/5,752] \cdot (1/8,7 + 1,923 + 3,659 + 0,011) = -4,5 \text{ } ^\circ\text{С};$$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		112

$\theta(x), ^\circ\text{C}$

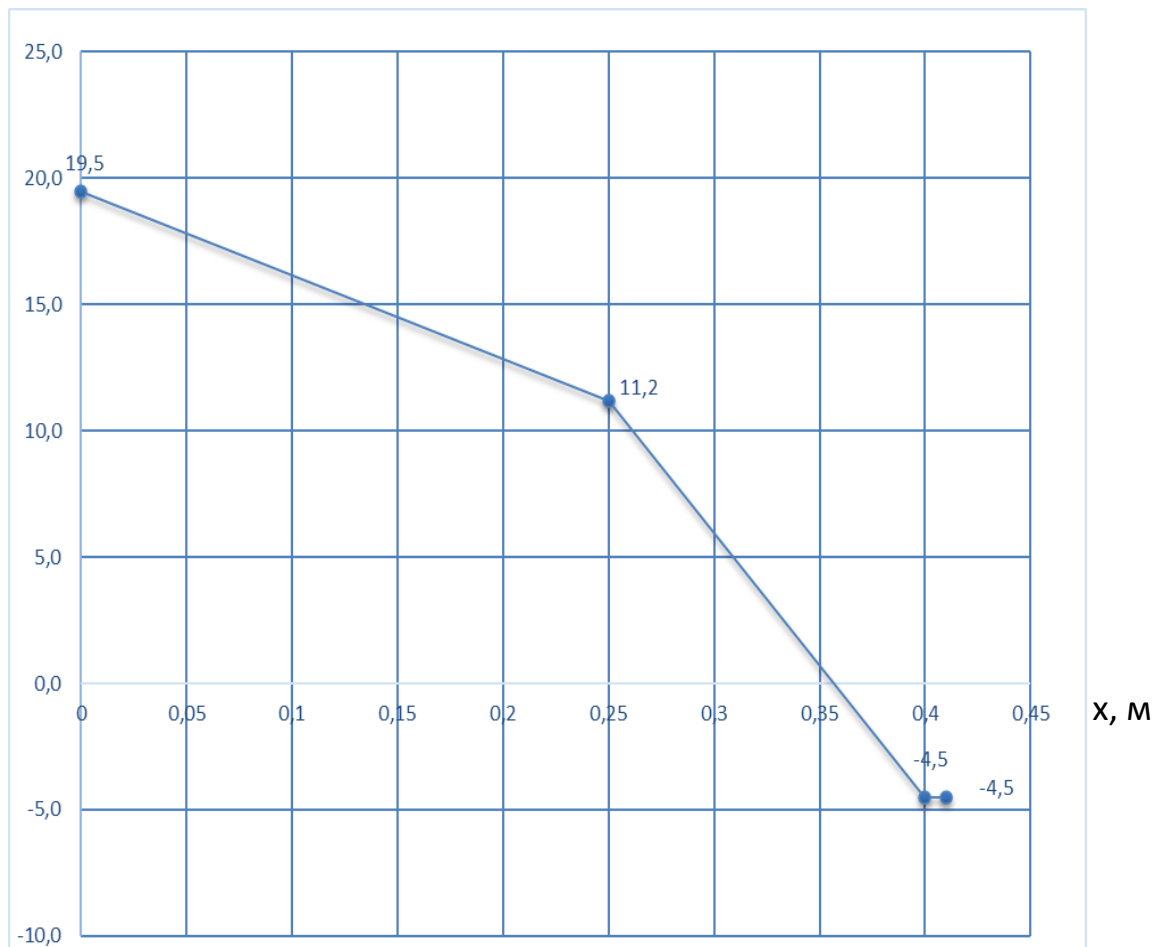


Рис. 4.6. Розподіл температур у товщі зовнішньої стіни

У масштабі опорів паропроникненню будемо залежність парціального тиску насиченої водяної пари та парціального тиску водяної пари.

$p, \text{Па}$

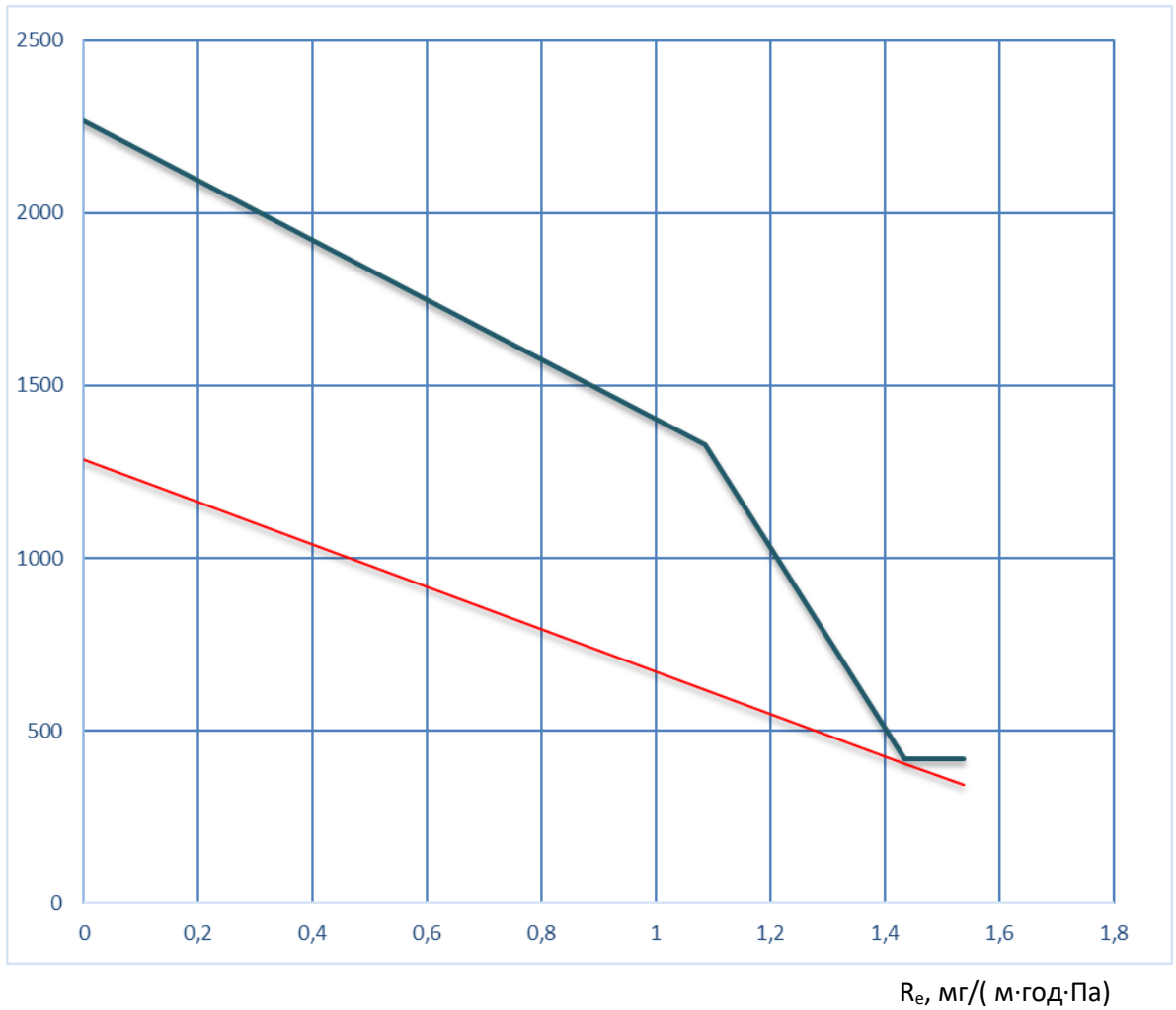


Рис. 1.7. Розподіл парціальних тисків у товщі зовнішньої стіни

Оскільки лінії E та e не перетинаються, що свідчить про те що процес конденсації водяної пари в товщі огорджувальної конструкції не відбувається.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Арк.

114

Таблиця 4.12. Склад стінового огороження (тип-3)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина, мм	Тепло-провідність, Вт/(м·К)	Термічний опір шару, (м ² ·К)/Вт	Коефіцієнт паропроникності, мг/(м·год·Па)	Опір паропроникненню, (м ² ·год·Па)/мг	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
1	Залізобетон	250	2,04	0,123	0,03	8,333	64
2	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	150	0,041	3,659	0,43	0,349	Протокол №65.21.02 8 аналог 1
3	Штукатурка	10	0,87	0,011	0,098	0,102	67

Згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 розрахункова температура внутрішнього повітря приймається $\theta_{int}=20^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря $\varphi_{int}=55\%$.

Згідно з таблицею Б.1 додатка Б ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 визначаються парціальні тиски насиченої водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$E_B = 2340 \text{ Па}$ – при температурі внутрішнього повітря 20°C ;

$E_3 = 412 \text{ Па}$ – при температурі зовнішнього повітря $-4,7^{\circ}\text{C}$ (в січні).

$\varphi_3 = 83\%$ – відносна вологість зовнішнього повітря (в січні).

Визначаємо парціальні тиски водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$e_B = 0,01\varphi_{int} \cdot E_B = 0,01 \cdot 55 \cdot 2340 = 1287 \text{ Па}$;

$e_3 = 0,01\varphi_3 \cdot E_3 = 0,01 \cdot 83 \cdot 412 = 342 \text{ Па}$.

Визначаємо розподіл температур $\theta(x)$, $^{\circ}\text{C}$, по товщині конструкції за

формулою: $\theta(x) = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{зов}}{R_{\Sigma}} \left(\frac{1}{h_{si}} + R_x \right)$

де θ_{int} – внутрішня температура приміщення, $^{\circ}\text{C}$;

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		115

$\theta_{\text{зов}}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, °С, як середня місячна температура повітря;

R_{Σ} – опір теплопередачі огорожувальної конструкції (однорідної частини), (м²·К)/Вт;

h_{si} – коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К), приймають згідно з додатком Б ДСТУ 9191;

R_x – опір теплопередачі частини огорожувальної конструкції, що розташована між внутрішньою поверхнею та площиною, для якої проводиться розрахунок, (м²·К)/Вт.

Визначаємо розподіл температур $\theta(x)$, °С, по товщині конструкції:

- для внутрішньої поверхні:

$$\theta(1) = 20 - [(20 - (-4,7))/3,951] \cdot (1/8,7) = 19,3 \text{ } ^\circ\text{C};$$

- на межі 1-го та 2-го шару:

$$\theta(2) = 20 - [(20 - (-4,7))/3,951] \cdot (1/8,7 + 0,123) = 18,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

- на межі 2-го та 3-го шару:

$$\theta(3) = 20 - [(20 - (-4,7))/3,951] \cdot (1/8,7 + 0,123 + 3,659) = -4,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

- на зовнішній поверхні 3-го шару:

$$\theta(4) = 20 - [(20 - (-4,7))/3,951] \cdot (1/8,7 + 0,123 + 3,659 + 0,011) = -4,4 \text{ } ^\circ\text{C};$$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		116

$\theta(x), ^\circ\text{C}$

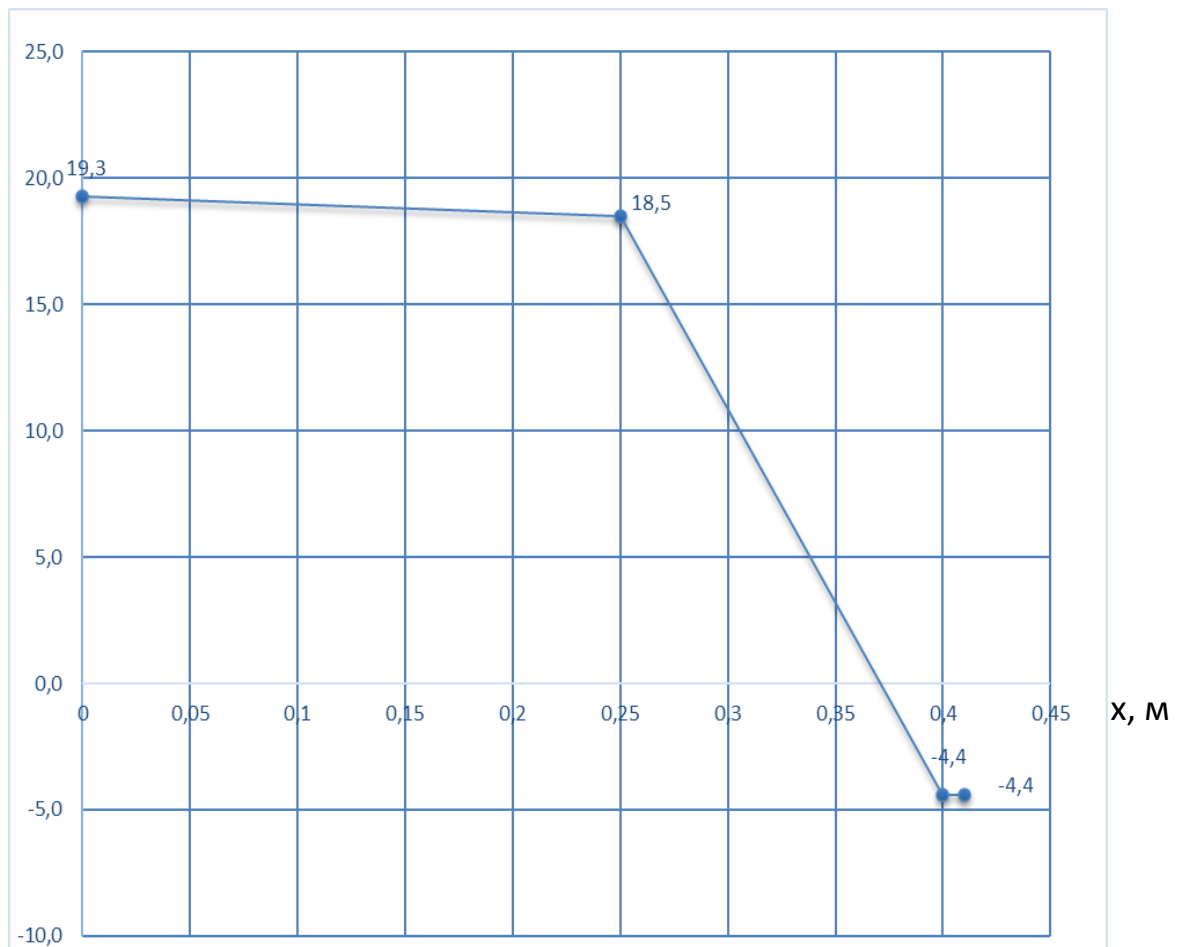


Рис. 4.8. Розподіл температур у товщі зовнішньої стіни

У масштабі опорів паропроникненню будемо залежність парціального тиску насиченої водяної пари та парціального тиску водяної пари.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$p, \text{Па}$

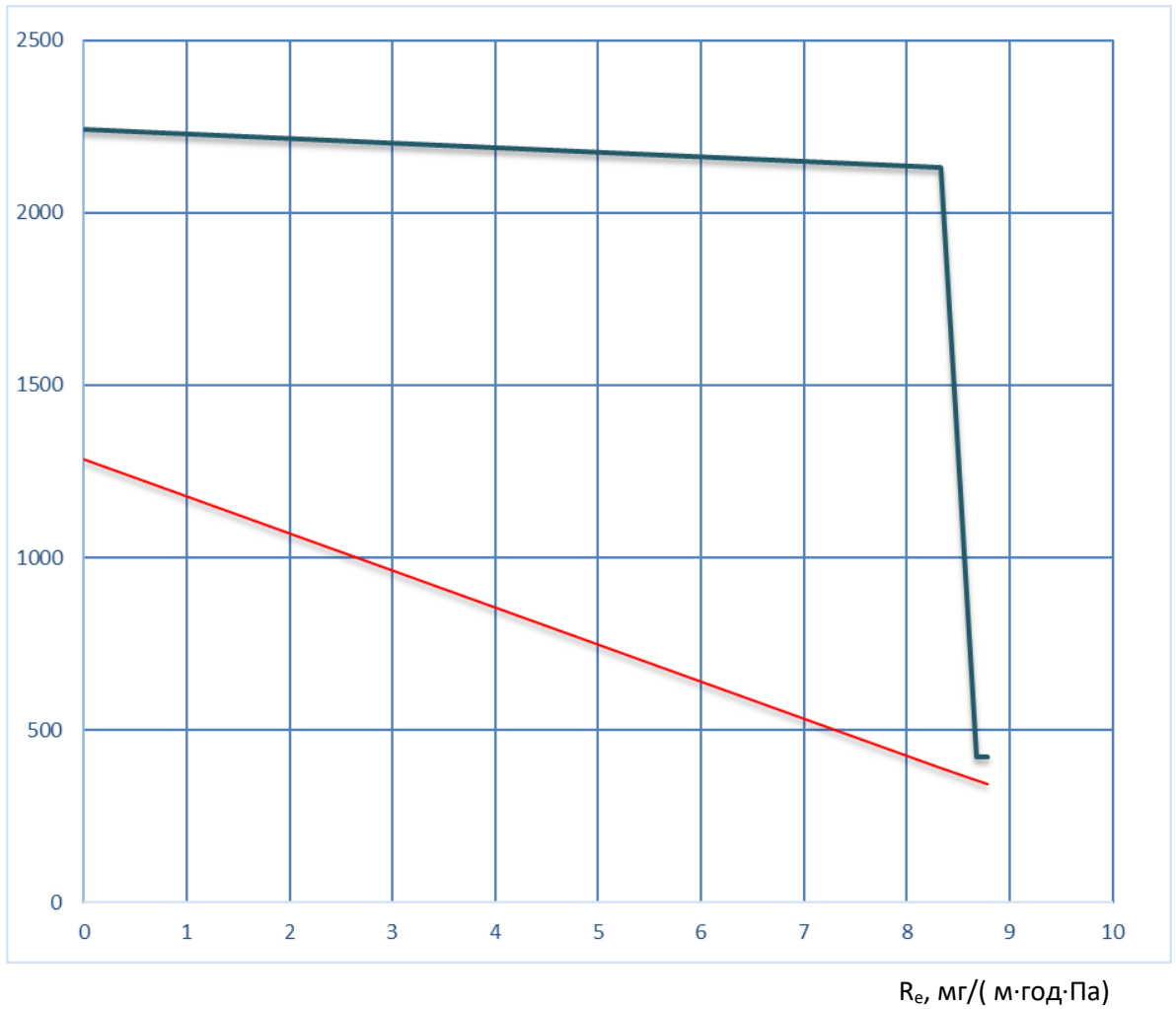


Рис. 4.9. Розподіл парціальних тисків у товщі зовнішньої стіни

Оскільки лінії E та e не перетинаються, що свідчить про те що процес конденсації водяної пари в товщі огорожувальної конструкції не відбувається.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Арк.

118

Суміщене покриття

Таблиця 4.13. Склад суміщеного перекриття

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина, мм	Тепло-провідність, Вт/(м·К)	Термічний опір шару, (м ² ·К)/Вт	Коефіцієнт паропроникності, мг/(м·год·Па)	Опір паропроникненню, (м ² ·год·Па)/мг	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
1	Залізобетонна плита покриття	200	2,04	0,098	0,03	6,667	64
2	Стяжка із цементно-піщаного розчину	50	0,93	0,054	0,09	0,556	68
3	Гідроізоляція	4	0,17	0,024	0,001	4	83
4	Екструдований пінополістирол (густина 30 кг/м ³)	200	0,034	5,882	0,008	25	Протокол №34К/23 аналог 4
5	ПЕ плівка	0,2	0,23	0,001	0,00011	1,818	85
6	Стяжка із бетону	100	1,86	0,054	0,03	3,333	65
7	Гідроізоляція	8	0,17	0,047	0,001	8	83

Згідно з таблицею Б.2 ДБН В.2.6-31:2021 розрахункова температура внутрішнього повітря приймається $\theta_{int}=20^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря $\phi_{int}=55\%$.

Згідно з таблицею Б.1 додатка Б ДСТУ-Н Б В.2.6-192:2013 визначаються парціальні тиски насиченої водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$E_B = 2340 \text{ Па}$ – при температурі внутрішнього повітря 20°C ;

$E_3 = 412 \text{ Па}$ – при температурі зовнішнього повітря $-4,7^{\circ}\text{C}$ (в січні).

$\phi_3 = 83\%$ – відносна вологість зовнішнього повітря (в січні).

Визначаємо парціальні тиски водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$e_B = 0,01\phi_{int} \cdot E_B = 0,01 \cdot 55 \cdot 2340 = 1287 \text{ Па}$;

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		119

$$e_3 = 0,01 \varphi_3 \cdot E_3 = 0,01 \cdot 83 \cdot 412 = 342 \text{ Па.}$$

Визначаємо розподіл температур $\theta(x)$, °С, по товщині конструкції за формулою:
$$\theta(x) = \theta_{int} - \frac{\theta_{int} - \theta_{зов}}{R_{\Sigma}} \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_x \right)$$

де θ_{int} - внутрішня температура приміщення, °С;

$\theta_{зов}$ - розрахункова температура зовнішнього повітря, °С, як середня місячна температура повітря;

R_{Σ} - опір теплопередачі огорожувальної конструкції (однорідної частини), (м²·К)/Вт;

α_g - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/(м²·К), приймають згідно з додатком Б ДСТУ Б В.2.6-189;

R_x - опір теплопередачі частини огорожувальної конструкції, що розташована між внутрішньою поверхнею та площиною, для якої проводиться розрахунок, (м²·К)/Вт.

Визначаємо розподіл температур $\theta(x)$, °С, по товщині конструкції:

- для внутрішньої поверхні:

$$\theta(1) = 20 - [(20 - (-4,7))/6,3] \cdot (1/10) = 19,6 \text{ °С;}$$

- на межі 1-го та 2-го шару:

$$\theta(2) = 20 - [(20 - (-4,7))/6,3] \cdot (1/10 + 0,098) = 19,2 \text{ °С;}$$

- на межі 2-го та 3-го шару:

$$\theta(3) = 20 - [(20 - (-4,7))/6,3] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,054) = 19,0 \text{ °С;}$$

- на межі 3-го та 4-го шару:

$$\theta(4) = 20 - [(20 - (-4,7))/6,3] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,054 + 0,024) = 18,9 \text{ °С;}$$

- на межі 4-го та 5-го шару:

$$\theta(5) = 20 - [(20 - (-4,7))/6,3] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,054 + 0,024 + 5,882) = -4,1 \text{ °С;}$$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		120

- на межі 5-го та 6-го шару:

$$\theta(6) = 20 - [(20 - (-4,7))/6,3] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,054 + 0,024 + 5,882 + 0,001)$$
$$=$$
$$= -4,1 \text{ } ^\circ\text{C};$$

- на межі 6-го та 7-го шару:

$$\theta(7) = 20 - [(20 - (-4,7))/6,3] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,054 + 0,024 + 5,882 + 0,001$$
$$+$$
$$+ 0,054) = -4,3 \text{ } ^\circ\text{C};$$

- на зовнішній поверхні 7-го шару:

$$\theta(8) = 20 - [(20 - (-4,7))/6,3] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,054 + 0,024 + 5,882 + 0,001$$
$$+$$
$$+ 0,054 + 0,047) = -4,5 \text{ } ^\circ\text{C};$$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						121
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$\theta(x), ^\circ\text{C}$

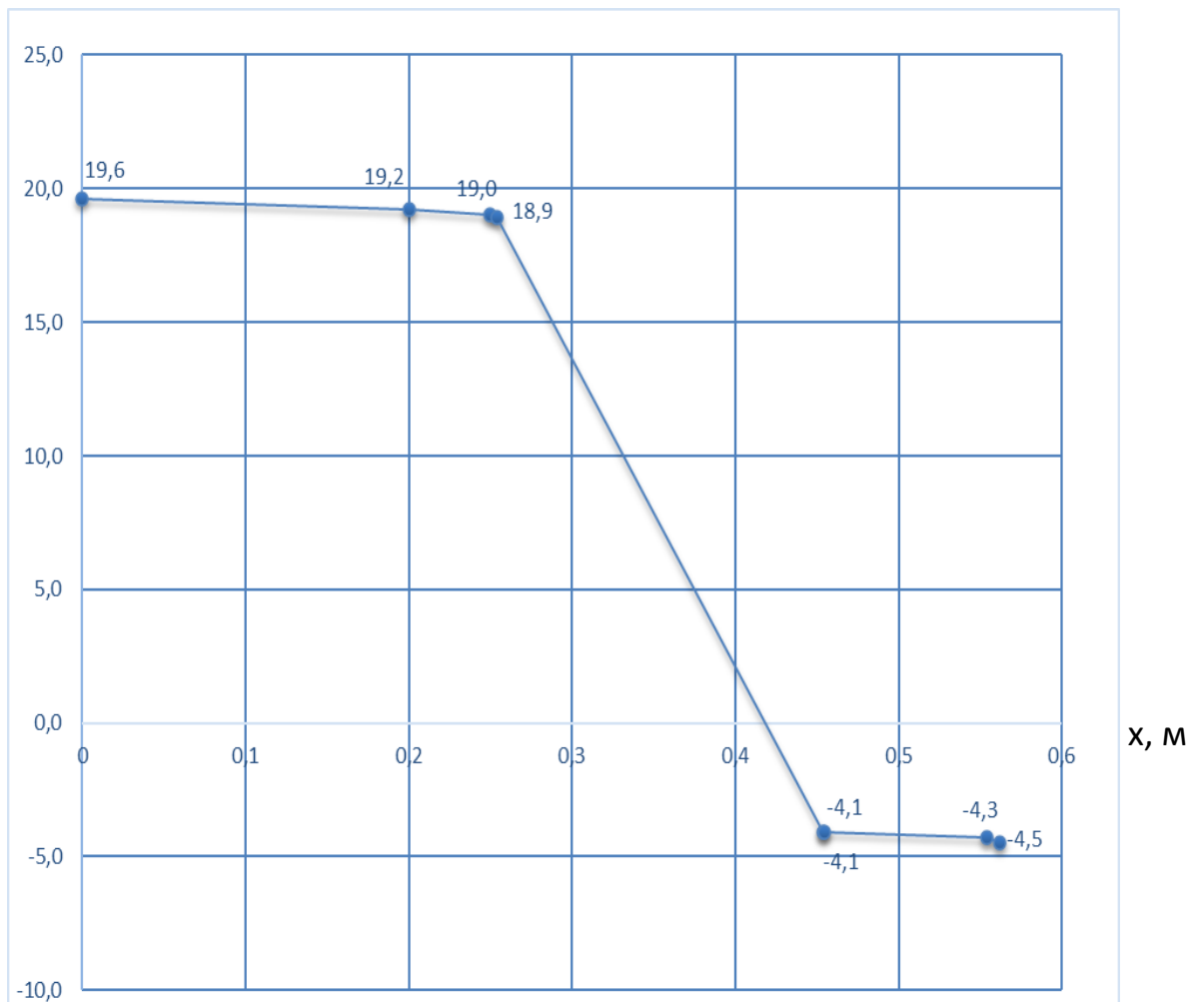


Рис. 4.10. Розподіл температур у товщі суміщеного перекриття

У масштабі опорів паропроникненню будуюмо залежність парціального тиску насиченої водяної пари та парціального тиску водяної пари.

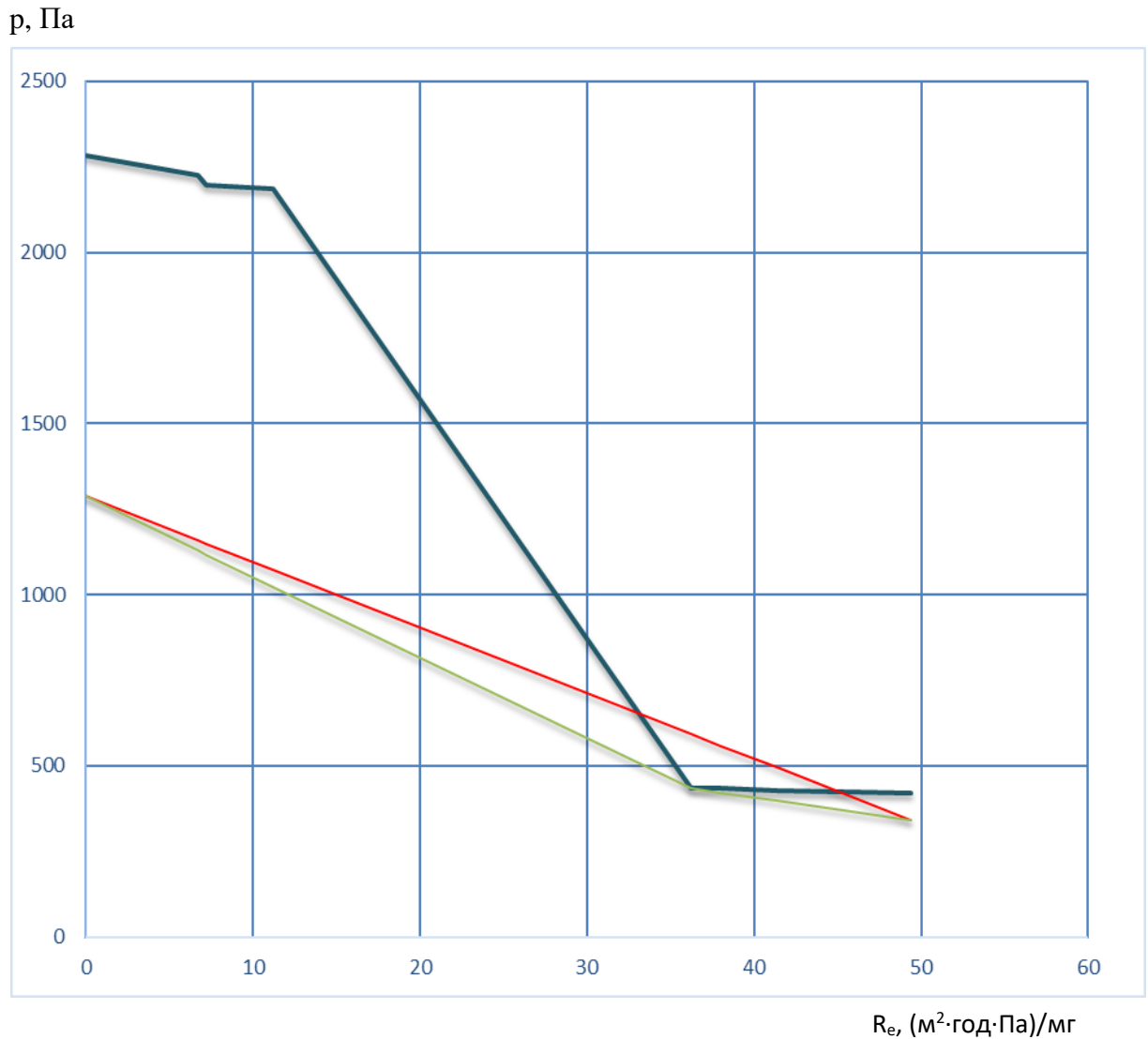


Рис. 4.11. Розподіл парціальних тисків у товщі суміщеного перекриття

Оскільки лінії E та e перетинаються, що свідчить про конденсацію вологи в товщі огорожувальної конструкції, будується лінія розрахункового тиску водяної пари e_p . Лінію e_p будують, проводячи дотичні з точок на поверхнях конструкції, що відповідають значенням парціального тиску внутрішнього і зовнішнього повітря до лінії розподілу насиченої водяної пари E .

За розподілом парціальних тисків згідно рисунку вище встановлено, що конденсація відбувається на межі шару утеплювача та ПЕ плівки.

Кількість водяної пари i_v , мг/(м²·год), що надходить до зони конденсації зі сторони приміщення:

$$i_v = (e_v - p_k)/R_{ев} = (1287 - 433)/36,223 = 23,58 \text{ мг/(м}^2\cdot\text{год)}.$$

Кількість водяної пари i_z , мг/(м²·год), що виводиться назовні із зони конденсації:

$$i_z = (p_k - e_z)/R_{ез} = (433 - 342)/(49,374 - 36,223) = 6,92 \text{ мг/(м}^2\cdot\text{год)}.$$

Кількість вологи W , кг/м², що конденсується в конструкції за січень:

$$W = \tau \cdot (i_v - i_z) \cdot 10^{-6} = 744 \cdot (23,58 - 6,92) \cdot 10^{-6} = 0,012 \text{ мг/(м}^2\cdot\text{год)}.$$

Виконуючи подібні розрахунки для інших місяців періоду вологонакопичення (у даному випадку січень, лютий, березень, листопад і грудень), отримують значення кількості вологи, що сконденсувалась в огорожувальній конструкції кожного місяця та за весь період вологонакопичення.

Проводимо розрахунки для першого місяця періоду вологовіддачі - березня.

Аналогічно визначаємо парціальні тиски насиченої водяної пари E :

$$E_v = 2340 \text{ Па} - \text{при температурі внутрішнього повітря } 20 \text{ }^\circ\text{C};$$

$$E_z = 1148 \text{ Па} - \text{при температурі зовнішнього повітря } 9,0 \text{ }^\circ\text{C (квітень)}.$$

$$\varphi_z = 66\% - \text{відносна вологість зовнішнього повітря (квітень)}.$$

Визначаємо парціальні тиски водяної пари внутрішнього та зовнішнього повітря:

$$e_v = 0,01\varphi_{int} E_v = 0,01 \cdot 50 \cdot 2340 = 1170 \text{ Па};$$

$$e_z = 0,01\varphi_z E_z = 0,01 \cdot 66 \cdot 1148 = 758 \text{ Па}.$$

Визначаємо розподіл температур $\theta(x)$, °C, по товщині конструкції:

- для внутрішньої поверхні:

$$\theta(1) = 20 - [(20 - 9)/6,3] \cdot (1/10) = 19,8 \text{ }^\circ\text{C};$$

- на межі 1-го та 2-го шару:

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		124

$$\theta(2) = 20 - [(20 - 9)/6,3] \cdot (1/10 + 0,098) = 19,7 \text{ }^\circ\text{C};$$

- на межі 2-го та 3-го шару:

$$\theta(3) = 20 - [(20 - 9)/6,3] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,054) = 19,6 \text{ }^\circ\text{C};$$

- на межі 3-го та 4-го шару:

$$\theta(4) = 20 - [(20 - 9)/6,3] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,054 + 0,024) = 19,5 \text{ }^\circ\text{C};$$

- на межі 4-го та 5-го шару:

$$\theta(5) = 20 - [(20 - 9)/6,3] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,054 + 0,024 + 5,882) = 9,3 \text{ }^\circ\text{C};$$

- на межі 5-го та 6-го шару:

$$\theta(6) = 20 - [(20 - 9)/6,3] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,054 + 0,024 + 5,882 + 0,001) = 9,3 \text{ }^\circ\text{C};$$

- на межі 6-го та 7-го шару:

$$\theta(7) = 20 - [(20 - 9)/6,3] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,054 + 0,024 + 5,882 + 0,001 + 0,054) = 9,2 \text{ }^\circ\text{C};$$

- на зовнішній поверхні 7-го шару:

$$\theta(8) = 20 - [(20 - 9)/6,3] \cdot (1/10 + 0,098 + 0,054 + 0,024 + 5,882 + 0,001 + 0,054 + 0,047) = 9,1 \text{ }^\circ\text{C};$$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						125
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

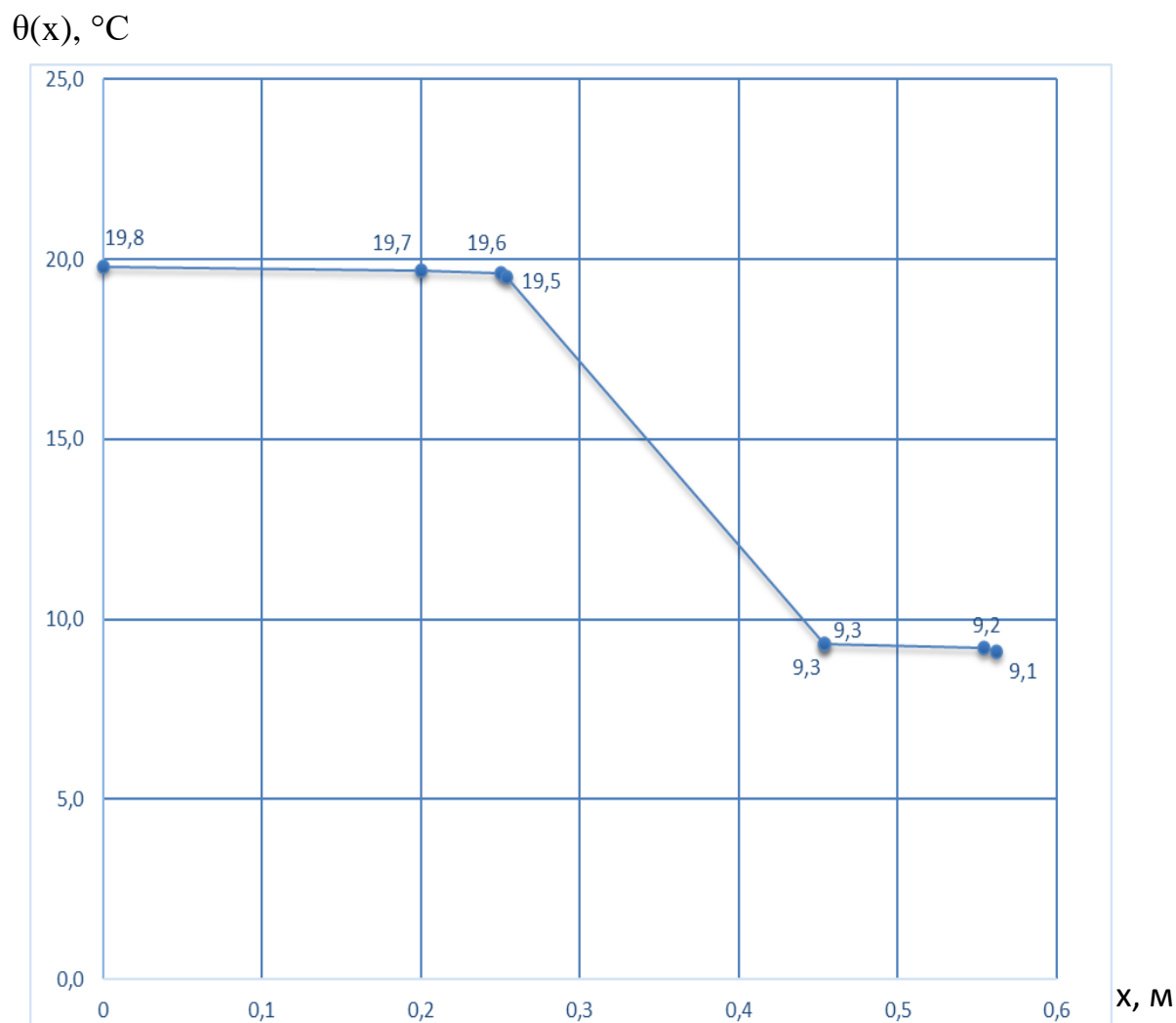


Рис. 4.12. Розподіл температур у товщі суміщеного перекриття
(квітень)

У масштабі опорів паропроникненню будемо залежність парціального тиску насиченої водяної пари та парціального тиску водяної пари.

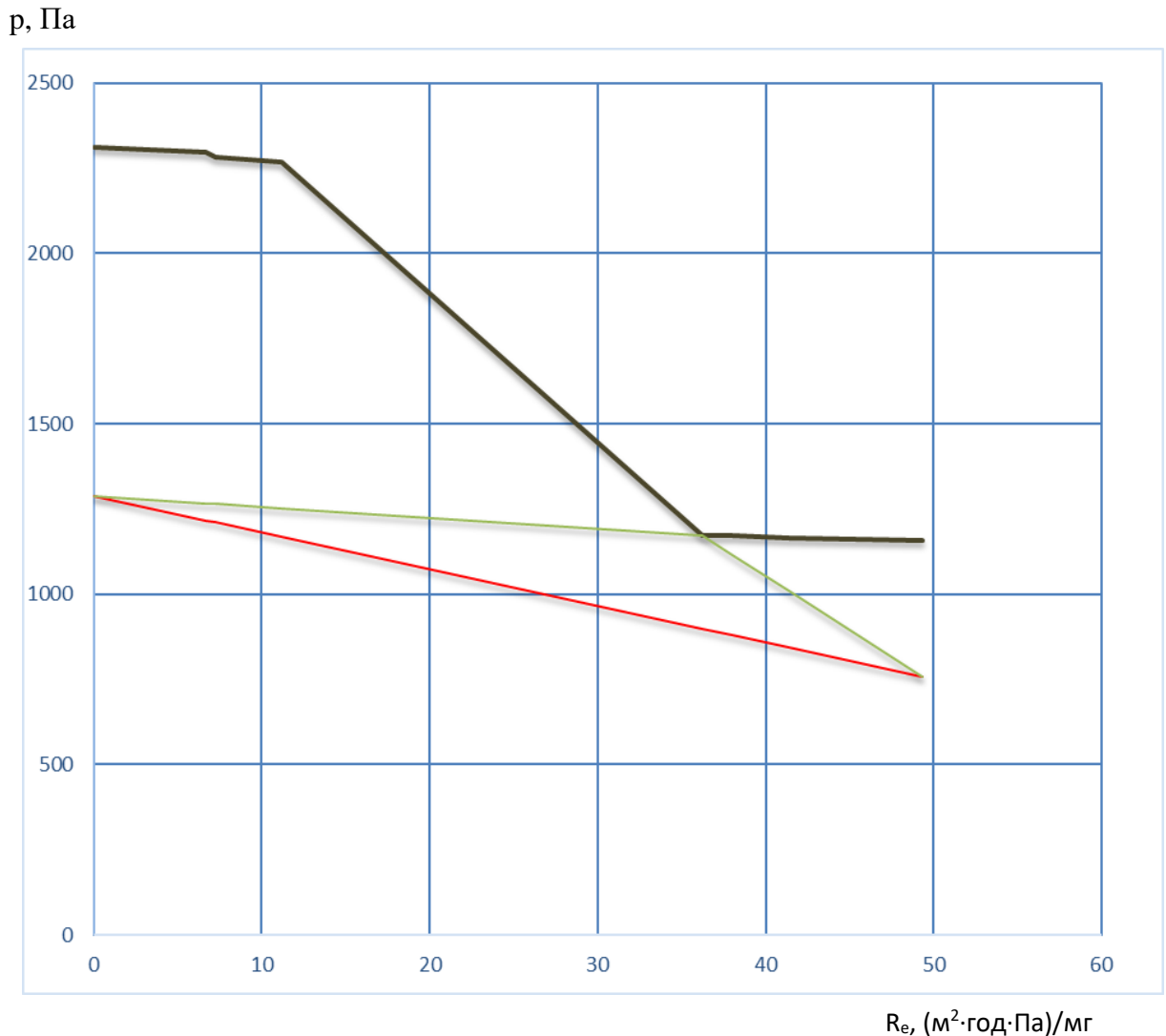


Рис. 4.13. Розподіл парціальних тисків у товщі суміщеного перекриття (квітень)

За розподілом парціальних тисків на рисунку вище встановлено, що волога, яка сконденсувалася за період вологонакопичення, випаровуватиметься назовні і надходить із приміщення.

Кількість водяної пари i_v , мг/(м²·год), що надходить до зони конденсації із приміщення:

$$i_v = (p_v - e_k) / R_{ev} = (1287 - 1171) / 36,223 = 3,2 \text{ мг/(м}^2 \cdot \text{год)}.$$

Кількість водяної пари i_z , мг/(м²·год), що виводиться назовні із зони конденсації:

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		127

$$i_3 = (p_k - e_3)/R_{e3} = (1171 - 758)/(49,374 - 36,223) = 31,4 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год}).$$

Кількість вологи W , $\text{кг}/\text{м}^2$, що випаровується з конструкції за квітень:

$$W = \tau \cdot (i_3 - i_b) \cdot 10^{-6} = 720 \cdot (31,4 - 3,2) \cdot 10^{-6} = 0,020 \text{ мг}/\text{м}^2.$$

Проводимо розрахунки для всіх місяців періоду випаровування вологи.

Таблиця 4.14. Річний баланс вологи в товщі огороження.

Місяць року	Кількість вологи, що сконденсувались в огорожувальній конструкції, $\text{кг}/\text{м}^2$	Кількість вологи, що випарувалась із зони конденсації, $\text{кг}/\text{м}^2$
Січень	0,012	0
Лютий	0,009	0
Березень	0,003	0
Квітень	0	0,020
Травень	0	0,047
Червень	0	0,053
Липень	0	0,062
Серпень	0	0,058
Вересень	0	0,029
Жовтень	0	0,012
Листопад	0,004	0
Грудень	0,010	0
	$\Sigma = 0,038$	$\Sigma = 0,281$

За проведеними розрахунками встановлено, що в даній конструкції суміщеного перекриття процес конденсації водяної пари відбувається протягом січня, лютого, березня, листопаду та грудня. В інші місяці року відбувається випаровування вологи що сконденсувалась. При цьому встановлено, що за перші два місяці після закінчення процесів конденсації (квітень та травень) випаровується вся волога, що сконденсувалась за місяці конденсації, отже умова $W_{зп} \leq W_{лп}$, $0,038 \leq 0,281 \text{ мг}/\text{м}^2$ виконується. Де $W_{зп}$ та $W_{лп}$ відповідно кількість накопиченої вологи, що

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		128

сконденсувалась в товщі огородження та кількість вологи, що випарувалась протягом року із огородження.

Оцінюємо збільшення вологості матеріалу у товщині шару конструкції, в якому може відбуватися конденсація вологи, за холодний період року. В даному випадку зволожується шар теплоізоляції, оскільки він є прилеглим до зони конденсації.

Для виробів із пінополістиролу допустиме значення збільшення вологості $\Delta w_d = 2,0 \%$ згідно таблиці 5 ДБН В.2.6-31:2021.

$$\Delta w = W_{зп} / (\delta_k \cdot \rho_k) \cdot 100\% = 0,038 / (0,2 \cdot 30) \cdot 100\% = 0,633\%.$$

Умова згідно ДБН В.2.6-31:2016 $\Delta w \leq \Delta w_d$, $0,633 \leq 2,0 \%$ отже умова виконується.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						129
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3.5. Оцінка теплостійкості та теплозасвоєння огорожувальних конструкцій

Оцінка теплостійкості огорожувальних конструкцій в літній період

Так як середня температура найбільш жаркого місяця (липня) менше 21°C (19,8°C < 21°C) то згідно п.5.8 ДБН В.2.6-31:2021 теплостійкість огорожувальних конструкцій в літній період року дозволяється не перевіряти.

Визначення показника теплозасвоєння поверхнею підлоги

Теплозасвоєння огорожувальних конструкцій визначається згідно ДСТУ Б В.2.6-190:2013.

Таблиця 4.15. Теплофізичні характеристики підлоги (перекриття під еркером)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина, мм	Тепло-провідність, Вт/(м·К)	Термічний опір шару, (м ² ·К)/Вт	Коефіцієнт теплозасвоєння, Вт/(м ² ·К)	Теплова інерція	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
1	Лінолеум	5	0,17	0,029	3,32	0,096	88
2	Стяжка самовирівнююча	5	0,19	0,026	3,24	0,084	32
3	Стяжка із цементно-піщаного розчину	84	0,76	0,111	9,6	1,066	68
4	ПЕ плівка	0,2	0,23	0,001	5,87	0,006	84
5	Мембрана	6	0,044	0,136	0,3	0,041	8
6	Залізобетон	200	1,92	0,104	17,98	1,87	64
7	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	200	0,035	5,714	0,59	3,371	Протокол №65.21.028 аналог 1
8	Штукатурка	10	0,7	0,014	8,95	0,125	67

Оскільки перші два внутрішні шари огороження в сумі мають теплову інерцію меншу ніж $D1 + D2 < 0,5$, а $D1 + D2 + D3 > 0,5$, $0,096 + 0,063 + 1,066 =$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		130

= 1,225 > 0,5 тоді показник теплосасвоєння поверхнею підлоги визначається за формулою:

$$Y_2 = (2 \cdot R_2 \cdot s_2^2 + s_3) / (0,5 + R_2 \cdot s_3)$$

$$Y_2 = (2 \cdot 0,026 \cdot 3,24^2 + 9,6) / (0,5 + 0,026 \cdot 9,6) = 13,54 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$Y_1 = (4 \cdot R_1 \cdot s_1^2 + Y_2) / (1 + R_1 \cdot Y_2)$$

$$Y_1 = (4 \cdot 0,029 \cdot 3,32^2 + 13,54) / (1 + 0,029 \cdot 13,54) = 10,64 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Перевірка умови п.5.9 ДБН В.2.6-31:2021 $Y_f \leq Y_{f, \max}$, $Y_{f, \max} = 12$ Вт/(м²·К) – для будівель даного типу згідно таблиці 4 ДБН В.2.6-31:2021, $10,64 \leq 12$ отже умова виконується.

Таблиця 4.16. Теплофізичні характеристики підлоги (перекриття над паркінгом, тип-1)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина, мм	Тепло-провідність, Вт/(м·К)	Термічний опір шару, (м ² ·К)/Вт	Коефіцієнт теплосасвоєння, Вт/(м ² ·К)	Теплова інерція	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
1	Лінолеум	5	0,17	0,029	3,32	0,096	88
2	Стяжка самовирівнююча	5	0,19	0,026	3,24	0,084	32
3	Стяжка із цементно-піщаного розчину	84	0,76	0,111	9,6	1,066	68
4	ПЕ плівка	0,2	0,23	0,001	5,87	0,006	84
5	Екструдований пінополістирол (густина 30 кг/м ³)	50	0,034	1,471	0,34	0,5	Протокол №34К/23 аналог 4
6	Мембрана	6	0,044	0,136	0,3	0,041	8
7	Залізобетон	300	1,92	0,156	17,98	2,805	64

Оскільки перші два внутрішні шари огороження в сумі мають теплову інерцію меншу ніж $D1 + D2 < 0,5$, а $D1 + D2 + D3 > 0,5$, $0,096 +$

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		131

0,063 + 1,066 =
 = 1,225 > 0,5 тоді показник теплосасвоєння поверхнею підлоги визначається за формулою:

$$Y_2 = (2 \cdot R_2 \cdot s_2^2 + s_3) / (0,5 + R_2 \cdot s_3)$$

$$Y_2 = (2 \cdot 0,026 \cdot 3,24^2 + 9,6) / (0,5 + 0,026 \cdot 9,6) = 13,54 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$Y_1 = (4 \cdot R_1 \cdot s_1^2 + Y_2) / (1 + R_1 \cdot Y_2)$$

$$Y_1 = (4 \cdot 0,029 \cdot 3,32^2 + 13,54) / (1 + 0,029 \cdot 13,54) = 10,64 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Перевірка умови п.5.9 ДБН В.2.6-31:2021 $Y_f \leq Y_{f, \max}$, $Y_{f, \max} = 12$ Вт/(м²·К) – для будівель даного типу згідно таблиці 4 ДБН В.2.6-31:2021, $10,64 \leq 12$ отже умова виконується.

Таблиця 4.17. Теплофізичні характеристики підлоги (перекриття над паркінгом, тип-2)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина, мм	Тепло-провідність, Вт/(м·К)	Термічний опір шару, (м ² ·К)/Вт	Коефіцієнт теплосасвоєння, Вт/(м ² ·К)	Теплова інерція	Номер матеріалу згідно додатку А ДСТУ 9191:2022
1	Покриття підлоги	10	0,96	0,01	11,63	0,116	73
2	Шар клею	10	0,072	0,139	1,03	0,143	34
3	Стяжка із цементно-піщаного розчину	84	0,76	0,111	9,6	1,066	68
4	ПЕ плівка	0,2	0,23	0,001	5,87	0,006	84
5	Екструдований пінополістирол (густина 30 кг/м ³)	50	0,034	1,471	0,34	0,5	Протокол №34К/23 аналог 4
6	Мембрана	6	0,044	0,136	0,3	0,041	8
7	Залізобетон	300	1,92	0,156	17,98	2,805	64

Оскільки перші два внутрішні шари огородження в сумі мають теплову інерцію меншу ніж $D1 + D2 < 0,5$, а $D1 + D2 + D3 > 0,5$, $0,116 + 0,143 + 1,066 = 1,325 > 0,5$ тоді показник теплосвоєння поверхнею підлоги визначається за формулою:

$$Y_2 = (2 \cdot R_2 \cdot s_2^2 + s_3) / (0,5 + R_2 \cdot s_3)$$

$$Y_2 = (2 \cdot 0,0139 \cdot 1,03^2 + 9,6) / (0,5 + 0,0139 \cdot 9,6) = 5,39 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

$$Y_1 = (4 \cdot R_1 \cdot s_1^2 + Y_2) / (1 + R_1 \cdot Y_2)$$

$$Y_1 = (4 \cdot 0,01 \cdot 11,63^2 + 5,39) / (1 + 0,01 \cdot 5,39) = 10,25 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Перевірка умови п.5.9 ДБН В.2.6-31:2021 $Y_f \leq Y_{f, \max}$, $Y_{f, \max} = 12 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ – для будівель даного типу згідно таблиці 4 ДБН В.2.6-31:2021, $10,52 \leq 12$ отже умова виконується.

Оцінка теплостійкості приміщень в зимовий період

Згідно п. 5.8. ДБН В.2.6-31:2021 за наявності в будівлі системи опалення з автоматичним децентралізованим регулюванням температури внутрішнього повітря теплостійкість приміщень в холодний період року не перевіряють.

Дана будівля обладнана системою опалення з автоматичним регулюванням температури внутрішнього повітря.

4.2.6. Розрахункова оцінка повітропроникності огорожувальних конструкцій

Розрахункова оцінка повітропроникності зовнішніх огорожувальних конструкцій визначається згідно ДСТУ Б В.2.6-191:2013.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		133

Таблиця 4.18. Повторюваність та швидкість вітру за сторонами світу в січні для м. Київ згідно ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010

Повторюваність напрямку вітру, %							
Середня швидкість вітру, м/с							
Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ
4,6	5,8	11,9	14,1	14,0	23,5	14,9	4,6
3,2	2,0	1,7	2,0	2,7	3,0	3,0	3,2

Максимальна із середніх швидкостей вітру за румбами в січні з повторюваністю 16% і більше становить – 3,0 м/с в західному напрямку.

Висота будівлі від рівня підлоги першого поверху до верху витяжної шахти – 73,0 м. Висота 1-го поверху – 3,36 м.

Розрахунок масової повітропроникності зовнішніх стін

Визначаємо повітропроникність однорідних ділянок стінової конструкції з послідовним розміщенням шарів при різниці тиску $\Delta p_0 = 10$ Па:

Таблиця 4.19. Склад зовнішньої стіни (тип-1) та повітропроникність однорідних шарів (Таблиця 3 ДСТУ Б В.2.6-191:2013)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина зразка випробування d, мм	Різниця тиску Δp_0 , Па	Повітропроникність $G\Delta p_0$, кг/(м ² ·год)
1	Керамічна звичайна цегла на цементно-піщаному розчині	250 і більше	10	0,56
2	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	50	10	5
3	Штукатурка	15	10	0,027

Таблиця 4.20. Склад зовнішньої стіни (тип-2) та повітропроникність однорідних шарів (Таблиця 3 ДСТУ Б В.2.6-191:2013)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина зразка випробування d, мм	Різниця тиску Δp_0 , Па	Повітропроникність $G\Delta p_0$, кг/(м ² ·год)

1	Блоки з ніздрюватого бетону (густина 400 кг/м ³)	200	10	0,312
2	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	50	10	5
3	Штукатурка	15	10	0,027

Таблиця 4.21. Склад зовнішньої стіни (тип-3) та повітропроникність однорідних шарів (Таблиця 3 ДСТУ Б В.2.6-191:2013)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина зразка випробування d, мм	Різниця тиску Δр ₀ , Па	Повітропроникність GΔр ₀ , кг/(м ² ·год)
1	Залізобетон	100	10	0,00051
2	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	50	10	5
3	Штукатурка	15	10	0,027

Визначаємо питому вагу зовнішнього та внутрішнього повітря:

$$\gamma_z = 3463 / (273 + t_z) = 3463 / (273 + (-22)) = 13,8 \text{ Н/м}^3;$$

$$\gamma_v = 3463 / (273 + t_v) = 3463 / (273 + 20) = 11,8 \text{ Н/м}^3.$$

де t_z - розрахункове значення температури зовнішнього повітря, °С, що приймається залежно від температурної зони ДБН В.2.6-31:2021;

t_v - розрахункове значення температури внутрішнього повітря, °С, що приймається залежно від призначення будинку згідно ДБН В.2.6-31:2021;

Визначаємо розрахункову різницю тисків Δр, Па:

$$\Delta p = (H - h_i)(\gamma_z - \gamma_v) + 0,03\gamma_z v^2 \beta_v$$

де H - висота будинку від рівня підлоги першого поверху до верху витяжної шахти, м;

h_i - висота від рівня підлоги першого поверху до середини огорожувальної конструкції і-го поверху, для якого проводиться розрахунок, м;

γ_z, γ_v - питома вага відповідно зовнішнього та внутрішнього повітря, Н/м³;

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		135

v - максимальна із середніх швидкостей вітру за румбами за січень, м/с, повторюваність яких складає 16 % та більше, прийнята згідно зі ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010;

β_v - коефіцієнт, що враховує зміну швидкості повітря за висотою будівлі, який приймається згідно з таблицею 2 ДСТУ Б В.2.6-191:2013 при місцевості з розташованими будинками понад 25 м становить близько 0,1,1.

- для 1-го поверху:

$$\Delta p = (73 - 0,5 \cdot 3,36) \cdot (13,8 - 11,8) + 0,03 \cdot 13,8 \cdot 3^2 \cdot 1,1 = 146,7 \text{ Па.}$$

Визначаємо масову повітропроникність шарів конструкції визначають за формулою: $G^{\Delta p} = G^{\Delta p_0} \cdot (\Delta p / \Delta p_0)^n$

де n – показник фільтрації, за відсутності даних приймається: для утеплювачів із мінеральної вати – 1,5; для цегляної кладки – 0,8; для вікон та дверей – 0,67.

Таблиця 4.22. Розрахунок масової повітропроникності (тип-1)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Повітропроникність $G^{\Delta p_0}$, кг/(м ² ·год)	n	Різниця тиску Δp для 1-го поверху, Па	Повітропроникність $G^{\Delta p}$ для 1-го поверху, кг/(м ² ·год)
1	Звичайна керамічна цегла на цементно-піщаному розчині	0,56	0,8	146,7	4,801
2	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	5	1,5	146,7	280,941
3	Штукатурка	0,027	0,8	146,7	0,232

Таблиця 4.23. Розрахунок масової повітропроникності (тип-2)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Повітропроникність $G\Delta p_0$, кг/(м ² ·год)	n	Різниця тиску Δp для 1-го поверху, Па	Повітропроникність $G^{\Delta p}$ для 1-го поверху, кг/(м ² ·год)
1	Блоки з ніздрюватого бетону (густина 400 кг/м ³)	0,312	0,8	146,7	2,675
2	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	5	1,5	146,7	280,941
3	Штукатурка	0,027	0,8	146,7	0,232

Таблиця 4.24. Розрахунок масової повітропроникності (тип-3)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Повітропроникність $G\Delta p_0$, кг/(м ² ·год)	n	Різниця тиску Δp для 1-го поверху, Па	Повітропроникність $G^{\Delta p}$ для 1-го поверху, кг/(м ² ·год)
1	Залізобетон	0,00051	0,8	146,7	0,004
2	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	5	1,5	146,7	280,941
3	Штукатурка	0,027	0,8	146,7	0,232

Масова повітропроникність стінового огороження визначається за формулою:

$$G^K = \left(\sum_{i=1}^n \frac{n_i}{G_i^{\Delta p}} \right)^{-1} = \left(\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i / d}{G_i^{\Delta p}} \right)^{-1}$$

де δ_i – товщина і-го матеріалу багат шарового огороження, м;

d – товщина зразка матеріалу для якого здійснювалися випробування повітропроникності, м;

Таблиця 4.25. Розрахунок масової повітропроникності конструкції (тип-1)

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		137

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина зразка випробування d, мм	Товщина, мм	Повітропроникність $1/G_1^{\Delta p}$ для 1-го поверху, (м ² ·год)/кг
1	Звичайна керамічна цегла на цементно-піщаному розчині	250 і більше	250	0,208
2	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	50	150	0,011
3	Штукатурка	15	10	2,88
Сума:				3,099
G^k , кг/(м ² ·год)				0,3227

Таблиця 4.26. Розрахунок масової повітропроникності конструкції (тип-2)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина зразка випробування d, мм	Товщина, мм	Повітропроникність $1/G_1^{\Delta p}$ для 1-го поверху, (м ² ·год)/кг
1	Блоки з ніздрюватого бетону (густина 400 кг/м ³)	200	250	0,467
2	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	50	150	0,011
3	Штукатурка	15	10	2,88
Сума:				3,358
G^k , кг/(м ² ·год)				0,2978

Таблиця 4.27. Розрахунок масової повітропроникності конструкції (тип-3)

№ п/п	Назва і-го шару конструкції	Товщина зразка випробування d, мм	Товщина, мм	Повітропроникність $1/G_1^{\Delta p}$ для 1-го поверху, (м ² ·год)/кг
1	Залізобетон	100	250	284,09
2	Мінеральні плити (густина 135 кг/м ³)	50	150	0,011
3	Штукатурка	15	10	2,88
Сума:				286,98
G^k , кг/(м ² ·год)				0,0035

Зі збільшенням висоти різниця тисків знижується, тому розрахунок для 2-24-х поверхів не проводимо.

Нормативна масова повітропроникність стін згідно таблиці 1 ДСТУ Б В.2.6-191:2013 становить: $G^k = 0,4$ кг/(м²·год), як впливає з

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		138

вищенаведеного розрахункова повітропроникність не перевищує допустимого значення.

Розрахунок масової повітропроникності віконних блоків

Віконні блоки виконані із ПВХ-профілів та заповнені двокамерними склопакетами – повітропроникність віконного блоку при різниці тисків $\Delta p = 100$ Па становить $50 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ для вікон класу 1, $27 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ - для класу 2, $9 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ - для класу 3 та $3 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$ - для класу 4 згідно таблиці 1 ДСТУ EN 14351-1:2020, показник режиму фільтрації $n = 2/3$ (0,67). Коефіцієнт, що враховує зміну швидкості повітря – 1,1.

Питома вага зовнішнього та внутрішнього повітря розрахована в п. 3.4.1.

Визначаємо розрахункову різницю тисків Δp , Па:

- для 1-го поверху: $\Delta p = (73 - 1,25) \cdot (13,8 - 11,8) + 0,03 \cdot 13,8 \cdot 3^2 \cdot 1,1 = 147,6$ Па.

Визначаємо об'ємну повітропроникність віконного блоку за формулою:

$$Q^{\Delta p} = Q^{\Delta p 100} \cdot (\Delta p / \Delta p_{100})^n$$

- для 1-го поверху: $Q^{\Delta p} = 3 \cdot (147,6 / 100)^{2/3} = 3,89 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

Визначаємо густину зовнішнього повітря:

$$\rho_3 = 353 / (273 + t_3) = 353 / (273 + (-22)) = 1,41 \text{ кг/м}^3;$$

Визначаємо масову повітропроникність віконного блоку:

$$G^K = Q^{\Delta p} \rho_3$$

- для 1-го поверху: $G^K = 3,89 \cdot 1,41 = 5,48 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

Наводимо зведену таблицю розрахунків для 1-24 поверхів.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		139

Таблиця 4.28. Розрахунок масової повітропроникності віконних блоків

№ пов.	Висота h_i , для якої проводиться розрахунок, м;	Розрахунков у різницю тисків Δp_i , Па	Повітропроникність ($\Delta p = 100$ Па), $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$	Розрахункова об'ємна повітропроникність, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$	Розрахункова масова повітропроникність, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$
1	1,25	147,6	3	3,89	5,48
2	4,535	141	3	3,77	5,32
3	7,335	135,4	3	3,67	5,17
4	10,135	129,8	3	3,57	5,03
5	12,935	124,2	3	3,47	4,89
6	15,735	118,6	3	3,36	4,74
7	18,535	113	3	3,25	4,58
8	21,335	107,4	3	3,15	4,44
9	24,135	101,8	3	3,04	4,29
10	26,935	96,2	3	2,92	4,12
11	29,735	90,6	3	2,81	3,96
12	32,535	85	3	2,69	3,79
13	35,335	79,4	3	2,57	3,62
14	38,135	73,8	3	2,45	3,45
15	40,935	68,2	3	2,32	3,27
16	43,735	62,6	3	2,2	3,1
17	46,535	57	3	2,06	2,9
18	49,335	51,4	3	1,92	2,71
19	52,135	45,8	3	1,78	2,51
20	54,935	40,2	3	1,63	2,3
21	57,735	34,6	3	1,48	2,09
22	60,535	29	3	1,31	1,85
23	63,41	23,3	3	1,14	1,61
24	63,77	22,6	3	1,11	1,57

Нормативна масова повітропроникність віконних блоків згідно таблиці 1 ДСТУ Б В.2.6-191:2013 становить: $G_K = 4 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, отже розрахункова повітропроникність не перевищує допустимого значення,

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						140
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

при умові, що встановлені вікна будуть класу повітропроникності 4 згідно ДСТУ EN 14351-1:2020.

4.3. Порівняння результатів з нормативними вимогами на прикладі розрахунку плити по ґрунту

Формування ефективної теплової оболонки будівлі передбачає обов'язкове утеплення всіх зовнішніх огорожувальних конструкцій. Це необхідно для вирішення двох ключових завдань: по-перше, для досягнення запланованого класу енергоефективності шляхом зниження споживання енергії інженерними системами [15], і, по-друге, для гарантування комфортних умов для людей поблизу внутрішніх поверхонь [1].

Відповідно до чинних українських нормативів [1] [4], проектування конструкцій має бути спрямоване на забезпечення мінімально допустимого опору теплопередачі [1] та на мінімізацію впливу містків холоду. Для досягнення загальної енергоефективності будівлі [11] застосовують різні стратегії: від скорочення трансмісійних тепловтрат (через збільшення товщини ізоляції) до автоматизації інженерних систем, що можуть частково чи повністю використовувати відновлювані джерела енергії, наприклад, теплові насоси [16].

Попри це, у проектній практиці, спираючись на попередній досвід, часто нехтують утепленням конструкцій, що контактують безпосередньо з ґрунтом. Такий підхід суперечить, наприклад, європейському «правилу маркера», яке вимагає створення суцільного, нерозривного ізоляційного контуру по всіх поверхнях, що межують із зовнішнім середовищем (включно з ґрунтом, а не лише з повітрям).

Якщо для житлових будинків необхідність утеплення підлоги на ґрунті є загально визнаною, то стосовно громадських будівель доцільність таких заходів часто є предметом дискусій. Для об'єктів із дуже великою площею

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		141

підлоги (наприклад, торговельних центрів) вимога [4] щодо обов'язкового суцільного утеплення всієї площини (товщиною не менше 50 мм) ставить під сумнів економічну доцільність такого рішення.

Тому для будівель логістичної інфраструктури (складів, центрів логістики, перевалочних пунктів), які характеризуються саме такими великими площами, виникає необхідність проаналізувати ефективність утеплення виключно периметральних зон підлоги (як показано на рисунку 4.11). Саме через ці крайові зони, як припускається, відбуваються найбільші обсяги трансмісійних тепловтрат.

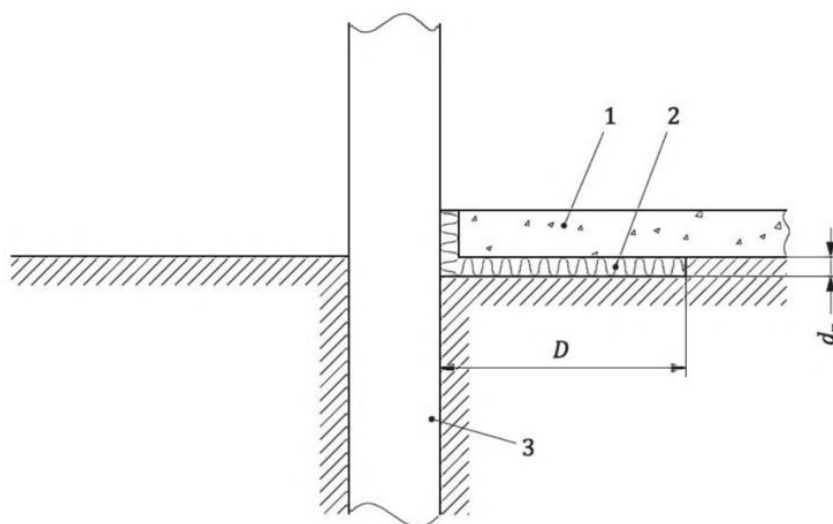


Рис.4.14 – Схема утеплення крайової зони підлоги на ґрунті [17], [18]

1- шар підлоги; 2 – горизонтальне теплоізолювання; 3 – стіна фундаменту; d_n – товщина утеплювача; D – ширина утеплення

Об'єктом дослідження є конструкція підлоги по ґрунту будівлі, що представлена у вигляді прямокутної бетонної плити з розмірами в плані $X1 \times X2$ та товщиною D_{bet} мм. Плита безпосередньо спирається на ґрунт, при цьому рівень підлоги збігається з рівнем землі. Уздовж усього периметру передбачене утеплення — смуга з пінополіуретану товщиною D_{ins} і

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		142

шириною L_{ins} , розташована під плитою, тобто між шаром бетону та ґрунтовою основою.

Таким чином, центральна зона плити, яка не має теплоізоляції, має розміри $(X_1 - 2 \cdot L_{ins}) \times (X_2 - 2 \cdot L_{ins})$ і характеризується прямим теплопередаванням від бетону до ґрунту. У периферійних ділянках тепловий потік проходить крізь бетон і шар утеплювача.

Температура повітря всередині приміщення, тобто на верхній поверхні плити, приймається сталою і дорівнює $T_{in} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Для спрощення розрахунків температуру ґрунту на глибині 10 м вважають постійною та рівною $10 \text{ }^\circ\text{C}$ [8, 9]. Значення коефіцієнта теплопровідності ґрунту (λ , Вт/м·К) суттєво змінюється залежно від його типу, вологості, щільності, а також температурного стану. У таблиці 4.28 наведено типові значення цього показника для різних видів ґрунтів.

Таблиця 4.29 – Показники теплопровідності для деяких типів ґрунтів

Тип ґрунту	Сухий стан (Вт/м·К)	Насичений/вологий стан (Вт/м·К)	Джерело даних
Пісок (sand)	0.3–0.4 (мін. 0.3, макс. 0.9)	1.4–2.4 (насичений: 2.0–3.0)	[19]
Гравій (gravel)	0.4 (мін. 0.4, макс. 0.9)	1.6–2.5 (насичений: 1.8)	[19]
Глина/мул (clay/silt)	0.4–0.5 (мін. 0.4, макс. 1.0)	1.1–3.1 (насичений: 1.8)	[19] [20]
Суглинок/дерновий (till/loam)	немає даних	1.1–2.9 (типове: 2.4)	[19]
Торф (peat)	0.05–0.2	0.4–0.7 (насичений: 0.55; незмерзлий: 0.25–0.6)	[19] [21]
Піщані ґрунти (sandy soils)	0.25–0.6	0.7–2.0	[20]
Глинисті ґрунти (clayey soils)	0.25–0.6	0.55–1.15	[21]

Отже, для більшості типів ґрунтів коефіцієнт теплопровідності перебуває в межах $0,15\text{--}2,5$ Вт/м·К у природних умовах. У даній моделі прийнято усереднене значення $\lambda = 1$ Вт/м·К.

Процес теплопередачі розглядається як стаціонарний і двовимірний, оскільки враховується бічний потік тепла в плиті, спричинений різницею термічного опору між центральною та периферійною зонами. Модель спрощується шляхом ігнорування конвекції повітря та припущення, що товщина плити є малою порівняно з її горизонтальними розмірами. Водночас зберігається урахування двовимірного ефекту в перерізі, наприклад, у площині $x-z$, де x — горизонтальна координата, а z — вертикальна, тобто напрям через товщу плити. Для спрощення розрахунків передбачається, що в напрямку X_2 модель є нескінченною, тому розв'язується двовимірна задача теплопровідності.

У розрахунках прийнято такі значення коефіцієнтів теплопровідності: для бетону $\lambda_{bet} = 2,04 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, що відповідає типовим даним, а для теплоізоляційного матеріалу (пінополіуретану) $\lambda_{ins} = 0,025 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$.

Ґрунт у моделі представлений як напівпростір із теплопровідністю $\lambda_{soil} = 1 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ (згідно з типовими значеннями, наведеними раніше). Він оточує плиту знизу та з боків. Поверхня ґрунту знаходиться на одному рівні з верхньою поверхнею плити. За межами будівлі температура поверхні ґрунту приймається рівною зовнішній температурі T_{out} .

Координатна система: $z = 0$ — верхня поверхня плити та поверхня ґрунту поза будівлею, z — інвертована та збільшується вниз; $x = 0$ — центр плити (симетрія), $x = X_1/2$ — край плити. Модель – дзеркальна.

Модель визначена на проміжках:

- Бетонна плита: $0 \leq x \leq X_1/2$, $0 \leq z \leq D_{bet}$, $\lambda = \lambda_{bet}$.
- Утеплювач: $(X_1/2 - L_{ins}) \leq x \leq X_1/2$, $D_{bet} \leq z \leq D_{bet} + D_{ins}$, $\lambda = \lambda_{ins}$.
- Ґрунт: $0 \leq x \leq X_{max}$ ($X_{max} \gg X_1/2$), $z \geq 0$ (з виключенням областей плити та утеплювача), $\lambda = \lambda_{soil}$. В комп'ютерній моделі приймається $X_{max} = 10\text{--}20 \text{ м}$, $Z_{max} = 10\text{--}20 \text{ м}$.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		144

Рівняння для стаціонарної теплопровідності з змінною теплопровідністю в усіх областях описується наступним чином [22]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) = 0$$

де $\lambda(x, z)$ - теплопровідність матеріалу залежно від області (λ_{bet} , λ_{ins} або λ_{soil}).

Граничні умови представимо наступним чином:

- На верхній поверхні ($z = 0$): $0 \leq x \leq X_1/2$: $T = T_{in} = 20$ °C (температура в приміщенні); $x > X_1/2$: $T = T_{out} = -22$ °C (поверхня ґрунту поза будівлею).
- На великій глибині ($z = Z_{max}$): $T = T_{out}$ (стабільна температура ґрунту, приймаємо для моделі 10 °C).
- На великій горизонтальній відстані ($x = X_{max}$): $T = T_{out}$.
- Симетрія при $x = 0$: $\partial T / \partial x = 0$ (адіабатний процес для зменшення геометричних розмірів моделі).

Застосовуємо метод скінченних різниць (finite difference method), а саме його різновид – метод скінченних різниць з ітераційним розв'язком (Successive Over-Relaxation) [23] для рівняння $\nabla \cdot (\lambda \nabla T) = 0$. Дискретизуємо рівняння на сітці (наприклад, $n_x \times n_z = 100 \times 200$ точок), отримавши при цьому систему лінійних рівнянь $AT = b$, де T — вектор температур у вузлах сітки. Розв'язок $T = A^{-1} b$ отримуємо чисельно (код для середовища SciLAB 2025.1.0 наведено в додатку до статті).

Для прикладу приймаємо числові значення: $X_1 = X_2 = 10$ м (площа 100 м²), $D_{bet} = D_{ins} = 0,1$ м, $L_{ins} = 1$ м, $\lambda_{bet} = 1,4$ Вт/(м·К), $\lambda_{ins} = 0,025$ Вт/(м·К), $\lambda_{soil} = 1,0$ Вт/(м·К).

Чисельний розв'язок дає поле температур $T(x, z)$. А загальна тепловтрата Q обчислюється очевидно як інтеграл потоку тепла на верхній поверхні плити:

$$Q = \int_0^{0.5X} \left(-\lambda_{bet} \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} \right) dx \cdot 2 \cdot X_2$$

де множник 2 враховує повну ширину, множник X_2 – довжину плити в перпендикулярному напрямку моделі.

Для довільних значень параметрів модель можна перерахувати чисельно. Для перевірки роботи комп'ютерної моделі можна провести інженерний розрахунок, використовуючи апробовані емпіричні формули [17], [14]. Розрахунки по наведеній інженерній методиці дають схожі результати до комп'ютерної моделі.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						145
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для візуалізації полів температур був написаний програмний код для середовища Scilab.

Візуалізація полів температур (рисунки 4.15, 4.16) вказують на фізичну застосовність запропонованої комп'ютерної моделі.

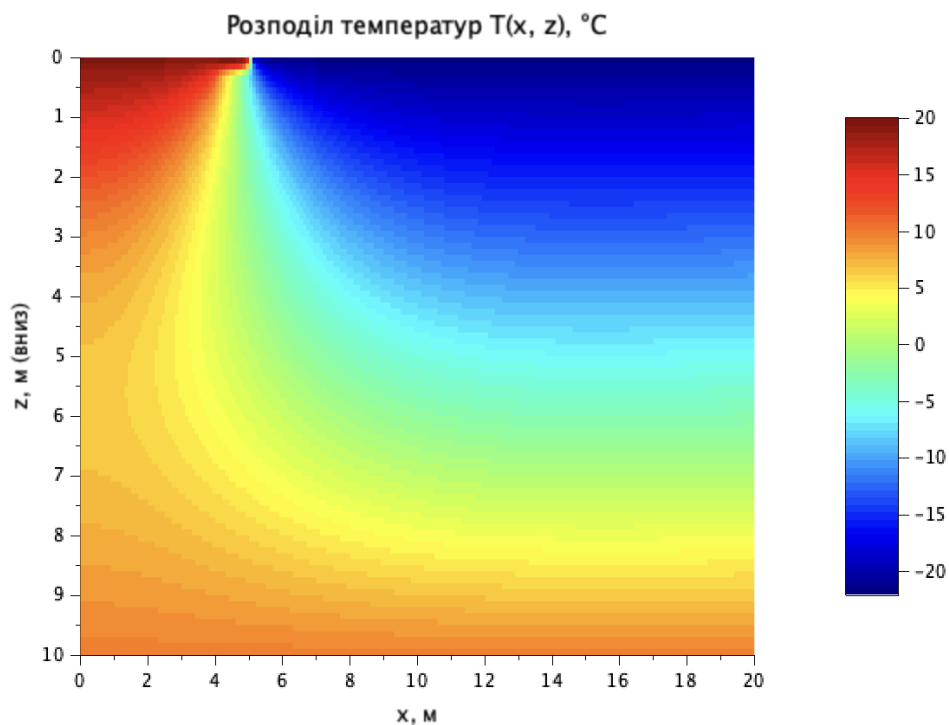
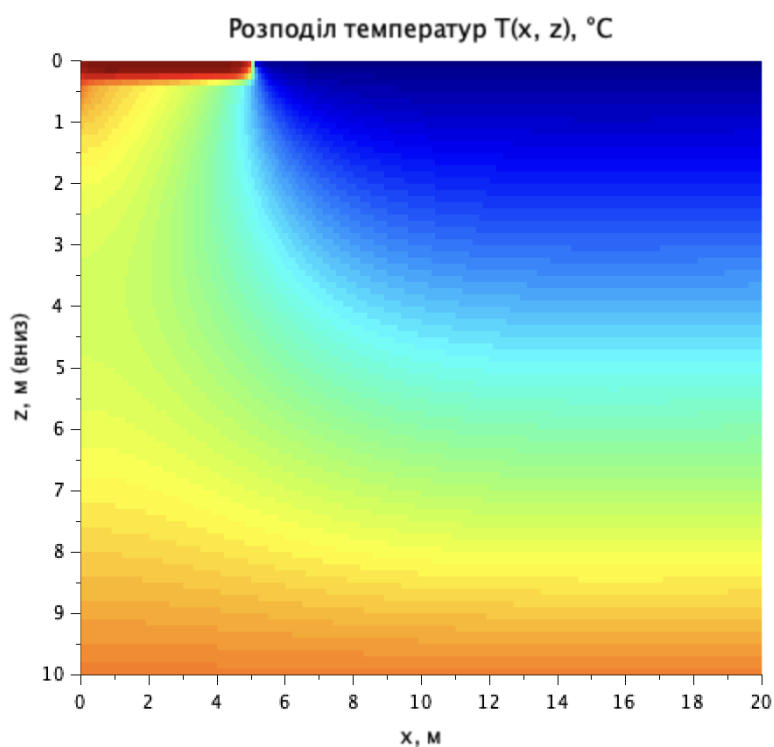


Рис. 4.15 – Розподіл температурних полів при утепленні смуги плити шириною 1 м



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Рис. 4.16. – Розподіл температурних полів при утепленні всієї площини плити підлоги

Таблиця 4.30. Результати розрахунку моделі

Lins, м	Q (за комп'ютерною моделлю), Вт	Q (за [14]), Вт
0 (неутеплена плита)	2633.8	3166.8
1	2321.5	2994.1
2	2136.0	2737.4
3	2007.6	2291.1
4	1895.3	1536.3
5 (повне утеплення)	1739.6	926.2

Проведене чисельне моделювання теплопровідності підлоги по ґрунту підтвердило, що найбільші тепловтрати зосереджуються саме у крайових ділянках (рисунок 4.15, 4.16). Застосування утеплення смугами шириною 2-3 м під плитою в ділянках під зовнішніми стінами дозволяє знизити теплові втрати крізь конструкцію на рівні 20-25 % без необхідності суцільного утеплення всієї площини підлоги.

Розроблена 2D модель теплопередачі з урахуванням неоднорідної теплопровідності дозволяє оцінювати теплові потоки з урахуванням різних типів ґрунтів, товщини утеплювача та геометрії будівлі. Отримані результати є співвідносними із результатами отриманими за інженерними методиками [17], [14], що підтверджує коректність чисельної моделі.

Для будівель з великими та особливо великими площами підлоги на ґрунті, якими є як правило будівлі логістичної інфраструктури, має бути синтезований комбінований підхід із вибором товщини та ширини периметрального утеплення підлоги із врахуванням теплотехнічних характеристик [1], [4] та економічних показників.

Запропонована методика, очевидно, має вищу точність результатів розрахунків, оскільки враховує теплопровідність масиву ґрунту під конструкцією підлоги на відміну від методики та має бути взята за основу для оновлення чинних стандартів для розробки проєктної документації. Такий підхід буде дуже актуальним для існуючих будівель при капітальному ремонті чи реконструкції, де немає можливості утеплювати всю площу підлоги.

РОЗДІЛ 5
ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ЗМЕНШЕННЯ ВПЛИВУ
ТЕПЛОПРОВІДНИХ ВКЛЮЧЕНЬ

Студент / _____ /

Керівник / _____ /

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						148
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Підвищення енергетичної ефективності будівель та споруд є однією з ключових та найбільш актуальних проблем сучасної будівельної галузі. В умовах стрімкого зростання вартості енергоносіїв, посилення нормативних вимог до енергоспоживання (зокрема, з орієнтацією на стандарти будівель з близьким до нульового споживанням енергії, nZEB) та глобальних екологічних викликів, мінімізація тепловтрат стає не просто технічним, а пріоритетним економічним завданням.

У попередніх розділах даної магістерської роботи було детально проаналізовано природу та класифіковано основні типи теплопровідних включень (місцевих містків холоду) в огорожувальних конструкціях. Також було проведено графічне моделювання температурних полів (як ви зазначали раніше) та запропоновано низку конструктивних та технологічних рішень для їх нівелювання або мінімізації негативного впливу. Однак, впровадження будь-якого, навіть найбільш технологічно досконалого, конструктивного рішення неминуче пов'язане з додатковими капітальними витратами. Для інвестора, девелопера чи кінцевого споживача (власника житла) ключовим питанням є не лише технічна можливість реалізації, але й фінансова привабливість таких заходів. Чи виправдають себе початкові інвестиції в дорожчі ізоляційні матеріали, складніші вузли та кваліфіковану робочу силу? Чи буде економія на опаленні та кондиціонуванні протягом життєвого циклу будівлі достатньою, щоб компенсувати ці витрати?

Саме тому актуальність даного розділу полягає у необхідності переходу від суто технічного аналізу тепловтрат до комплексного техніко-економічного обґрунтування. На ринку, де домінує цінова конкуренція, будь-яке здорожчання проекту повинно мати чітке та кількісно вимірюване підґрунтя.

Метою цього розділу є комплексна оцінка та обґрунтування економічної доцільності впровадження заходів зі зменшення впливу теплопровідних

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		149

включень. Досягнення поставленої мети вимагає вирішення наступних завдань:

Ідентифікація та калькуляція капітальних витрат): Визначити вартісну різницю між традиційними (базовими) конструктивними вузлами та вузлами із покращеними теплотехнічними характеристиками.

Квантифікація операційних заощаджень: Розрахувати річну економію енергії (у кВт·год) та, відповідно, фінансову економію (у грошовому еквіваленті) на опаленні, яка досягається завдяки впровадженню вдосконалених рішень. Цей розрахунок буде базуватися на результатах моделювання, отриманих у попередньому розділі.

Вибір та застосування методів економічної оцінки: Використати стандартизовані показники інвестиційної привабливості для оцінки проєктів.

Аналіз чутливості та висновки: Оцінити, як зміна ключових вхідних даних (вартість енергоносіїв, дисконтна ставка) впливає на кінцеві економічні показники, та сформулювати висновки щодо доцільності інвестицій.

Об'єктом дослідження в даному розділі є інвестиційний процес впровадження енергоефективних конструктивних рішень. Предметом — економічні показники (вартість, економія, термін окупності, чиста приведена вартість), що характеризують ефективність цих рішень.

Методологія дослідження базуватиметься на порівняльному аналізі двох сценаріїв: «базового» (будівництво за мінімальними нормативними вимогами, без спеціальних заходів щодо містків холоду) та «енергоефективного».

Для розрахунку економічної ефективності будуть використані наступні ключові показники:

- Простий термін окупності (SPP – Simple Payback Period): Дозволяє оцінити період часу, необхідний для того, щоб кумулятивні заощадження від економії енергії дорівняли початковим інвестиціям.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		150

- Чиста приведена вартість (NPV – Net Present Value): Основний дисконтований показник, що дозволяє оцінити чистий економічний ефект від інвестиції за весь розрахунковий період експлуатації будівлі, враховуючи вартість грошей у часі.
- Внутрішня норма дохідності (IRR – Internal Rate of Return): Показник, що визначає дисконтну ставку, за якої NPV проєкту дорівнюватиме нулю, і який дозволяє порівняти дохідність інвестиції з альтернативними вкладеннями.

5.1. Порівняння вартості класичних та енергозберігаючих рішень

Головна відмінність полягає в тому, що "класичний" будинок (побудований за мінімальними державними будівельними нормами, ДБН) оптимізований для мінімальних початкових капіталовкладень.

"Енергоефективний" будинок (що наближається до стандартів nZEB або Passive House) вимагає на 20-50% більших початкових капіталовкладень, але оптимізований для радикального зниження операційних витрат, тобто комунальних платежів — економія на опаленні може сягати 70-90%.

При класичному підході як орієнтир використано середню ринкову ставку 22 000 грн/м² (середній сегмент згідно публікацій з ринку будівництва в Україні), при енергоефективному варіанті застосовано премію $\approx +30\%$ до базової ціни за м² (це включає товщі шари ізоляції, кращі вікна, вентиляцію з рекуперацією, інверторні системи та можливе додавання теплового насоса і сонячних панелей). Розподіл за статтями витрат подано у відсотках від загальної суми для наочності; абсолютні суми визначені як відсоток від підсумкової вартості кожного сценарію. Ринкові оцінки вартості 1 м², цін на вікна та орієнтовних цін на теплові насоси використано як базу для припущень.

Короткі зауваження щодо окупності та економії: енергоефективний варіант збільшує початкові витрати на приблизно 2,31 млн грн у наведеному прикладі,

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		151

але знижує щорічні витрати на опалення/енергію; конкретний термін окупності залежить від реальних щорічних енергозбережень, ціни на енергоносії та наявності державних/місцевих програм підтримки. Для реалістичного розрахунку окупності потрібно знати поточні річні витрати на опалення у вашому регіоні, тип системи опалення в «класичному» варіанті (газовий котел, електрокотел тощо) і передбачуване скорочення споживання після модернізації; за типовими оцінками, при великій економії енергії (наприклад 50% зниження) окупність інвестицій може становити десятки років, але при врахуванні підвищеної ринкової вартості енергоефективного будинку при перепродажі та знижених витрат на обслуговування — це скоріше довгострокова інвестиція.

Таблиця 5.1. Порівняння будівництва при використанні класичних рішень та енергоефективних.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						152
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Категорія / Компонент	Класичне рішення — одиниця / розрахунок	Класичне — сума (UAH)	Енергоефективне рішення — одиниця / розрахунок	Енергоефективне — сума (UAH)	Примітка / джерело
Базова ціна за м ² (орієнтир)	22 000 UAH / м ² x 350 м ²	7 700 000 UAH	28 600 UAH / м ² (премія ≈ +30%) x 350 м ²	10 010 000 UAH	Ринкові діапазони 15–35 тис. грн/м ² , орієнтири середнього сегменту. (БК "Ванбуд Плюс" будівельні послуги)
Фундамент (з/підготовка)	10,0% від загальної суми	770 000 UAH	9,0% від загальної суми (оптимізація/поширені вимоги)	900 900 UAH	Витрати залежать від типу ґрунту/підстави
Оболонка: стіни + покрівля (включно з базовою ізоляцією)	40,00%	3 080 000 UAH	38,0% (товща та краща ізоляція, мінімізація «містків холоду»)	3 803 800 UAH	Преміум-ізоляція збільшує частку оболонки
Вікна / двері / фасад (включно з монтажем)	12,00%	924 000 UAH	15,0% (триплекс/аргон/теплі пороги, кращий монтаж)	1 501 500 UAH	Орієнтовна площа скління 15% від площі підлоги → 52,5 м ² ; енергоощадні склопакети дорожчі: ~2 800–5 000+ грн/м ² . (korsa.online TM Вікна КОРСА)
Інженерія (опалення, ГВС, вода, електрика, вентиляція)	20,00%	1 540 000 UAH	22,0% (тепловий насос/рекуперація/інвертори)	2 202 200 UAH	Вартість систем опалення значно вища при виборі теплового насоса; установка під ключ для теплових насосів має широкий ціновий діапазон (повітря-вода від ~45 тис. грн і вище; геотермальні дорожчі). (Компанія Aqua Life Київ Україна)
Внутрішні оздоблення / сантехніка / підлоги	15,00%	1 155 000 UAH	10,0% (компактніше/якісніше, інколи замінюється на довговічні матеріали)	1 001 000 UAH	В енергоефективному варіанті інвестують більше в системи, трохи менше в дешеві фінішні матеріали
Сонячні панелі / додаткові відновлювані джерела	—	0 UAH	3,0% (мала СЕС для часткової компенсації споживання)	300 300 UAH	Невелика СЕС (батареї + інвертор) — орієнтир у ціні; залежить від потужності
Резерв / непередбачені витрати / проект / дозволи	3,00%	231 000 UAH	3,00%	300 300 UAH	Резерв залишається обов'язковим в обох сценаріях
ПІДСУМОК (всі статті)	—	7 700 000 UAH	—	10 010 000 UAH	Різниця: 2 310 000 UAH (~+30%) — додаткові інвестиції в енергоефективність

5.2. Розрахунок окупності заходів з енергозбереження

1. Обґрунтування інвестицій та характеристика капітальних витрат (CAPEX)

Сучасні тенденції розвитку будівельної галузі свідчать про зростання ролі енергоефективних технологій як одного з ключових чинників зниження експлуатаційних витрат і підвищення екологічної сталості житлового фонду. Для обґрунтування доцільності впровадження таких технологій проведено порівняльний аналіз двох варіантів будівництва індивідуального житлового котеджу площею 350 м²:

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		153

- **Класичний тип будинку (CAPEX₁)** — спорудження з використанням традиційних конструкційних рішень, які відповідають базовим будівельним нормам України;
- **Енергоефективний тип будинку (CAPEX₂)** — спорудження з урахуванням сучасних конструктивних елементів, матеріалів із низькою теплопровідністю, усуненням теплових містків та впровадженням систем активного енергозбереження (тепловий насос, вентиляція з рекуперацією, сонячні панелі).

Згідно з попередніми розрахунками, загальна вартість будівництва класичного котеджу становить 7 700 000 грн, тоді як енергоефективного — 10 010 000 грн. Таким чином, додаткові інвестиції (інвестиційна дельта, або ΔCAPEX) складають:

$$\Delta\text{CAPEX} = 10010000 - 7700000 = 2310000\text{грн}$$

Ця величина відображає необхідний додатковий капітал, який інвестор повинен спрямувати на реалізацію заходів із підвищення енергоефективності. Метою подальших розрахунків є визначення строку окупності та економічної доцільності таких вкладень.

2. Оцінка операційних витрат (OPEX) та потенціалу енергозбереження

Для визначення економічного ефекту від зниження тепловтрат слід проаналізувати експлуатаційні витрати, пов'язані з енергоспоживанням будинку. Ключовим параметром є питомі тепловтрати (Specific Energy Consumption, SEC), тобто кількість теплової енергії, необхідна для підтримання комфортної температури в будівлі протягом року.

2.1. Питомі тепловтрати за сценаріями

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		154

Таблиця 5.2. Порівняння теплового навантаження при використанні класичних рішень та енергоефективних.

Тип будинку	Енергоефективний клас	Питомі тепловтрати, кВт·год/м ² ·рік	Річне енергоспоживання, кВт·год/рік
Класичний	D–E	150	52 500
Енергоефективний	A–B	40	14 000

Таким чином, різниця у тепловому навантаженні становить понад **62%**, що визначає значний потенціал економії енергії.

3. Монетизація операційних витрат (ОРЕХ)

3.1. Класичний будинок

Сценарій 1А (Електричне опалення):

- Тариф: 4.32 грн/кВт·год;
- Ефективність системи (COP) = 1.0;
- Річна вартість:

$$ОРЕХ_{1A} = 52500 \times 4.32 = 226800 \text{ грн/рік}$$

Сценарій 1В (Газове опалення):

- Тариф: 8.00 грн/м³;
- Теплотворна здатність: 9.5 кВт·год/м³;
- ККД котла: 0.9;
- Споживання газу: 52 500 / 8.55 ≈ 6 140 м³;
- Річна вартість:

$$ОРЕХ_{1B} = 6140 \times 8.00 = 49120 \text{ грн/рік}$$

3.2. Енергоефективний будинок

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		155

Сценарій 2 (Тепловий насос “повітря–вода”):

- SCOP = 3.5;
- Споживання електроенергії: $14\ 000 / 3.5 = 4\ 000$ кВт·год;
- Річна вартість:

$$OPEX_2 = 4000 \times 4.32 = 17280 \text{ грн/рік}$$

4. Аналіз простої окупності (SPP)

4.1. Формула розрахунку

$$SPP = \frac{\Delta CAPEX}{\Delta OPEX}$$

4.2. Результати для сценаріїв

Таблиця 5.3. Порівняння витрат при використанні електричного та газового джерела тепла.

Сценарій	OPEX базовий, грн/рік	OPEX енергоефективний, грн/рік	Річна економія, грн/рік	Проста окупність, років
1А (електрокотел)	226 800	17 280	209 520	≈ 11.0
1В (газовий котел)	49 120	17 280	31 840	≈ 72.6

5. Інтерпретація результатів

1. Для електричного опалення енергоефективні рішення мають чітку фінансову логіку: окупність близько 11 років при терміні експлуатації будівлі понад 40 років є економічно виправданою.
2. Для газового опалення ефект є майже нульовим за чинних тарифів. Однак, якщо ціни на газ зростуть удвічі (до 16 грн/м³), термін окупності

скоротиться до ~36 років, що вже є ближчим до прийняттого рівня для житлових проєктів.

3. В обох випадках слід враховувати зростання тарифів і можливість продажу надлишкової енергії, якщо система має сонячні панелі або накопичувачі енергії.

Отже, інвестиції в енергоефективні технології для приватного житлового будівництва площею 350 м² є економічно доцільними лише за умови використання електричного або комбінованого джерела тепла. Для газових систем рентабельність обмежена поточними регуляторними спотвореннями на ринку енергоносіїв.

Проте навіть у випадку відносно тривалої окупності, довгострокові вигоди — стабільні витрати на енергію, зростання ринкової вартості нерухомості, комфорт проживання та екологічна сталість — роблять енергоефективні рішення стратегічно виправданими. У перспективі очікуваної лібералізації енергетичних ринків та подорожчання енергоносіїв, строк окупності таких інвестицій може скоротитися до 6–8 років, що відповідає сучасним стандартам рентабельності для житлового сектору ЄС.

5.3. Оцінка впливу енергоефективних рішень на загальну ринкову вартість об'єкта.

Оцінка впливу енергоефективних рішень на загальну ринкову вартість об'єкта нерухомості

1. Вступ: взаємозв'язок енергоефективності та ринкової вартості

У сучасних умовах ринку нерухомості України та ЄС показник енергоефективності будівлі поступово стає одним із ключових факторів формування її ринкової вартості. Якщо ще 10–15 років тому вартість житла визначалася переважно локацією, площею та якістю оздоблення, то нині

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		157

енергоефективні характеристики об'єкта (енергетичний сертифікат, клас будівлі, питомі витрати на опалення) розглядаються як економічний актив, що безпосередньо впливає на ціну продажу та ліквідність об'єкта.

2. Основні чинники впливу енергоефективності на ринкову вартість

2.1. Зниження експлуатаційних витрат (ОРЕХ)

Покупці дедалі більше оцінюють не лише ціну придбання (CAPEX), а й сукупну вартість володіння (Total Cost of Ownership, TCO). Для енергоефективного будинку 350 м² із розрахунковими витратами 17 000–20 000 грн/рік на опалення, порівняно з 200 000+ грн/рік для класичного, щорічна економія становить понад 180 000 грн. Ця економія капіталізується на ринку через дисконтування майбутніх грошових потоків — потенційний покупець готовий заплатити більше за будинок, який споживає менше енергії.

2.2. Покращення класу енергетичного сертифікату

Відповідно до ДСТУ ISO 52000-1:2020, будинки класу енергоефективності А або В оцінюються на 10–20% дорожче за будівлі класів С–Е, навіть при однаковій площі. На європейському ринку різниця у вартості між класами А та D сягає до 30%, що поступово проектується і на український ринок через інтеграцію будівельних стандартів ЄС.

2.3. Підвищення ліквідності та швидкості продажу

Енергоефективні об'єкти мають коротший період експозиції — тобто продаються швидше. За даними аналітики Dom.gia та OLX Недвижимість (2023–2024 рр.), середній термін реалізації енергоефективних будинків у сегменті 250–400 м² на 25–30%

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		158

менший, ніж у класичних. Це свідчить про зростання попиту серед свідомих покупців, які орієнтуються на довгострокові витрати, а не лише на стартову ціну.

2.4. Репутаційний та екологічний фактор

Сучасні інвестори та покупці, особливо в сегменті преміум-нерухомості, дедалі частіше звертають увагу на “зелені” сертифікати (LEED, BREEAM, EDGE).

Будинок із підтвердженим енергоефективним статусом має вищу довіру, вважається технологічно сучасним і екологічно безпечним. Це створює репутаційну премію, яка може становити 5–10% вартості від ринкової бази.

3. Кількісна оцінка впливу на ринкову вартість (на прикладі котеджу 350 м²)

Таблиця 5.4. Порівняння оцінки впливу на ринкову вартість при використанні класичних рішень та енергоефективних.

Показник	Класичний будинок	Енергоефективний будинок	Різниця / Ефект
Капітальні витрати (CAPEX)	7 700 000 грн	10 010 000 грн	+2 310 000 грн
Річні експлуатаційні витрати (OPEX)	200 000 грн	17 000 грн	-183 000 грн/рік
Очікувана ринкова ціна продажу (2025)	9 000 000 грн	11 000 000 – 11 500 000 грн	+20–25%
Додаткова капіталізація завдяки енергоефективності	—	≈ +2 000 000 – 2 500 000 грн	~еквівалент додаткових інвестицій
Строк окупності за рахунок підвищення вартості активу	—	0–2 роки	миттєва капіталізація інвестицій

Додаткові інвестиції в енергоефективність (~2,3 млн грн) повністю компенсуються зростанням ринкової вартості будинку. Фактично, енергоефективні заходи не є витратами, а інвестицією, що миттєво капіталізується в актив.

4. Довгостроковий економічний ефект

Якщо врахувати прогнозоване зростання цін на енергоносії (6–8% щороку) та поступову зміну споживацьких уподобань, енергоефективні будинки отримують ще більшу перевагу. За 10 років експлуатації сумарна економія на енергії може перевищити 2 млн грн, тоді як класичний будинок втрачатиме ліквідність через моральне старіння конструкцій і невідповідність новим нормам енергоефективності.

5. Узагальнений висновок

Енергоефективні рішення безпосередньо збільшують ринкову вартість об'єкта через:

- Зменшення експлуатаційних витрат, що підвищує фінансову привабливість для покупця.
- Покращення енергетичного класу будівлі, що підвищує оцінку активу на ринку.
- Підвищення швидкості продажу та ліквідності, що зменшує ризик простою капіталу.
- Репутаційний ефект “зеленої нерухомості”, що створює премію на ринку.
- Миттєву капіталізацію інвестицій, коли підвищення ціни продажу компенсує вкладення ще до початку експлуатації.

Отже, енергоефективність є прямим фактором збільшення ринкової вартості, особливо у висококонкурентному сегменті заміської нерухомості. Інвестування у зменшення теплопровідних включень, сучасні віконні системи, утеплення та теплові насоси є не лише технічно виправданим, але й економічно стратегічно доцільним кроком, що підвищує ліквідність та прибутковість об'єкта вже на етапі продажу.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		160

Комплексний аналіз, дозволяє зробити узагальнений висновок щодо економічної, технологічної та ринкової доцільності впровадження енергоефективних рішень у сучасному житловому будівництві на прикладі котеджу площею 350 м². Дослідження довело, що перехід від класичних конструктивних схем до енергозберігаючих технологій, спрямованих на усунення теплопровідних включень, забезпечує суттєве зниження експлуатаційних витрат, підвищує рівень комфорту проживання та водночас формує додану ринкову вартість нерухомості.

Порівняння вартості класичних та енергозберігаючих рішень засвідчило, що будівництво енергоефективного котеджу потребує збільшення капітальних інвестицій на суму близько 2,31 млн грн, що становить орієнтовно 30% від загальної вартості спорудження об'єкта. Ці додаткові вкладення спрямовуються на підвищення якості огорожувальних конструкцій, ліквідацію теплових містків, встановлення тришарових склопакетів, ефективних систем вентиляції з рекуперацією тепла та монтаж теплового насоса. Таким чином, вартість будівництва зростає, але це збільшення має інвестиційний характер, оскільки дозволяє суттєво знизити майбутні витрати на енергоносії та підвищити довгострокову цінність активу.

Розрахунок окупності заходів з енергозбереження показав, що економічний ефект від впровадження енергоефективних технологій є значним, але залежить від джерела теплопостачання. У випадку, коли базовим варіантом є електричне опалення, строк простої окупності становить приблизно 11 років, що відповідає світовим стандартам інвестиційної привабливості. Якщо ж порівняння здійснюється із газовим опаленням за чинними субсидованими тарифами, окупність сягає понад 70 років і стає економічно невиправданою. Це підтверджує, що державна тарифна політика є ключовим чинником формування мотивації до впровадження енергозберігаючих заходів. Водночас очікуване зростання тарифів на газ та енергоресурси у середньостроковій

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		161

перспективі суттєво скоротить строк окупності до рівня 6–8 років, що зробить такі інвестиції ще більш привабливими.

Оцінка впливу енергоефективних рішень на ринкову вартість об'єкта показала, що додаткові капітальні вкладення не лише компенсуються, але й капіталізуються у зростанні ринкової ціни. Будинок із високими показниками енергоефективності класу А або В оцінюється на 20–25% дорожче за класичний аналог при однакових площі та розташуванні. Для котеджу 350 м² це означає збільшення вартості на 2,0–2,5 млн грн, тобто практично повну компенсацію інвестицій у момент введення об'єкта в експлуатацію. Таким чином, енергоефективність перетворюється на чинник миттєвої капіталізації, який підвищує ліквідність будівлі, скорочує термін її реалізації на ринку та забезпечує довготривале збереження вартості активу.

Узагальнюючи результати проведеного аналізу, можна стверджувати, що енергоефективне будівництво є не лише технічно виправданим, але й економічно стратегічно доцільним напрямом розвитку житлової нерухомості в Україні. Впровадження технологій, спрямованих на усунення теплопровідних включень, дозволяє досягти збалансованого поєднання трьох складових: раціональних інвестиційних витрат, зниження експлуатаційних платежів та зростання ринкової вартості будівлі. Таким чином, економічна доцільність енергоефективних рішень полягає у формуванні довгострокової вартості, підвищенні енергетичної незалежності та забезпеченні сталого розвитку будівельного сектору, що відповідає сучасним європейським тенденціям і національним цілям енергозбереження.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						162
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел інформації

1. Dalla Santa, G., Galgaro, A., Sassi, R., Cultrera, M., Scotton, P., Mueller, J., & Bernardi, A. (2020). An updated ground thermal properties database for GSHP applications. *Geothermics*, 85, Article 101758. <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2019.101758>
2. Farid Mohajer, M., & Aksamija, A. (2020). Effect of thermal bridging on buildings' energy performance: Comparison of area-weighted vs. additive thermal resistance in facades. *Facade Tectonics Institute*.
3. Farouki, O. T. (1981). The thermal properties of soils in cold regions. *Cold Regions Science and Technology*, 5(1), 67–75. [https://doi.org/10.1016/0165-232X\(81\)90041-0](https://doi.org/10.1016/0165-232X(81)90041-0)
4. Farouki, O. T. (1981). *Thermal properties of soils* (CRREL Monograph No. 81-1). Cold Regions Research and Engineering Laboratory. <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA111734.pdf>
5. Rossi, F., Lauria, M., & Cotana, F. (2021). In-situ measurement of thermal bridge linear heat transmittance coefficient in buildings. *Energy and Buildings*, 250, Article 111312.
6. Xu, M., Yu, Z., Wang, H., & Liu, Y. (2024). Impact of thermal bridges on energy performance of Chinese multi-storey residential buildings. *Energy Reports*, 10, 346–359.
7. Youssef, I. K., Ali, S. M., & Hamada, M. Y. (2016). On the line successive overrelaxation method. *Applied and Computational Mathematics*, 5(3), 103–106. <https://doi.org/10.11648/j.acm.20160503.12>
8. Боднар, Ю. І., & Босецький, М. В. (2024). Вплив теплопровідних включень на енергоефективність зовнішніх стін житлового будинку з монолітним каркасом. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*, 36(1), 139–144.
9. Будівельна теплофізика: методичні вказівки до практичних занять. (2023). Уклад. Ю. М. Кольчик. Київ: КНУБА.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						163
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

10. Гільчук, А., Халатов, А., & Доник, Т. (2022). *Теорія теплопровідності*. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/83aca59-9dcd-4ad7-af4c-83aa3671a374/content>
11. ДБН В.2.6-31:2021. (2022). *Теплова ізоляція та енергоефективність будівель*. Київ: Мінрегіон України.
12. Дорошенко, А., & Погосов, О. (2024). Аналіз впливу точкових теплопровідних включень на значення приведенного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. *Матеріали конференцій МЦНД* (19.01.2024, Кривий Ріг, Україна), 300–304.
13. ДСТУ 9190:2022. *Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання*.
14. ДСТУ 9191:2022. (2023). *Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель*. Київ: ДП «УкрНДНЦ».
15. ДСТУ EN ISO 13370:2022. *Теплові характеристики будівель. Теплопровідність через землю. Методи розрахунку*.
16. ДСТУ EN ISO 13370:2022. *Теплові характеристики будівель. Теплопровідність через землю. Методи розрахунку*.
17. ДСТУ EN ISO 6946:2022. *Будівельні компоненти. Термічний опір і теплопроникність. Методи розрахунку*.
18. ДСТУ ISO 9869:2007. *Теплоізоляція. Будівельні елементи. Натурні вимірювання теплового опору та коефіцієнта теплопередавання*.
19. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. *Будівельна кліматологія*.
20. Колесник, Є. С. (2013). Визначення лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі найпоширеніших теплопровідних включень в огорожувальних конструкціях. *Будівельні конструкції*, (77), 50–54.
21. ДСТУ-Н Б В.2.6-101:2010. *Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій*.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		164

22. Кузнєцова, О. О. (2013). Моделювання впливу термічних неоднорідностей на приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій будинків. *Вісник Київського національного університету технологій та дизайну*, (6), 126–135.
23. Кулінко, Є. О., Кузицький, І. Т., & Погосов, О. Г. (2017). Теплові насоси як джерела низькотемпературного теплопостачання. *Energy-Efficiency in Civil Engineering and Architecture*, (9), 132–136.
24. Наказ Міністерства розвитку громад та територій України № 260 від 27 жовтня 2020 року. (2020). *Про затвердження мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель*.
25. Олексієнко, О. (2023). 3D-моделювання точкових теплопровідних включень у комплектах фасадної теплоізоляції (ETICS) з урахуванням європейського досвіду. *Наука та будівництво*, 36(2).
26. Погосов, О., Пасічник, П., & Кулінко, Є. (2023). Вплив деяких проєктних рішень на клас енергетичної ефективності будівлі. *Collection of Scientific Papers «Scientia»* (22 December 2023, Coventry, UK), 214–217.
27. ДБН В.2.6-36:2008. *Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови*.

					КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА	Арк.
						165
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		