

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

магістр
(рівень вищої освіти)

на тему Дослідження теплозахисних властивостей огорожувальних
конструкцій у процесі експлуатації

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1923-мбг-дн
спеціальності 192 Будівництво та цивільна
інженерія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Міське будівництво та
господарство

(назва освітньої програми)

Мелайм Алє-Едлін

(ініціали та прізвище)

Керівник доц. к.т.н. Ільїн С.В.

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

Рецензент доц. к.т.н. Савін В.О.

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

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

Кафедра міського будівництва і архітектури

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія

(код та назва)

Освітня програма Міське будівництво та господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

« 01 » 10 20 24 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Мелайму Алає-Еддіну

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проекту) Дослідження теплозахисних властивостей
огороджувальних конструкцій у процесі експлуатації

керівник роботи доц., к.т.н, Ільїн С.В.

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

затверджені наказом ЗНУ від « 30 » 09 2024 року № 1486-с

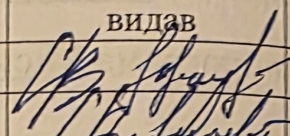
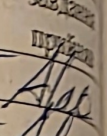
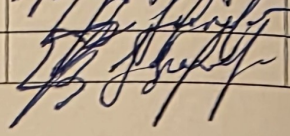
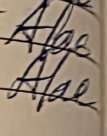
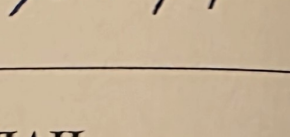
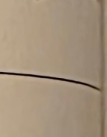
1 Строк подання студентом роботи 01.02.2025

2 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень, значимість у сучасному житті, можливість розвинення проблематики, перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень, передбачувані методи виконання досліджень

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Літературний огляд. Аналіз методики проектування теплозахисту огороджувальних конструкцій на основі адекватного моделювання експлуатаційних процесів в огорожах. Аналіз обґрунтування розрахункових параметрів кліматичних факторів, обґрунтування взаємного розташування шарів.

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

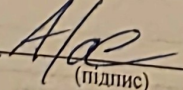
5 Консультанти розділів роботи

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

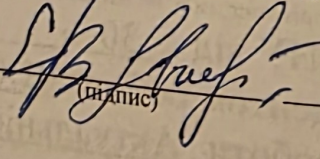
6 Дата видачі завдання 01.09.2024

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прийняв
1	Літературний огляд	01.10	
2	Розділ 1	01.11	
3	Розділ 2	15.11	
4	Розділ 3	01.12	
5	Розробка графічної частини	15.12	
6	Оформлення роботи	15.01	
7	Попередній захист	01.02	

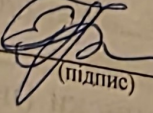
Студент  (підпис)

Мелайм Алае-Еддін
(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  (підпис)

Ільїн С.В.
(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  (підпис)

Гребенюк О.В.
(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Мелайм Алае-Еддін. Дослідження теплозахисних властивостей огорожувальних конструкцій у процесі експлуатації.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник С.В. Ільїн. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра міського будівництва і архітектури, 2025.

З переходом на підвищений рівень теплозахисту будівель та появою великої кількості багатошарових конструкцій огорож та фасадних систем виникли великі проблеми як на стадії проектування теплозахисту огорож, так і на стадії їх експлуатації (стабільність властивостей огорож у часі та їх довговічність).

Сформована методика проектування теплозахисту огорожувальних конструкцій на основі адекватного моделювання експлуатаційних процесів в огорожах.

Ключові слова: МОДЕРНІЗАЦІЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ШАРИ,СТІНИ СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ УТЕПЛЕННЯ, ТЕПЛОВІ ВТРАТИ.

ABSTRACT

Melayem Alae-Eddine. Study of Heat-Shielding Properties of Enclosing Structures During Operation.

Qualifying graduation thesis for obtaining a master's degree of higher education in specialty 192 - Construction and civil engineering, scientific director S.V. Ilyin Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebni ZNU, Department of Urban Construction and Architecture, 2025.

With the transition to an increased level of thermal protection of buildings and the emergence of a large number of multilayer fence structures and facade systems, major problems have arisen both at the design stage of thermal protection

of fences and at the stage of their operation (stability of fence properties over time and their durability).

A methodology for designing thermal protection of fence structures has been developed based on adequate modeling of operational processes in fences.

Keywords: MODERNIZATION, ENERGY EFFICIENCY, LAYERS, WALLS, MODERN INSULATION MATERIALS, HEAT LOSS.

ЗМІСТ

	ВСТУП.....	7
Розділ 1	ОГРОЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ ЯК ОБ'ЄКТ ПРОЕКТУВАННЯ ТЕПЛОЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ.....	9
1.1	Конструктивні ознаки та види зовнішніх стін.....	10
1.2	Матеріали для стін.....	11
1.3	Товщина стін у будівництві.....	14
1.4	Зовнішні стіни при будівництві газоблоком.....	16
1.5	Функціональні шари зовнішніх стін.....	19
1.6	Висновки до розділа 1	22
Розділ 2	ОСНОВНІ ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ В ОГОРОЖЕННЯХ БУДИНКІВ.....	23
2.1	Теплопередача через огорожувальні конструкції.....	24
2.1.1	Особливості теплопередачі в холодну пору року.....	24
2.1.2	Особливість теплопередачі у теплий період року.....	35
2.1.3	Вплив взаємного розташування шарів на теплозахисні властивості огорож.....	39
2.1.4	Вплив величини опору теплопередачі огорож на їх експлуатаційні властивості та довговічність.....	42
2.2	Паропроникність огорожувальних конструкцій.....	49
2.2.1	Загальні закономірності дифузії водяної пари через огорожу.....	50
2.2.2	Зволоження одношарових огорож.....	54
2.2.3	Зволоження багатошарових огорож.....	57
2.3	Висновки до розділу 2.....	60
Розділ 3	КЛІМАТИЧНІ ФАКТОРИ ТА ЇХ РОЗРАХУНКОВІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕПЛОЗАХИСТИ БУДІВЕЛЬ.....	61
3.1	Загальні відомості про кліматичні фактори.....	62
3.2	Основні кліматичні фактори для умов м.Львів.....	64
3.3	Висновки до розділа 3.....	74
	ОСНОВНІ ВИСНОВКИ.....	75
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	76

ВСТУП

Актуальність дослідження. Раціональний тепловий захист будівель є потужним соціальним та економічним фактором. Соціальним - тому що забезпечує комфортні умови у приміщеннях будівель, що відповідають санітарно-гігієнічним нормативам, а економічним - тому що регулює баланс між разовими витратами при будівництві будівлі (квартири, будинки тощо) та експлуатаційними витратами на опалення, утримання та ремонт у протязі усього життєвого циклу будівлі.

Проблема стала дуже актуальною у сучасних економічних умовах, коли вартість теплоносіїв різко зросла та продовжує зростати.

Будівельна наука і практика відреагували на обставини, що змінилися, шляхом перевидання нормативних документів, за якими опір теплопередачі огорожувальних конструкцій зростає в кілька разів.

Введення нових теплотехнічних вимог та норм послужило поштовхом до розвитку виробництва та широкого використання теплоізоляційних матеріалів. Почали розроблятися і впроваджуватись різні конструктивні рішення багат шарових зовнішніх стін підвищеного рівня теплозахисту.

Впровадженню нових огорожувальних конструкцій не передували стадії наукових досліджень та експериментального будівництва. В результаті всі збудовані будівлі зі стінами з підвищеним рівнем теплозахисту фактично є експериментальними. Наукові дослідження таких конструкцій здійснюються слабо, вважається, що в масовому будівництві досягнуто рівня теплозахисту, що нормується у ДБН. При цьому майже не відбувається вивчення досвіду експлуатації будівель з новими видами конструкцій, що захищають, не розглядається так само і економічна складова підвищення теплозахисту будівель.

Мета і завдання дослідження. Мета полягає у дослідженні сучасних огорожувальних конструкцій, та визначення факторів що впливають на теплозахисні властивості огорожувальних конструкцій у процесі

експлуатації.

Завдання дослідження:

- аналіз якості нових огорожувальних конструкцій багатоповерхових будівель;
- методичні аспекти проектування огорожувальних конструкцій сучасних будівель, що розглядаються, для досягнення ними необхідних експлуатаційних властивостей.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є теплозахисні властивості огорожувальних конструкцій.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є підходи та методи підвищення енергоефективності будівель шляхом утеплення їхніх огорожувальних конструкцій.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використовувалися узагальнення, аналіз теоретичних та практичних досліджень на тему роботи та комплексні дослідження експлуатаційних властивостей огорожувальних конструкцій.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна полягає в аналізі методики проектування теплозахисту конструкцій, що захищають, на основі адекватного моделювання експлуатаційних процесів в огороженнях.

Практичне значення одержаних результатів. Практична значущість полягає в тому, що надано рекомендації для забезпечення відповідності основним нормативним показникам, зокрема тепловому опору огорожувальних конструкцій.

Особистий вклад дослідника. Постановка мети і завдання дослідження. Збір і аналіз даних для проведення дослідження.

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, основних висновків, списку використаних джерел, містить 80 сторінок, 35 рисунок, 6 таблиць, 40 список використаних джерел.

РОЗДІЛ 1

ОГРОЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ ЯК ОБ'ЄКТ ПРОЕКТУВАННЯ

ТЕПЛОЗАХИСТУ БУДІВЕЛЬ

Огороджувальні конструкції є найважливішою частиною будівлі, від якої залежить створення необхідного санітарно-гігієнічного режиму та комфортних умов у приміщеннях.

У цих розділах ДБН наведено перелік огороджувальних конструкцій та сформульовано вимоги до них з погляду економіки, індустріалізації будівництва, технології їх виготовлення та монтажу. У ДБНах сформульовані експлуатаційні вимоги до огороджувальних конструкцій та записано, що огороджувальні конструкції будівель повинні мати необхідну міцність, жорсткість, довговічність та вогнестійкість, задовольняти загальні архітектурно-художні вимоги. Огороджувальні конструкції повинні відповідати санітарно-гігієнічним, теплотехнічним, світлотехнічним, звукоізоляційним та іншим експлуатаційним вимогам.

Експлуатаційні характеристики конструкцій, що захищають, повинні відповідати як кліматичним характеристикам місця будівництва, так і параметрам мікроклімату приміщень.

Особливо виділений пункт, що стосується ненакопичення вологи в огороджувальних конструкціях: «Взаємне розташування окремих шарів конструкцій, що огорожують, повинно сприяти висиханню конструкцій і виключати можливість накопичення вологи в огорожі в процесі експлуатації. сформульовані вимоги до огороджувальних конструкцій з теплозахисту, повітропроникнення. Таким чином, ця глава давала цілісне уявлення про роль і місце конструкцій, що захищають у будівлях.

Створення спеціалізованих глав ДБН, безумовно, сприяло глибшому опрацюванню питань при проектуванні окремих аспектів конструкцій, що захищають, але, разом з цим, втрачено цілісне уявлення про огороджувальні конструкції, де всі експлуатаційні характеристики повинні бути

взаємопов'язані.

Кожен вид конструкцій, що захищають, вимагає детального розгляду, що неможливо виконати в одній роботі через обмеження обсягу. У зв'язку з цим, основну увагу в навчальному посібнику буде приділено зовнішнім стінам будівель, які становлять близько чверті витрат від вартості будівлі.

1.1. Конструктивні ознаки та види зовнішніх стін

Залежно від конструктивної схеми будівлі зовнішні стіни поділяються на три типи:

1 . Несучі стіни - сприймають навантаження від усієї будівлі, мають потужний фундамент заданої несучої здатності.

2. Самонесучі стіни - є самостійним елементом будівлі, конструктивно з'єднані з конструкціями будівлі, що несуть, сприймають навантаження тільки від власної ваги, під це навантаження проектується фундамент.

3. Навісні стіни - це елементи фасаду будівлі, що закріплюються до конструкцій, що несуть в межах одного або декількох поверхів, можуть виконуватися з дрібноштучних виробів або в панельних варіантах.

У несучих стінах міцність і теплозахист забезпечуються, як правило, одним і тим самим матеріалом. Причому товщина такої стінки часто визначається не вимогою міцності, а забезпеченням теплозахисту. Товщина класичних несучих стін з керамічної або силікатної цегли в 64см (до переходу на підвищений теплозахист) визначалася необхідним теплозахистом. Такі стіни мали великий запас міцності.

У навісних стінах міцність забезпечується в межах одного поверху і вона менш виражена, ніж у стінах, що несуть, тобто можуть використовуватися менш міцні матеріали. Основна увага в цьому типі стін приділяється забезпеченню теплозахисту та декоративному оздобленню фасадів. У підвісних стінах з'являється можливість значно скоротити товщину огорожі за рахунок використання високоефективних теплоізоляційних матеріалів.

Самонесучі стіни займають з цієї точки зору проміжне положення.

1.2 Матеріали для стін

У будівництві вибір матеріалів для стін визначає не тільки їхню міцність, але й теплоізоляцію, звукоізоляцію та естетичний вигляд.

Розглянемо деякі з популярних матеріалів для стін:

1. Керамічна цегла. Керамічна цегла – надійний та довговічний будівельний матеріал. Він характеризується високою міцністю та вогнестійкістю. Керамічна цегла також відмінно утримує тепло, що робить її ефективним для створення теплоізованих стін.



Рисунок 1.1 - Цегла М-150 червона рядова 250х120х65 мм

2. Силікатна цегла. Силікатна цегла виготовляється з піску і вапна за допомогою високотемпературної обробки. Він відрізняється легкістю та високою стійкістю до впливу навколишнього середовища. Силікатна цегла добре теплоізолює та допомагає утримувати вологу.



Рисунок 1.2 - Силікатна цегла одинарна М200

3. Піно- та газоблок. Піно- та газоблоки є легкими матеріалами, виготовленими з пористого бетону або газобетону. Вони добре теплоізолюють і мають невелику вагу. Ці блоки легко обробляються та можуть бути використані для швидкого будівництва.



Рисунок 1.3 - Газоблок Стоунлайт 300 D500 G S1

4. Керамічні блоки.Керамічні блоки, виготовлені з глини і випалені в печі, мають високу міцність і довговічність. Вони також добре утримують тепло та вологу. Керамічні блоки можуть використовуватися для несучих та несучих стін, забезпечуючи стійкість та гарний зовнішній вигляд.

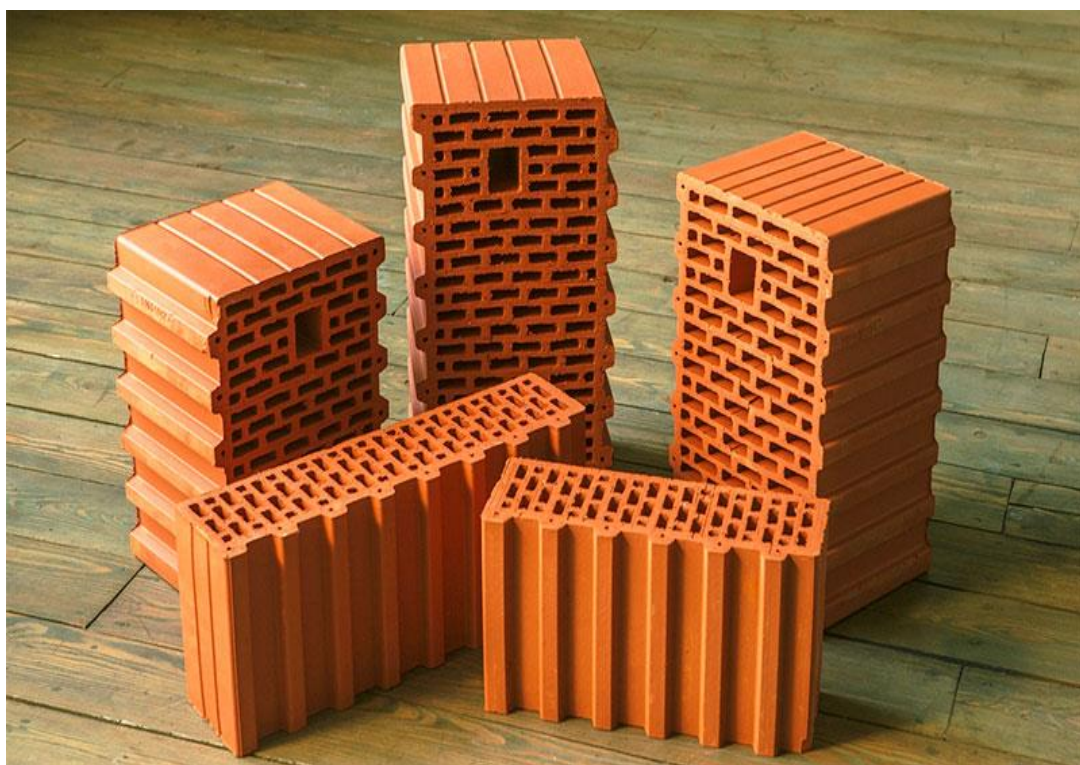


Рисунок 1.4 - Керамічний блок Кератерм 100мм

1.3 Товщина стін у будівництві

Товщина несучих стін у будівництві.

Зовнішні несучі стіни мають критичне значення для стійкості та ефективності будови. Зазвичай вони мають товщину від 38 см, що відповідає 1,5 цегли (24 см ширина цегли + 12 см половина ширини + 2 см шов між ними). При належному утепленні можна зменшити товщину до 25 см (одна цегла + 1 см шов), але не менше цієї величини.

Цей параметр важливий для забезпечення не тільки здатності стін, що тримає, але і теплоізоляції будівлі. Досягти оптимальної товщини важливо для оптимізації будівельної конструкції та створення ефективного бар'єру проти тепловтрат.

Враховуючи зазначені параметри, можна відзначити, що для зовнішніх опорних стін використовується товщина не менше 38 см, але з утепленням за відповідних умов можливе зменшення до 25 см, одночасно зберігаючи високу стабільність і теплоізоляцію.

Товщина стін із газоблоків у будівництві.

Газоблок, як будівельний матеріал, відрізняється унікальною комбінацією характеристик та оптимальною товщиною, що гарантує не лише стійкість, а й ефективну теплоізоляцію.

Стіна з конструкційного газобетону товщиною 40 см забезпечує характеристики, які можна порівняти з іншими більш громіздкими конструкціями:

- 50-сантиметровою перегородкою із дерева;
- метровою стіною з керамзитобетону;
- двометровою стіною із цегли.

Умови використання газоблоків в Україні мають на увазі мінімальну товщину стін від 300 до 400 мм. Для підвальних та цокольних приміщень рекомендується використовувати марку D500.

Для міжкімнатних перегородок, що будуються, для постійного

проживання мінімальна товщина відповідає нормативам і становить 100-150 мм.

У будівництві об'єктів для тимчасового проживання, технічних або промислових цілей можна використовувати газоблок марок D300-500 товщиною від 200 мм. Це дозволяє оптимізувати конструкцію стін відповідно до функціонального призначення будівлі.

Товщина стін із цегли у будівництві.

Товщину цегляних стін у будівництві визначають з урахуванням різних факторів, таких як теплоізоляція, міцність та функціональне призначення приміщення.

Для внутрішнього або фасадного утеплення товщина опорної стіни може бути в межах 25 см, 38-39 см або, у разі кладки півтора цегли, досягати 48 або 51 сантиметра. Незначні розбіжності розмірах (1-2 див) пов'язані з наявністю сантиметрового шару сполучного матеріалу між елементами цегляної кладки.

Несучі стіни всередині будівлі, згідно з нормативами, не повинні бути тоншими за 25 см. Ця товщина визначається необхідністю забезпечення відповідної міцності та стійкості будівельної конструкції всередині приміщення.



Рисунок 1.5 – Стіна з газоблоків

1.4 Зовнішні стіни при будівництві газоблоком

Зовнішні стіни можуть виконуватися одношаровими, двошаровими з внутрішнім шаром з блоків AEROC та багатошаровими, у тому числі з утеплювачем у товщі стіни(рис 1.6).

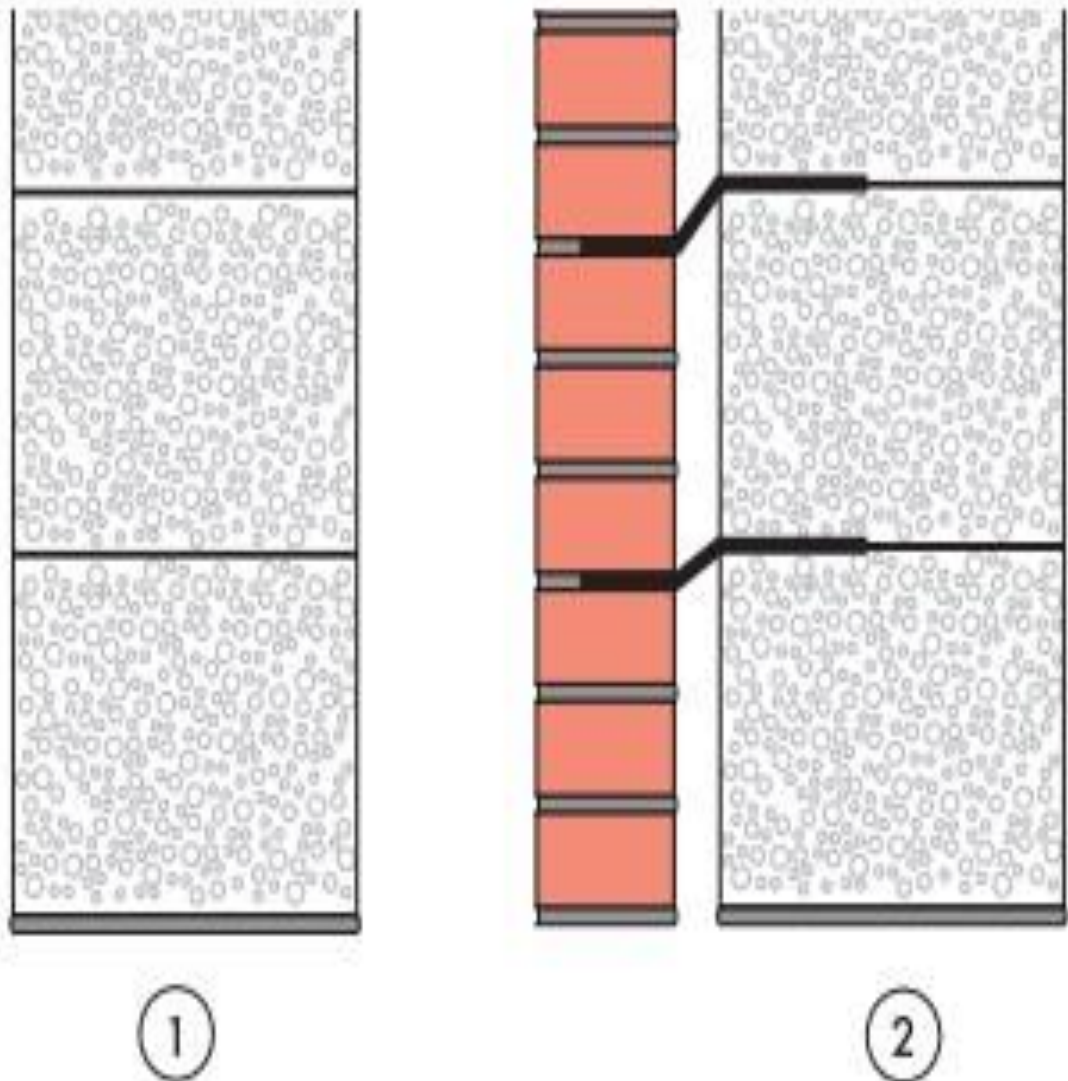


Рисунок 1.6 – Схеми стін з блоків AEROC

1- одношарова; 2 – двошарова

Конструкції стін повинні задовольняти вимоги чинних нормативних документів Між стінами підвалу або поглибленого цоколя та стінами надземної частини слід передбачати шар гідроізоляції.

Кладку з блоків AEROC слід виконувати з ланцюговою перев'язкою вертикальних швів. Глибина перев'язки повинна становити щонайменше 100 мм.

При кладці в два блоки за товщиною слід перев'язувати вертикальні шви зовнішньої та внутрішньої стін не менше ніж на 100 мм (рис. 1.7).

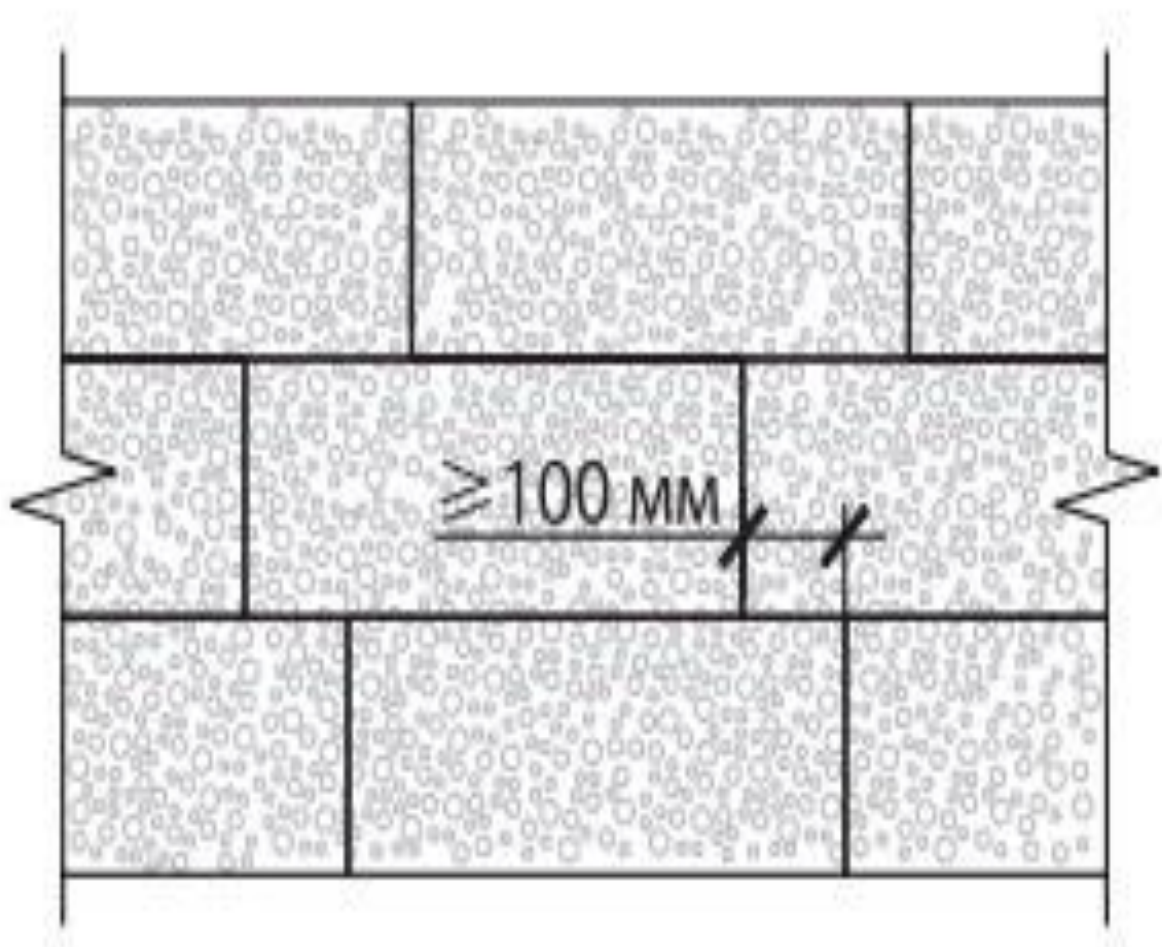


Рисунок 1.7 – Перев'язка кладки

З'єднання шарів у багатошарових стінах зазвичай виконується гнучкими зв'язками. При зведенні стін необхідно здійснювати контроль за їх монтажем.

При влаштуванні багатошарових стін з облицюванням кладкою у нижній частині облицювання кожен третій вертикальний шов стіни з облицювального матеріалу слід заповнювати розчином, створюючи таким

чином можливість відведення з конденсованої вологи.

На глухих прямолінійних ділянках стін довжиною 6 м і більше слід передбачити конструктивне горизонтальне армування, яке розміщується у спеціальних армованих поясах або клейових швах. Площа поперечного перерізу конструктивної арматури має становити не менше 50 мм^2 на 1 п.м висоти стіни (при використанні арматури для тонких швів перетин може бути зменшено до 25 мм^2 (рис. 1.8).

Конструктивне горизонтальне армування слід проводити по нижній межі віконних отворів. Арматура має бути заведена за межі отворів на довжину не менше ніж 900 мм.

При влаштуванні деформаційних швів будівель необхідно передбачити заходи щодо запобігання зволоженню матеріалів та продування стін.

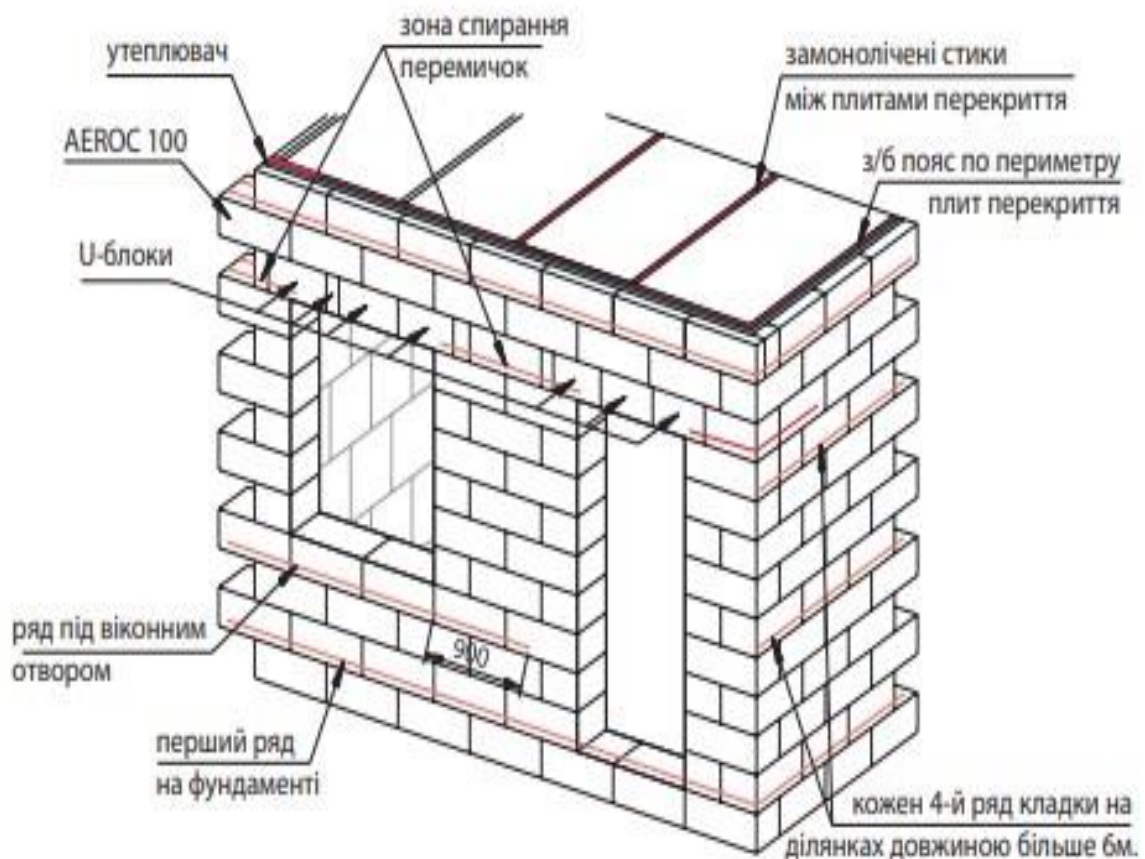


Рисунок 1.8 – Схема армування навантажених стін

1.5 Функціональні шари зовнішніх стін

У зовнішніх стінах основними є чотири функціональні шари:

Конструкційний шар. Основне призначення шару – забезпечити міцність стіни. Виконується із щільних, міцних матеріалів, що мають, як правило, високу теплопровідність та низьку паропроникність. Конструкційний шар виконується з таких матеріалів, як цегла, різні види бетонів, залізобетон, природні та штучні камені, метал.

Теплоізоляційний шар. Основне призначення шару – забезпечити теплозахисні характеристики стіни. Виконується з високопористих матеріалів, що мають низьку міцність, низьку теплопровідність та високу паропроникність. Теплоізоляційні шари виконуються з мінераловолокнистих матів або плит, пінопластів, пористих бетонів та інших аналогічних матеріалів.

Паро-, вітро-, вологоізоляційні шари. Це листові або обмазувальні матеріали з вибілковими характеристиками за проникністю до водяної пари, вітру та вологи.

Облицювальні шари. Основне призначення шару – декоративне завершення фасаду. Виконується з лицьової цегли, плит з природного каменю, керамічних матеріалів, азбестоцементних виробів, листів скла, металу, полімерів, з декоративних штукатурок.

В зависимости от конструкции ограждения, различные слои или материалы могут выполнять несколько функций. Например, кирпич является конструктивно-теплоизоляционным материалом.

На Українському будівельному ринку використовується величезна кількість різних конструкцій зовнішніх стін та фасадних систем. Аналіз цих конструкцій та досвіду їх застосування дозволив систематизувати зовнішні стіни та виділити їх основні види, подібні між собою у теплотехнічному відношенні. Виділені види подібні між собою теплофізичними процесами, які проходять в огородженнях в умовах експлуатації:

- одношарові (суцільні) стіни;

- двошарові стіни із зовнішнім утепленням;
- тришарові стіни із внутрішнім теплоізоляційним шаром;
- стіни з невентильованим повітряним прошарком;
- стіни з вентильованим повітряним прошарком.

Кожен із видів зовнішніх стін має свої особливості, переваги та недоліки, має області найбільш ефективного використання. Завдання проектувальника полягає в тому, щоб виходячи з вимог до проекту, вибрати найбільш оптимальну конструкцію зовнішніх стін.

Одношарові, або суцільні, стіни виконуються з конструкційно-теплоізоляційних матеріалів, таких як цегла, керамічні пустотілі блоки, легкобетонні блоки та інші подібні матеріали (рис.1.9, а та б). Вони можуть мати штукатурні шари з однієї або двох сторін (рис.1.9 а) або зовнішній шар з лицьової цегли, які складають суцільний перетин зі стіною (рис.1.9,б).

Двошарові стіни (рис.1.9, в) складаються з конструкційного шару, що виконується з цегли, бетонних блоків, монолітного бетону або залізобетону, а також інших аналогічних матеріалів.

Теплоізоляційний шар закріплюється на зовнішній стороні конструкційного шару за допомогою клею або дюбелів. По теплоізоляційному шару сіткою влаштовується лицьовий штукатурний шар (рис.1.9,в). Як теплоізоляційний шар використовують плити з мінеральних або скляних волокон, пінопласти або теплоізоляційні бетони.

Тришарові стіни аналогічні двошаровим, але як лицьовий шар використовується не штукатурка, а цегла, природне або штучне каміння (рис.1.9, г). Як теплоізоляційний шар використовуються аналогічні матеріали, але їх номенклатура та властивості відрізнятимуться.

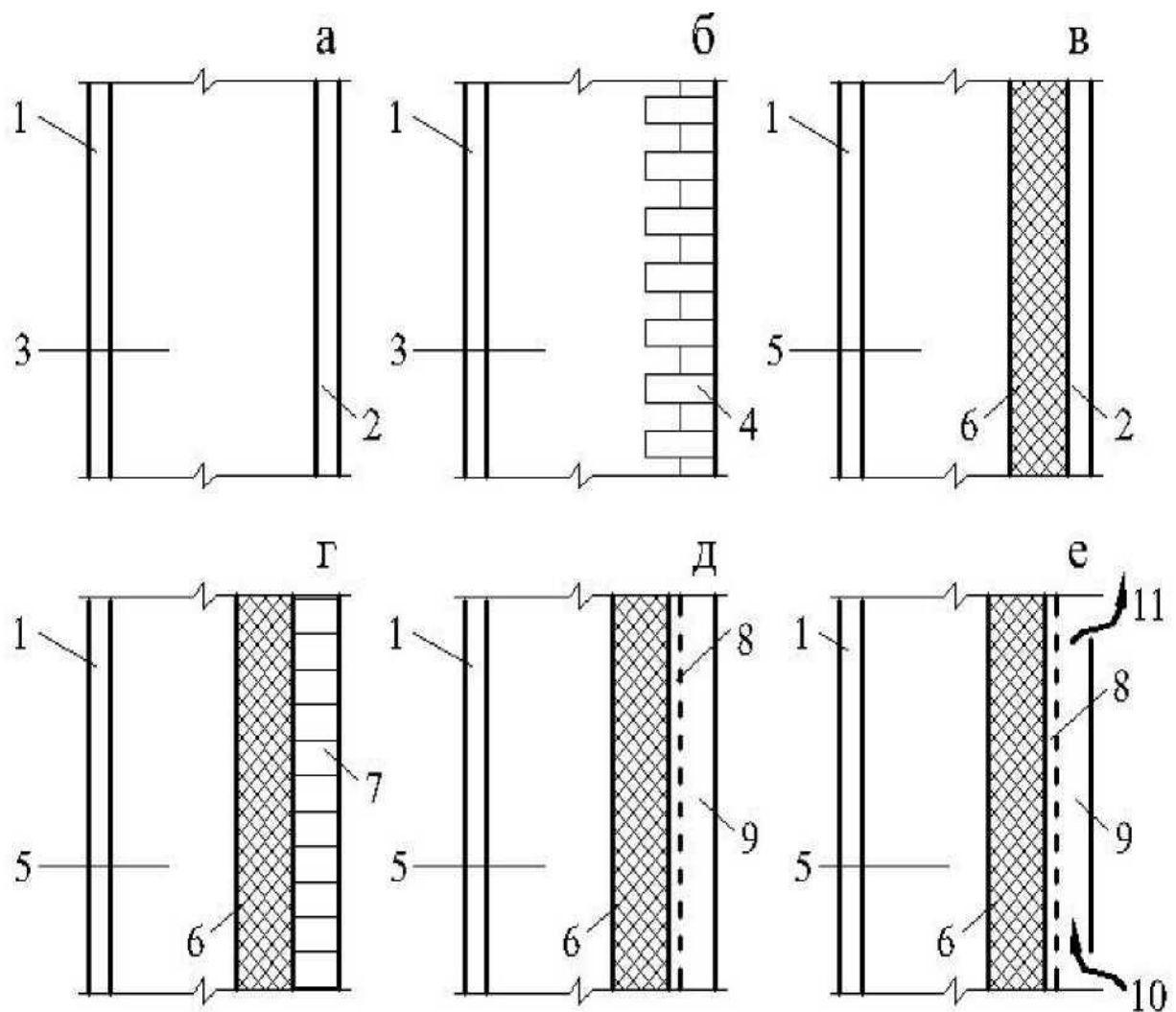


Рисунок 1.9 - Основні схеми конструктивних рішень зовнішніх стін як об'єктів теплозахисту:

а, б - одношарові (суцільні) стіни; в - двошарові стіни із зовнішнім утепленням та штукатуркою по сітці; г - тришарові стіни з облицювальним шаром із цегли або каменю; д - стіна з невентильованим повітряним прошарком; е - стіна з вентильованим повітряним прошарком.

1-внутрішня штукатурка; 2-зовнішня штукатурка; 3-конструкційно-теплоізоляційний матеріал; 4 - лицьова цегла або каміння, що становлять суцільний перетин зі стіною; 5 – конструкційний матеріал; 6 – теплоізоляційний шар; 7 - лицева цегла або каміння, пов'язані з конструкційним шаром гнучкими зв'язками; 8 – плівка типу Тайвек; 9 - листові або плитні облицювальні шари; 10 - припливний отвір; 11- витяжний отвір

Стіни з повітряним прошарком (вентильованим та невентильованим) (рис.1.9, д і е), складаються з конструкційного шару, теплоізоляційного шару і вітро-вологонепроникної плівки типу Тайвек, яка, в той же час, вільно випускає водяна пара. Далі із зазором 50-150 мм по металевому каркасу встановлюється лицьовий шар із плит. Лицьові плити можуть виконуватися з природного каменю, керамограніту, скла, сталі, полімерів і т.д.

Відмінність фасаду з вентильованим прошарком полягає в тому, що у цоколя будівлі та у карниза повітряний прошарок повідомляється з атмосферним повітрям (рис.1.9,е), за рахунок чого в прошарку створюється рух повітря, що спонукається гравітаційними силами (тепловим натиском). Рух повітря в прошарку посилює видалення водяної пари з теплоізоляційного матеріалу.

1.6 Висновки до розділа 1

Короткий аналіз трьох типів стін показав, що зовнішня огорожа повинна забезпечувати кілька функцій одночасно: міцність, теплозахист та декоративні якості фасадів. У зв'язку з цим більш детально розглянемо функціональні шари зовнішніх стін.

РОЗДІЛ 2

ОСНОВНІ ФІЗИЧНІ ПРОЦЕСИ В ОГОРОЖДЕННЯХ БУДИНКІВ

Загальна схема фізико-кліматичних впливів на стіни будівель наведена на рис.2.1.

До впливів зовнішнього клімату відносяться сонячна радіація, температура та вологість повітря, дощі та вітер. Внутрішні дії на огороження будівель складаються з температури та вологості внутрішнього повітря та парціального тиску водяної пари.

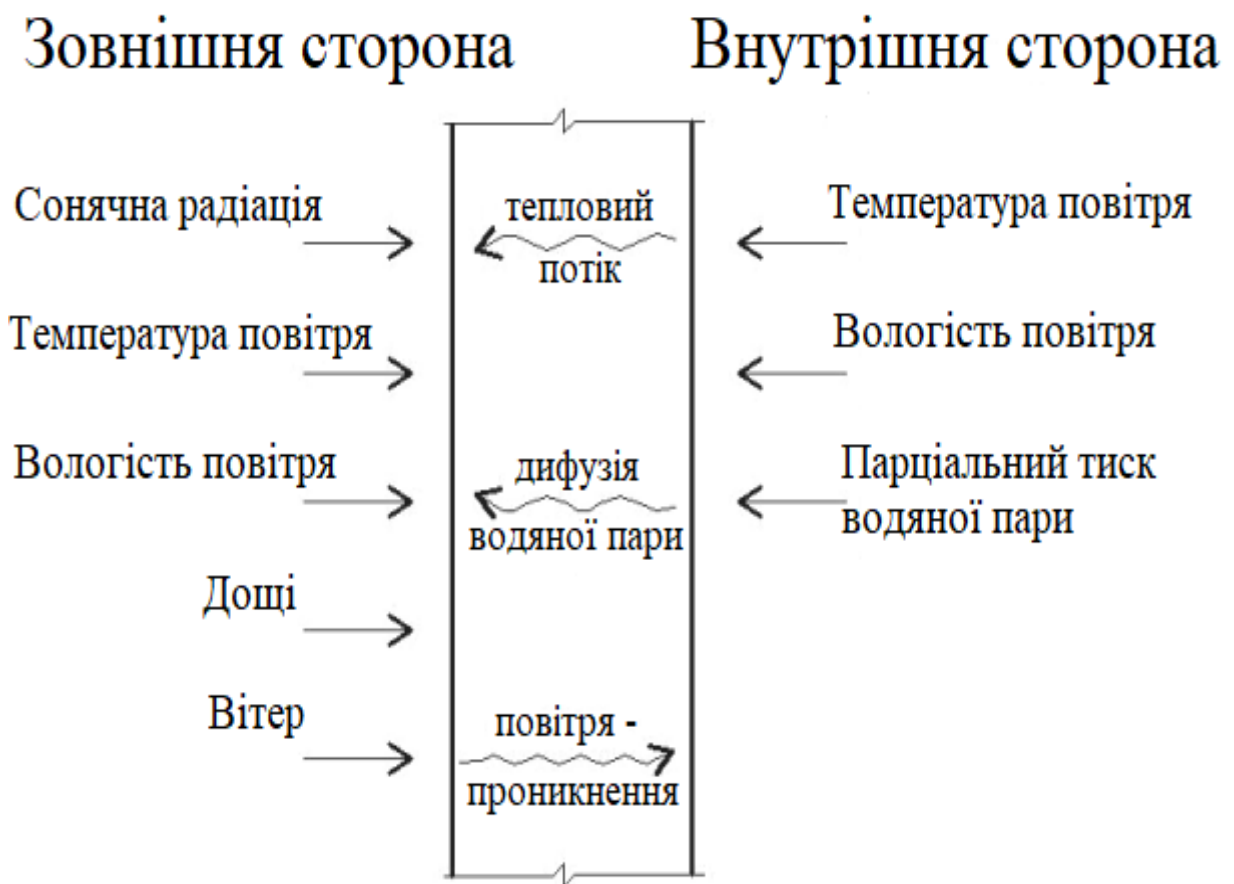


Рисунок 2.1 - Основні фізико-кліматичні впливи на стіни будівель

В результаті фізико-кліматичних впливів, у зовнішніх стінах будівель виникають три основні фізичні процеси, які слід враховувати при проектування теплозахисту будівель: теплопередача, паропроникність та повітропроникність.

2.1. Теплопередача через огорожувальні конструкції

Тепловий потік (теплопередача) від однієї поверхні огорожувальної конструкції до іншої виникає за різниці температур Δt на протилежних поверхнях огорож. Напрямок потоку тепла – від поверхні з високою температурою до поверхні з нижчою температурою. Взимку – з приміщення на вулицю, влітку можливий зворотний потік тепла, особливо при опроміненні фасадів будівель сонячною радіацією.

Тепловий потік Q_k , тобто кількість тепла, що проходить через 1 м² площі огорожі за 1 годину, прямо пропорційний різниці температур на протилежних сторонах огорожі Δt в °С і обернено пропорційний опору теплопередачі конструкції огорожі R_{TK} , (м²°С)/Вт:

$$Q_k = \frac{\Delta t}{R_{TK}} = \frac{\tau_B - \tau_3}{R_{TK}}$$

де τ_B і τ_3 - температури внутрішньої та зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, °С.

2.1.1. Особенности теплопередачи в холодный период года

При теплотехнічних розрахунках холодного періоду року зручніше користуватися не температурами поверхонь огорожі t_B і t_3 , а температурами внутрішнього та зовнішнього повітря τ_B і τ_3 , які широко представлені в нормативній та довідковій літературі. У цьому випадку тепловий потік через огорожу визначиться:

$$Q = \frac{t_B - t_3}{R_{TO}}$$

де R_{TO} - загальний опір теплопередачі огорожувальної конструкції (м²°С)/Вт (від температури t_B до температури t_3).

Графічне уявлення про теплопередачу через огорожувальні конструкції наведено на рис.2.2.

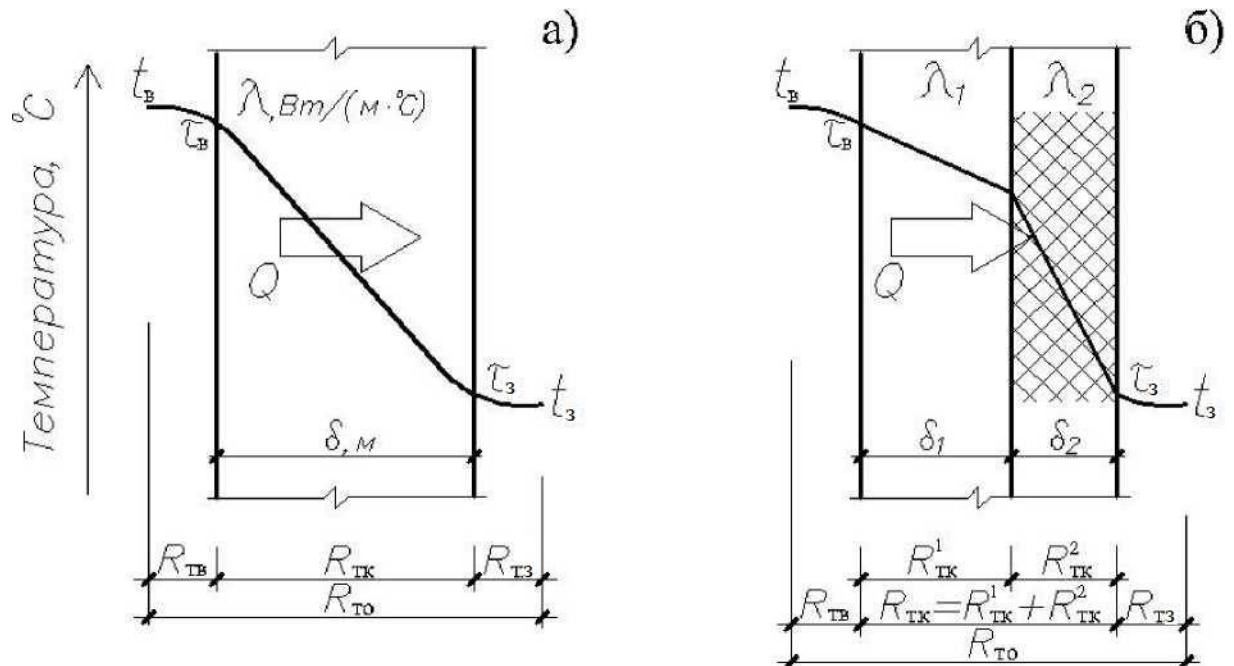


Рисунок 2.2 - Розподіл температур в одношаровому (а) та багатошаровому (б) огороженнях:

δ , δ_1 , δ_2 - товщини шарів; λ , λ_1 , λ_2 - коефіцієнти теплопровідності матеріалів шару, причому $\lambda_1 \gg \lambda_2$, Q - тепловий потік

З рис. 2.2 видно, що загальний опір теплопередачі огорожувальних конструкцій $R_{\text{ТО}}$ (від температури $t_{\text{в}}$ до температури t_3) складається з трьох доданків: опору теплопереходу біля внутрішньої поверхні $R_{\text{ТВ}}$ (перепад температур $t_{\text{в}} - \tau_{\text{в}}$), опору теплопередачі конструкції огороження $R_{\text{ТК}}$ (перепад температур $\tau_{\text{в}} - \tau_3$) та опору теплопереходу біля зовнішньої поверхні огороження $R_{\text{ТЗ}}$ (перепад температур $\tau_3 - t_3$):

$$R_{\text{ТО}} = R_{\text{ТВ}} + R_{\text{ТК}} + R_{\text{ТЗ}}, (\text{м}^2\text{°С})/\text{Вт}.$$

Опір теплопередачі у внутрішньої та зовнішньої поверхонь огороження $R_{\text{ТВ}}$ та $R_{\text{ТЗ}}$ визначаються особливостями променистого та конвективного теплообміну у цих поверхонь. Опір теплопередачі у внутрішньої $R_{\text{ТВ}}$ і

зовнішньої $t_{тн}$ поверхонь огороження є зворотними величинами коефіцієнтів тепловіддачі у внутрішньої $R_{тв}$ і зовнішньої $R_{тз}$ поверхонь, тобто:

$$R_{тв} = \frac{1}{\alpha_{в}}, \quad R_{тз} = \frac{1}{\alpha_{з}}, \quad (м^2\text{°C})/Вт.$$

Значення коефіцієнтів $\alpha_{в}$ і $\alpha_{з}$ широко представлені в нормативній літературі та успішно використовуються у розрахунках багато десятиліть. Опір теплопередачі конструкції огороження $R_{к}$ залежить від товщини огороження - δ м і коефіцієнта теплопровідності матеріалу огороження - λ , $(м^2\text{°C})/Вт$ і визначається за формулою:

$$R_{тк} = \frac{\delta}{\lambda}, \quad Вт/(м^2\text{°C})$$

Для багат шарових огорож опір теплопередачі $R_{тк}$ визначається як сума опорів теплопередачі окремих шарів: (рис.2.2,б):

$$R_{тк} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$$

З наведених вище формул випливає, що величина опору теплопередачі конструкції $R_{тк}$ зростає зі збільшенням товщини огороження або окремого шару δ і зменшенням теплопровідності матеріалу, тобто коефіцієнта λ .

Ця обставина використовується при проектуванні необхідного рівня теплозахисту огорожі, при якому величина опору теплопередачі всієї огорожі $R_{то}$ буде більшою за необхідний $R_{то}^{по}$ певний виходячи з «суворості» клімату.

На рис. 2.2 графіки розподілу температур перерізу огорожі справедливі для так званих стаціонарних умов теплопередачі, коли $t_{в}$ і $t_{з}$ не змінюються в часі. Температура внутрішнього повітря $t_{в}$ майже змінюється у часі, тоді як температура зовнішнього повітря $t_{з}$ постійно змінюється, іноді у межах. Однак, різноманітними дослідженнями [33] показано, що стаціонарні умови

теплопередачі можуть бути успішно використані для теплотехнічних розрахунків холодного періоду року, якщо як t_3 прийнятий так званий розрахунковий параметр температури зовнішнього повітря.

Розрахунковий параметр кліматичного чинника, у разі розрахункова температура зовнішнього повітря, являє собою таку постійну величину кліматичного фактора, яка найповніше моделює фізичні процеси в огородженнях, адекватно замінюючи множину змінних величин цього фактора.

Таким чином, забезпечення нерівності $R_{TO} > R_{TO}^{PO}$ є завершенням теплотехнічного розрахунку, але лише умовним завершенням. Умовним, тому що R_{TO} є опором теплопередачі не лише огорожі, а лише «по гладі» стіни, вона не враховує тепловтрати через теплотехнічні неоднорідності, які завжди вищі, ніж «по гладі» і через це R_{TO} не характеризує загальних теплових втрат будівлі.

У реальних огорожувальних конструкціях поряд з «гладдю стіни», є велика кількість ділянок, що містять теплопровідні включення і різні теплотехнічні неоднорідності. Це кути зовнішніх стін, віконні та дверні укоси, сполучення елементів каркасу (колони, балки, перемички, плити перекриттів) з огорожами, ребра та зв'язку жорсткості у зовнішніх стінових панелях, металеві кронштейни системи фасадів, що утеплюються і вентилуються, тощо.

Елементи каркасу або зв'язку виконуються із залізобетону або сталі та мають велику теплопровідність, тому в подібних ділянках огороження зростає тепловий потік і, отже, витікання тепла. Таким чином, огороження будівель є складною конструкцією, окремі ділянки якої мають різний опір теплопередачі, отже, різну величину теплових втрат.

На рис. 2.3 наведено структуру тепловтрат 17-ти поверхового житлового будинку. Каркас будинку - монолітний залізобетонний, стіни - тришарові з ефективним утеплювачем з поверховим опиранням на перекриття. Вікна та балконні двері виконані у пластикових палітурках з двокамерними склопакетами.

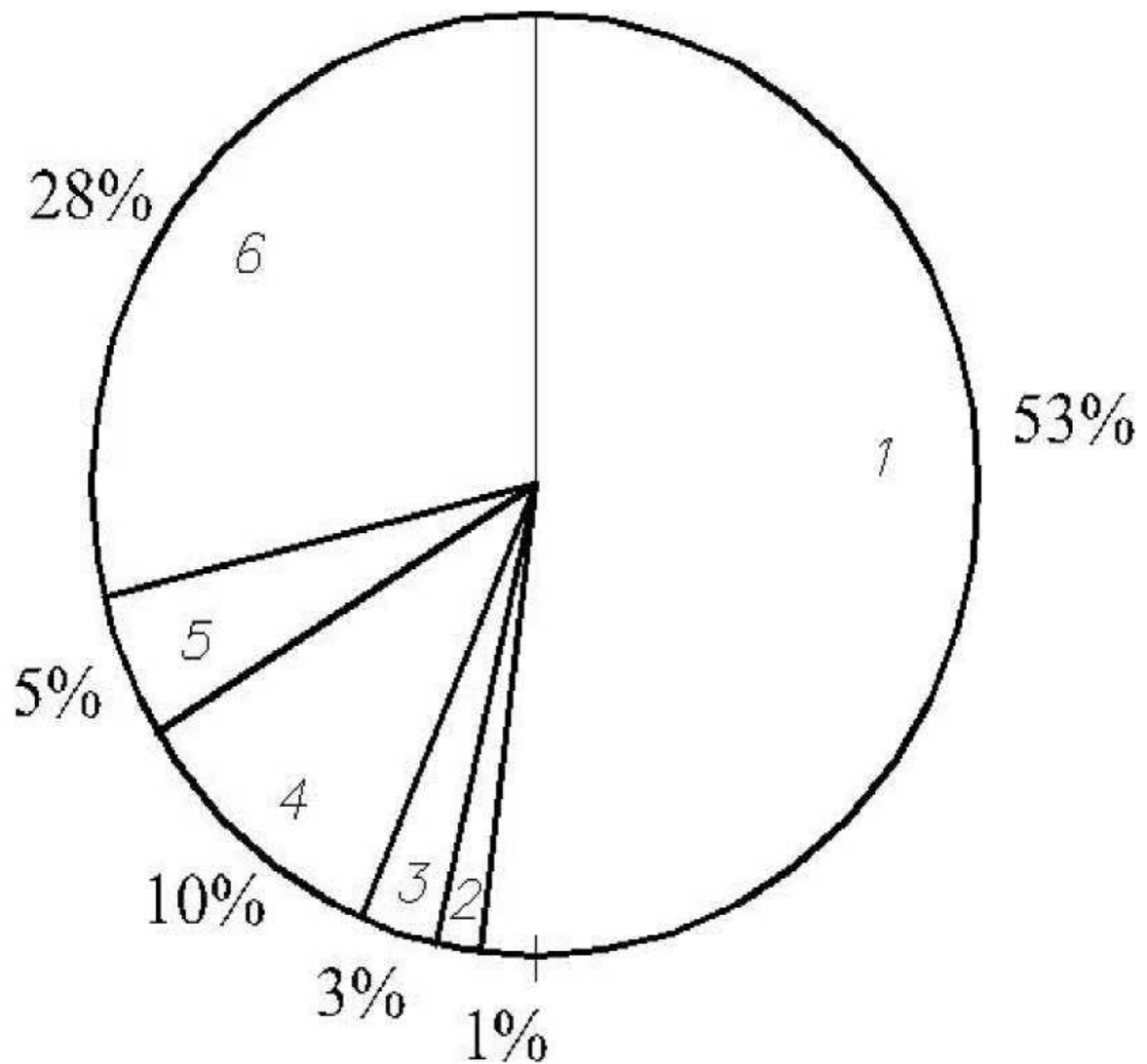


Рисунок 2.3 - Структура тепловтрат через зовнішню стіну за опалювальний період:

1 - основні («по гладі»); 2 – через кути; 3 - через поєднання зовнішньої стіни з внутрішніми стінами; 4 - через поєднання зовнішньої стіни з міжповерховими перекриттями; 5 - через віконні укоси; 6- через інші теплопровідні включення

З даних рис.2.3 можна побачити, що майже половина (47%) тепловтрат будівлі визначається ділянками з теплотехнічною неоднорідністю.

На тепловізійних зйомках ділянки фасадів із витоками тепла «світяться» червоним, причому за інтенсивністю свічення можна судити про величину витоку тепла.

Температура внутрішніх поверхонь огорож у зоні теплопровідних включень – $\tau_{\text{в}}^{-1}$, буде нижчою, ніж ця сама температура «по гладі» – $\tau_{\text{в}}$ і виникає небезпека «точки роси» та конденсації вологи на поверхні огорожі.

На рис. 2.4 - 2.8 як ілюстрацію наведено деякі вузли огорожувальних конструкцій з теплотехнічними неоднорідностями, наведено температурні поля та температури внутрішніх поверхонь.

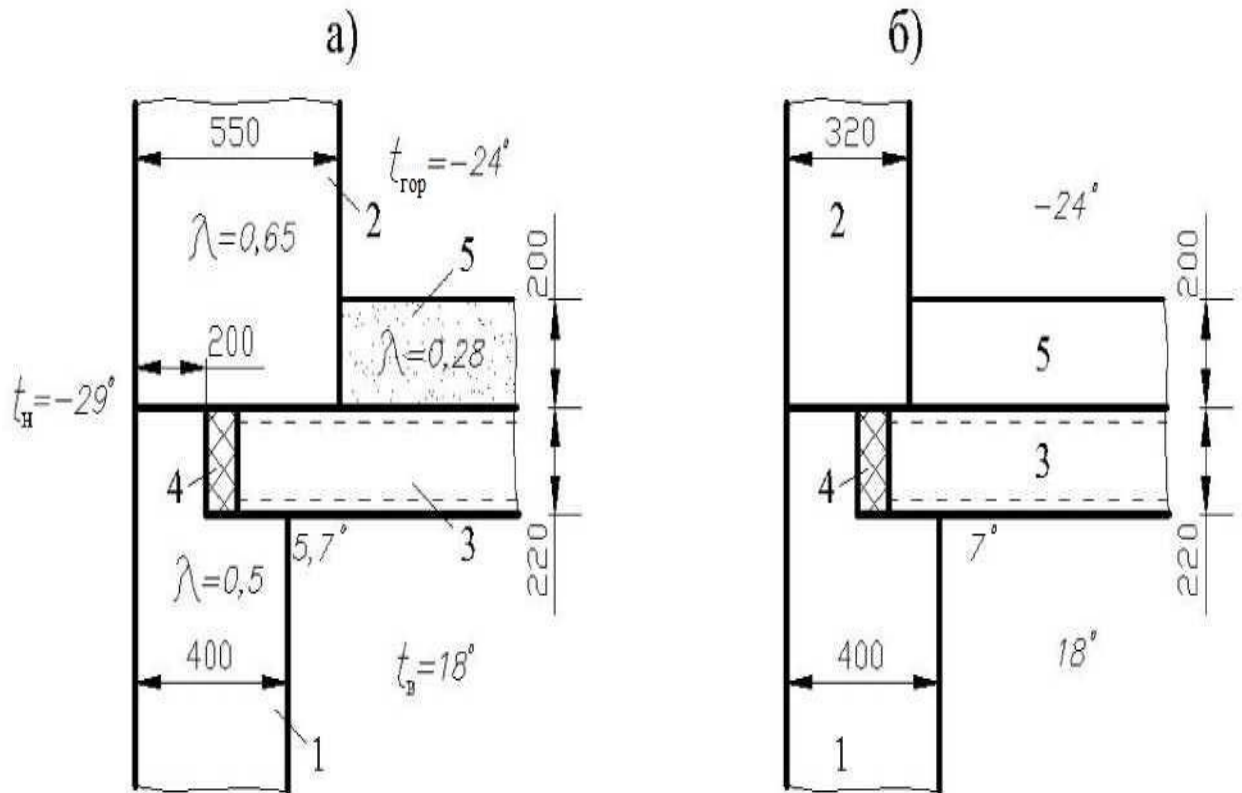


Рисунок 2.4 - Карнизний вузол:

- а – при товщині фризного блоку 55 см; б-при товщині фризного блоку 32см; 1 – стіна з керамзитобетонних блоків; 2 - фризний блок зі шлакобетону; 3 - багатопустотний настил горищного перекриття; 4 - мінеральна вата; 5 - шлакове засипання

Зміна конструктивних розмірів фризного блоку карнизному вузлі (рис.2.4) [33] можуть знизити температуру внутрішньої поверхні стіни біля стелі з 7°C до 5,7°C, що підвищує ймовірність випадання конденсату в цьому кутку.

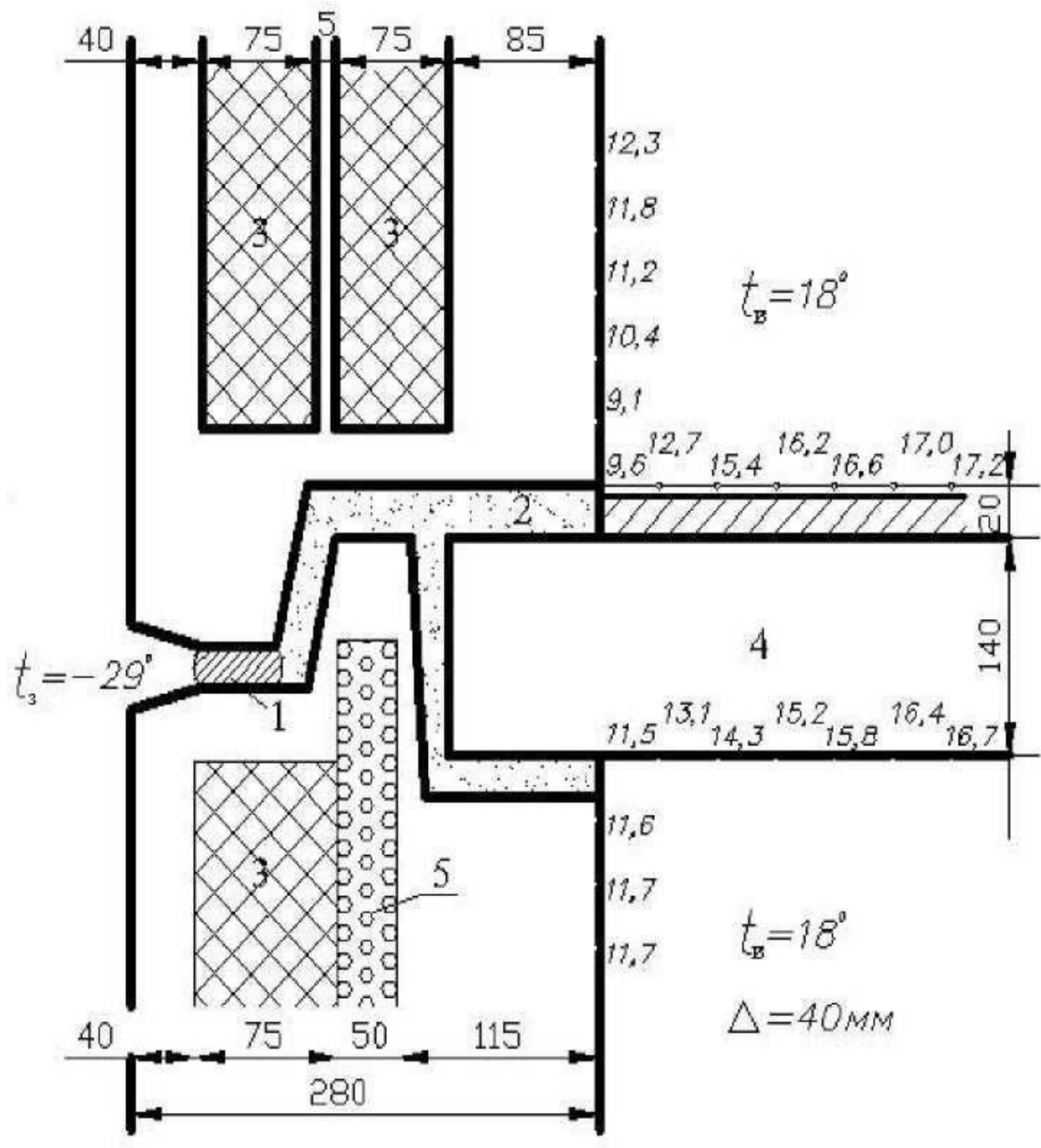


Рисунок 2.5 - Температури внутрішньої поверхні горизонтального стику залізобетонних панелей зовнішніх стін: 1 – герніт; 2 – цементний розчин; 3 – фіброліт; 4 – залізобетонна плита міжповерхового перекриття; 5 – пінополістирол

На рис.2.5 наведено класичний горизонтальний стик тришарових залізобетонних панелей. Можна бачити, що в зоні ребер жорсткості по периметру панелей температура внутрішніх поверхонь нижче за аналогічну температуру «по гладі» на $3,3^\circ\text{C}$ - $9,1^\circ\text{C}$ проти $12,3^\circ\text{C}$.

Для температурно-влажностних умов приміщення з $t_b = 20^\circ\text{C}$ і $\phi = 50\%$, тобто нормативних, температура «точки роси» дорівнюватиме $9,3^\circ\text{C}$, отже, при розрахункових температурах зовнішнього повітря мінус 29°C і нижче по периметру панелі випадатиме конденсат.

Кути зовнішніх стінок є зазвичай неблагополучними ділянками стінки з погляду тепловтрат. З рис. 2.6 [14] можна побачити, що температура внутрішніх поверхонь «по гладі» становить $11,9^\circ\text{C}$, а кутку - $6,2^\circ\text{C}$. Температура «точки роси» для даних температурно-вологісних умов ($t_b = 18^\circ\text{C}$ і $\phi_b = 55\%$) становить $8,8^\circ\text{C}$, отже, у цьому куті випадатиме конденсат. Традиційне «лікування» зовнішніх кутів полягає у розміщенні в цих місцях стояків водяного опалення або пристрою додаткового утеплення в кутах.

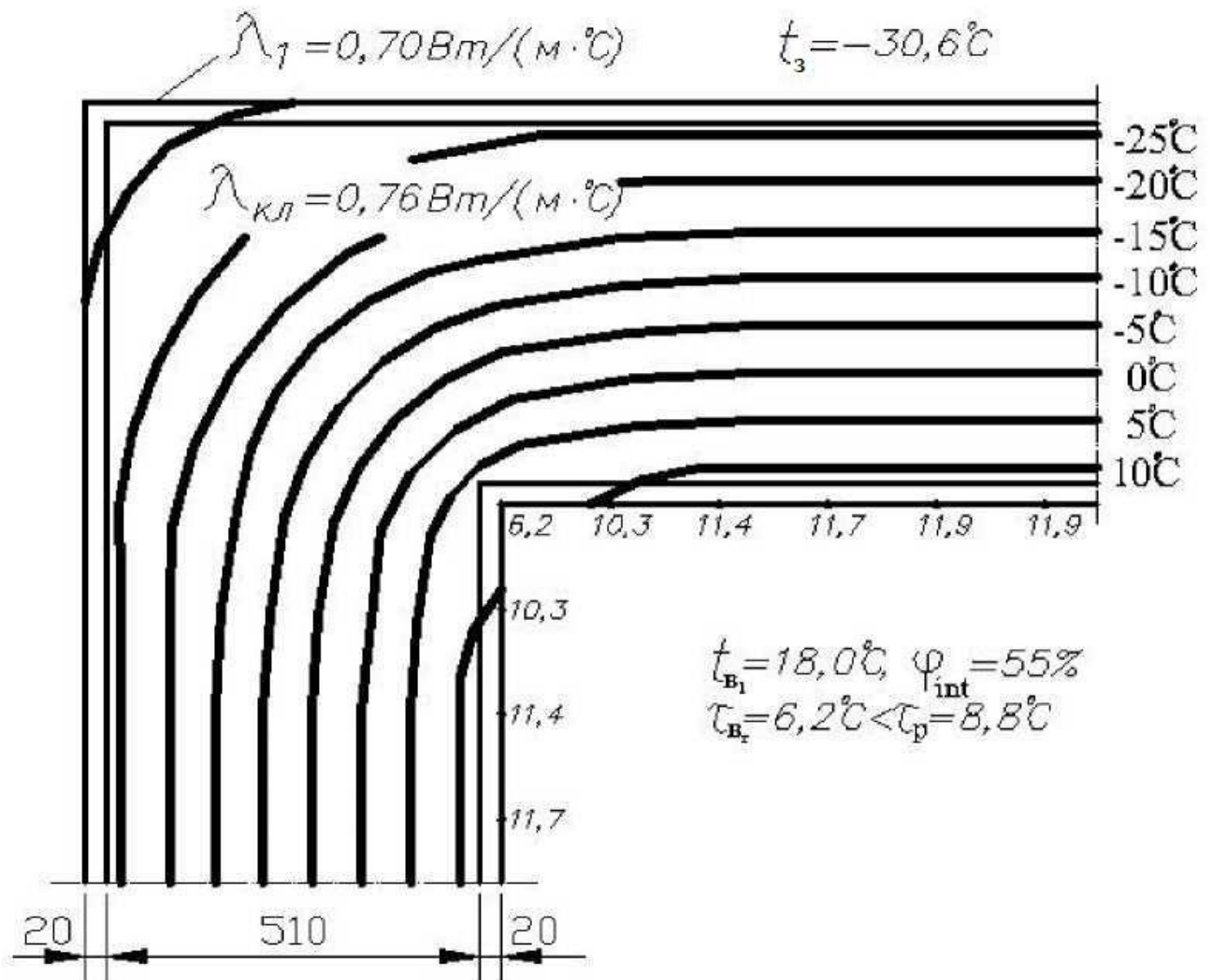


Рисунок 2.6 - Температурне поле в зовнішньому куті стіни із силікатної цегли

Віконні укоси є традиційним місцем витоку тепла з усіма можливими

наслідками: зниженням температур поверхонь укосів, конденсат, постійне зволоження і пліснява, рис.2.7.

Причиною утворення плісняви є зниження температури внутрішніх поверхонь укосів нижче за «точку роси». На рис. 2.8 представлені температурні поля біля віконних отворів. З рисунка видно, що віконні рами зі спареними плетіннями без спеціальних заходів щодо утеплення віконних коробок у отворі виявляються непридатними.



Рисунок 2.7 - Цвіль на віконних укосах у житловому будинку

Теплопровідні включення та теплотехнічні неоднорідності можуть мати найрізноманітніші конфігурації, що відбивається як на величині витоку тепла в цих ділянках огороження, так і на температурі внутрішньої поверхні $\tau_{в}^{-1}$ у цій зоні.

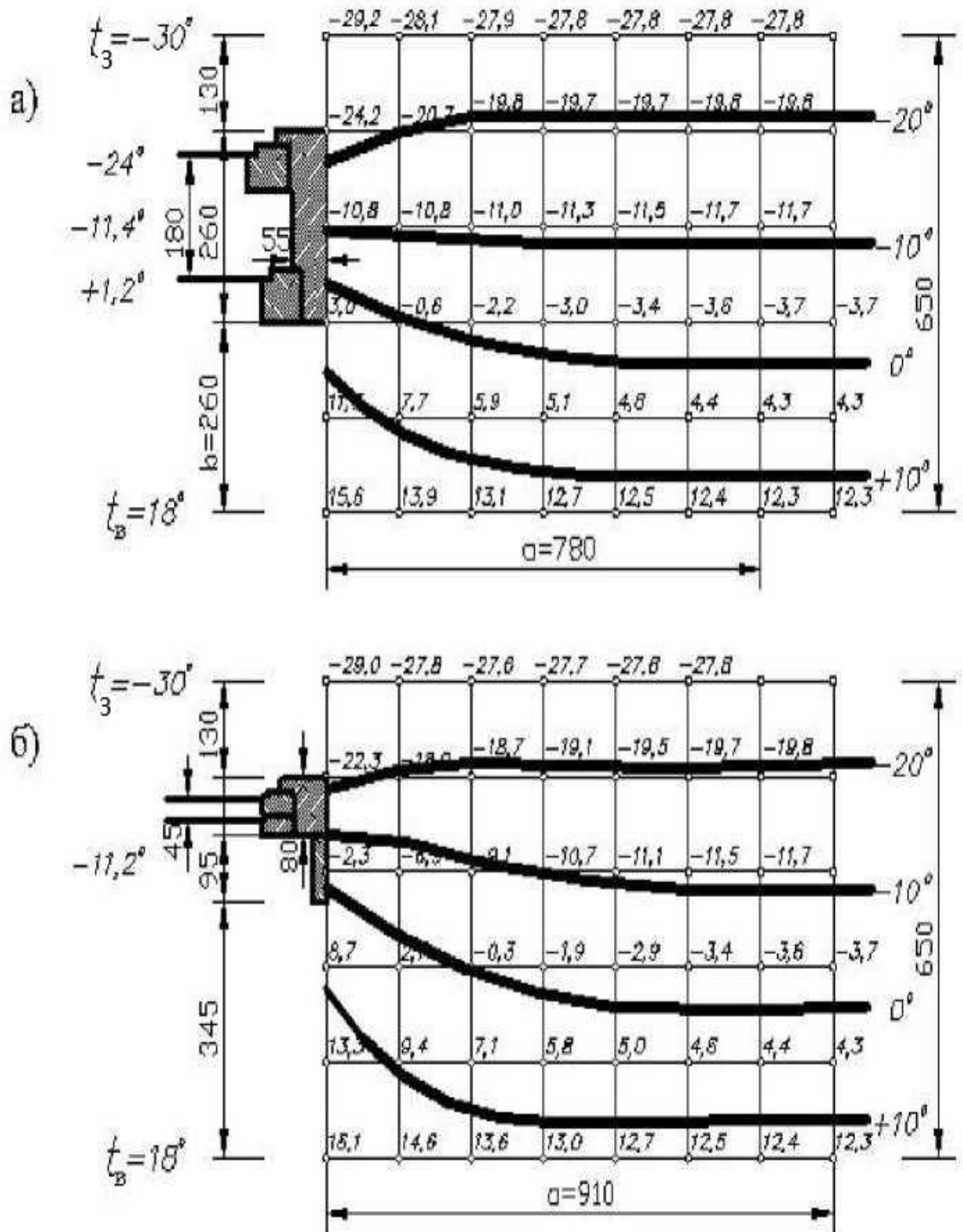


Рисунок 2.8 - Температурні поля біля віконного отвору в стіні цегли:

а - при подвійних роздільних віконних палітурках;

б - при спарених віконних палітурках

При аналізі впливу теплотехнічних неоднорідностей на теплозахисні властивості конструкцій, що захищають, виявлено, що коефіцієнт теплотехнічної однорідності знижується зі збільшенням опору теплопередачі R_0^{ym} , рис.2.9.

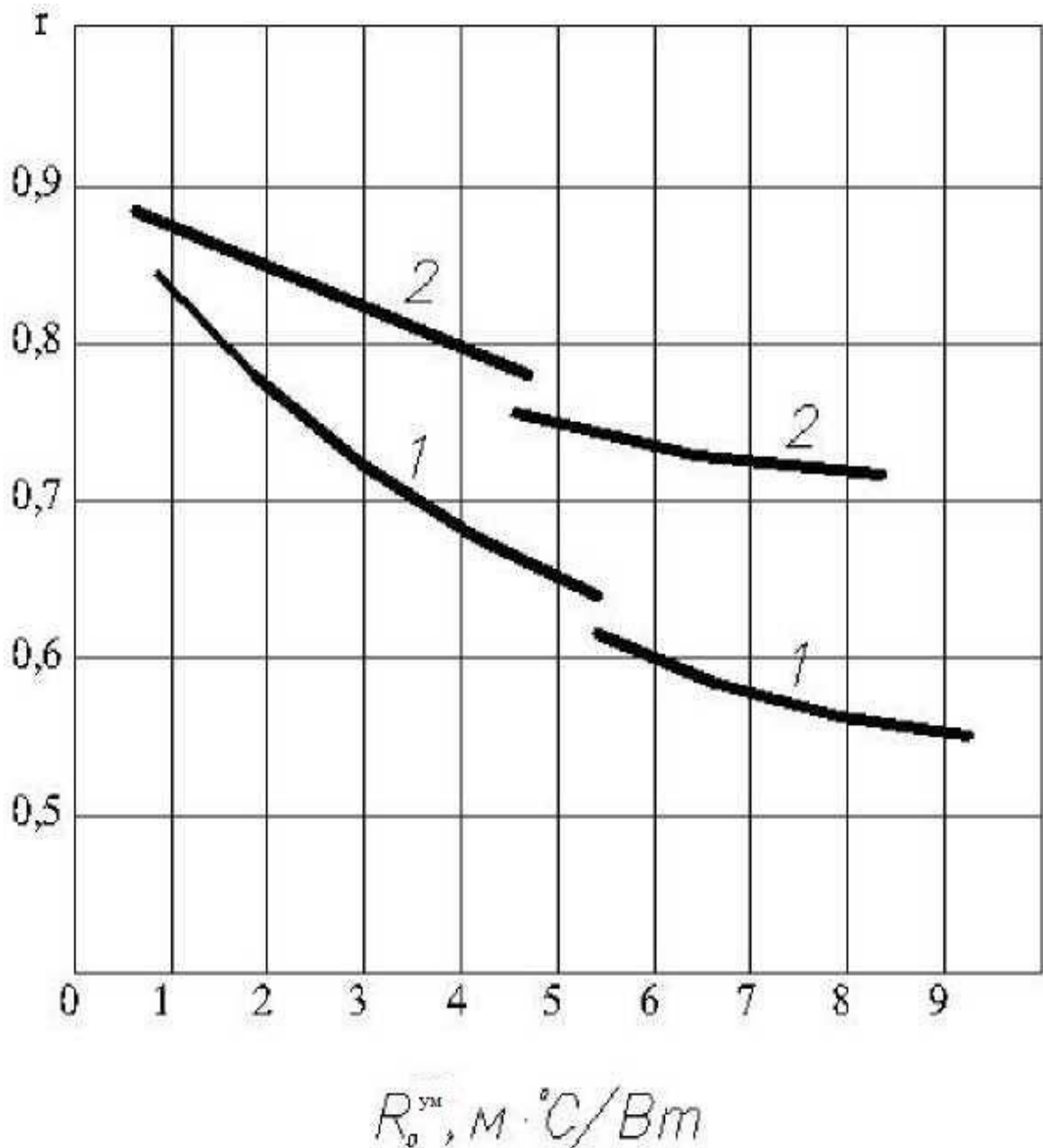


Рисунок 2.9 - Залежність коефіцієнта теплотехнічної однорідності в тришаровій залізобетонній панелі від умовного опору теплопередачі: R_0^{ym}

1 - з пінополістирольними плитами $\lambda = 0,04$ Вт / (м°С);

2 - з мінераловатними плитами $\lambda = 0,08$ Вт/(м°С)

З рис.2.9 видно, збільшення опору теплопередачі $R_0^{ум}$ від рівня санітарно-гігієнічної безпеки 1,2 - 1,5 (м²°C)/Вт рівня енергозбережень 3,2-4,2(м²°C)/Вт знижує коефіцієнт теплотехнічної однорідності на 10-15%. Причому інтенсивність зміни γ від $I_{0усл}$ залежить від виду утеплювача (криві 1 та 2). Значення коефіцієнта γ наведено у низці нормативної літератури [44].

2.1.2. Особливість теплопередачі у теплий період року

У літній період року тепловий потік спрямований, як правило, від зовнішньої поверхні огорожі до внутрішньої, особливо при сонячній радіації на фасади будівель. У цьому випадку конструкція огорожі повинна максимально поглинати тепловий потік і не підвищувати температури внутрішньої поверхні на величину, передбачену в нормативних документах.

Температура зовнішньої поверхні огорожі при дії сонячної радіації залежить від температури зовнішнього повітря t_3 (°C), інтенсивності (щільності теплового потоку) сонячної радіації S (Вт/м²), швидкості вітру v (м/с) і може бути визначена за формулою:

$$t_{3п} = t_3 + \frac{\rho S}{\alpha_3}$$

де ρ -коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огорожі; $\alpha_3=1,16(5+10\sqrt{v})$ коефіцієнт теплопередачі біля зовнішньої поверхні огорожі, Вт/(м²°C).

У певний час доби доданок $\rho S/\alpha_3$ може становити десятки градусів.

Температура зовнішнього повітря на добовому ході досягає свого максимуму о 15-17 годині. У цей час доби сонце знаходиться на заході і максимальна інтенсивність сонячної радіації посідає західні фасади будівель. Ці два фактори і зумовлюють перевірку конструкцій, що захищають, звернених на захід, на «теплостійкість» у літній час.

Оскільки зміни температури зовнішнього повітря та інтенсивності сонячної радіації мають добовий хід, то тепловий вплив на зовнішню поверхню огороження буде хвилеподібним: максимальним – о 15 годині дня і мінімальним – о 3 годині ночі. У зв'язку з цим в огорожі з періодом один раз на добу (24 години) виникають теплові хвилі, які, переміщаючись від зовнішньої поверхні огорожі до внутрішньої, загасають на певну величину в залежності від конструкції огорожі та теплотехнічних характеристик матеріалів. Схематичне уявлення про теплові хвилі в огорожі наведено на рис.2.10.

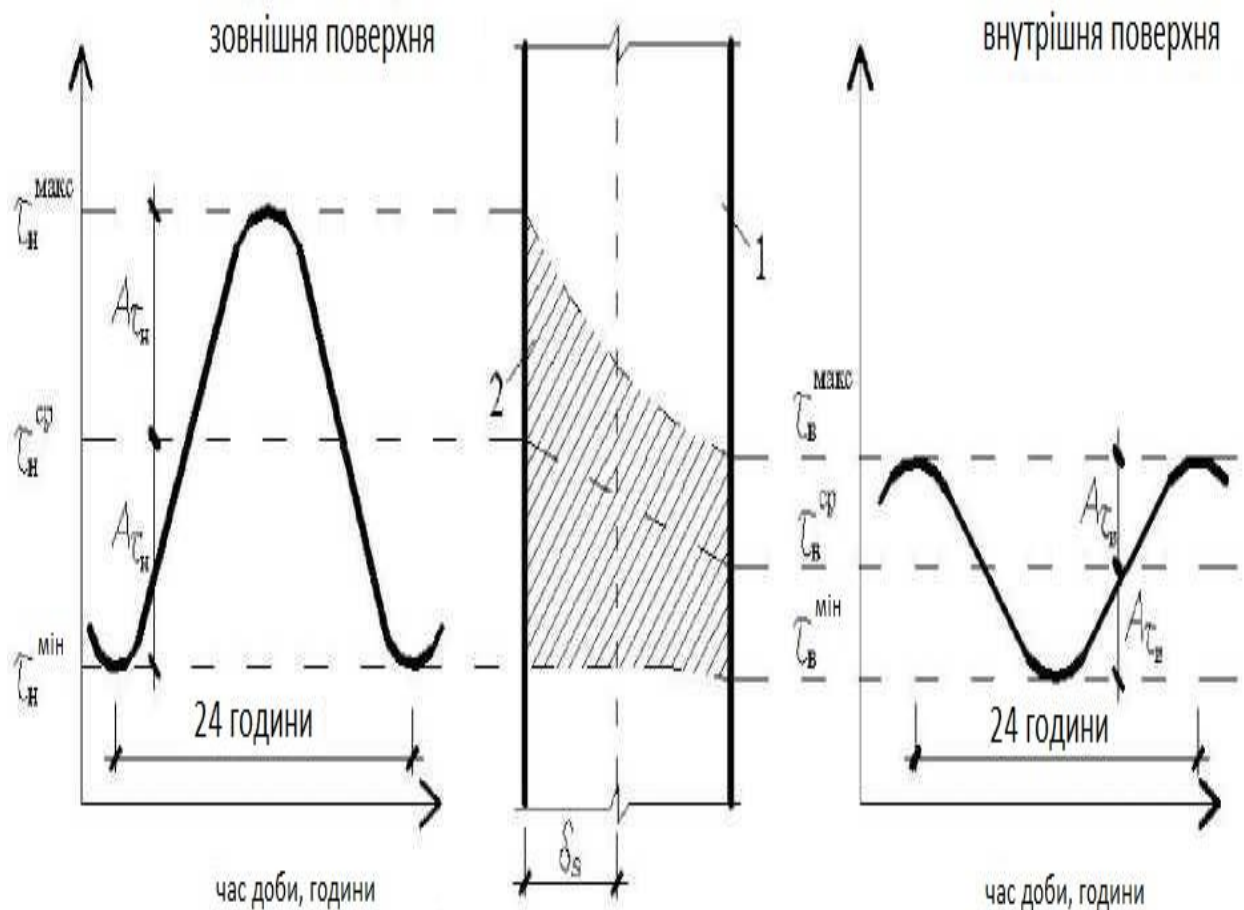


Рисунок 2.10 - Схема передачі теплової хвилі через однорідну одношарову конструкцію: 1 - конструкція, що захищає; 2 - зона згасання теплової хвилі в огорожі; δ_s - шар різких коливань

Амплітуда коливань температури зовнішньої поверхні огорожі At_H визначиться із формули:

$$At_3 = 0,5 At_3 + p(S_{\max} - S_{\text{cp}})/\alpha_3,$$

де At_3 - максимальна амплітуда коливань температури зовнішнього повітря в липні, °C;

$S_{\max}$ і S_{cp} — відповідно, максимальне та середнє значення інтенсивності сонячної радіації, Вт/м².

Амплітуда коливань температури внутрішньої поверхні огорожі At_B буде менше амплітуди At_3 на величину загасання теплової хвилі в огорожувальній конструкції v , тобто:

$$At_B = At_3 / v.$$

Інтенсивність загасання теплової хвилі в одношаровій огорожі v визначається величиною теплової інерції цієї огорожі D , яка є безрозмірною характеристикою огорожі та визначається твором його опору теплопередачі R , (м²°C)/Вт на коефіцієнт теплосасвоєння матеріалу S , Вт/(м²°C):

$$D = R * S.$$

Вплив коефіцієнта теплосасвоєння матеріалу на величину теплової інерції окремого шару чи огорожі загалом простежується з урахуванням аналізу порівняльних даних величини цього коефіцієнта для характерних груп матеріалів (табл.2.1). З табл.2.1 випливає, що вище щільність матеріалу, то вище його коефіцієнт теплосасвоєння і тим вище буде теплова інерція шару чи огороження.

Таблиця 2.1 Значення коефіцієнтів теплозасвоєння S характерних груп матеріалів (порівняльна таблиця)

№ п/п	Найменування матеріалів	S , Вт/(м ² °C)
1	Пінополістирол, $\gamma_0=20-40$ кг/м ³	0,3 ÷ 0,5
2	Плити зі скляного штапельного волокна, $\gamma_0 = 30-80$ кг/м ³ .	0,3 ÷ 0,5
3	Мати мінераловатні, $\gamma_0=100-150$ кг/м ³	0,6 ÷ 0,8
4	Газо- та пінобетон, $\gamma_0= 400-800$ кг/м ³	2 ÷ 6
5	Будівельні розчини, $\gamma_0= 1200-1400$ кг/м ³	7 ÷ 8
6	Цегляна кладка з керамічної та силікатної цегли, $\gamma_0 = 1600-1800$ кг/м ³	8 ÷ 10
7	Керамзитобетон, $\gamma_0= 1400-1800$ кг/м ³	8 ÷ 12
8	Бетон на гравії або природних заповненнях, залізобетон, $\gamma_0 = 2400-2500$ кг/м ³	16 ÷ 19
9	Граніт, гнейс, базальт, $\gamma_0=2800$ кг/м ³	25
10	Сталь, $\gamma_0=7850$ кг/м ³	126
11	Алюміній, $\gamma_0=2600$ кг/м ³	188

Чим більше теплова інерція огороження D , тим повільніше воно нагрівається і повільніше остигає, тобто для поширення теплової хвилі від однієї поверхні до іншої потрібен час прямо пропорційне величині D .

Розмір теплової інерції D покладено основою класифікації огорожувальних конструкцій за показником теплової масивності:

Особливо легкі огороження $D < 1,5$;

Легкі огороження $1,5 < D < 4,0$;

Огороження середньої масивності $4,0 < D < 7,0$;

Масивні огороження $D > 7,0$.

2.1.3. Вплив взаємного розташування шарів на теплозахисні властивості огорож

Опір теплопередачі багат шарового огороження - R_{TK} складається з опорів теплопередачі окремих верств R_i . Відповідно до формули :

$$R_{TK} = \sum_1^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}$$

На величину R_{TK} не впливає послідовність розташування шарів та для розрахунку тепловтрат огорожі чи будівлі загалом цього виявляється достатньо. Однак, експлуатаційні властивості огорожувальних конструкцій, температура матеріалів шарів всередині огорожі залежать як від величини R_{TK} , так і взаємного розташування окремих шарів.

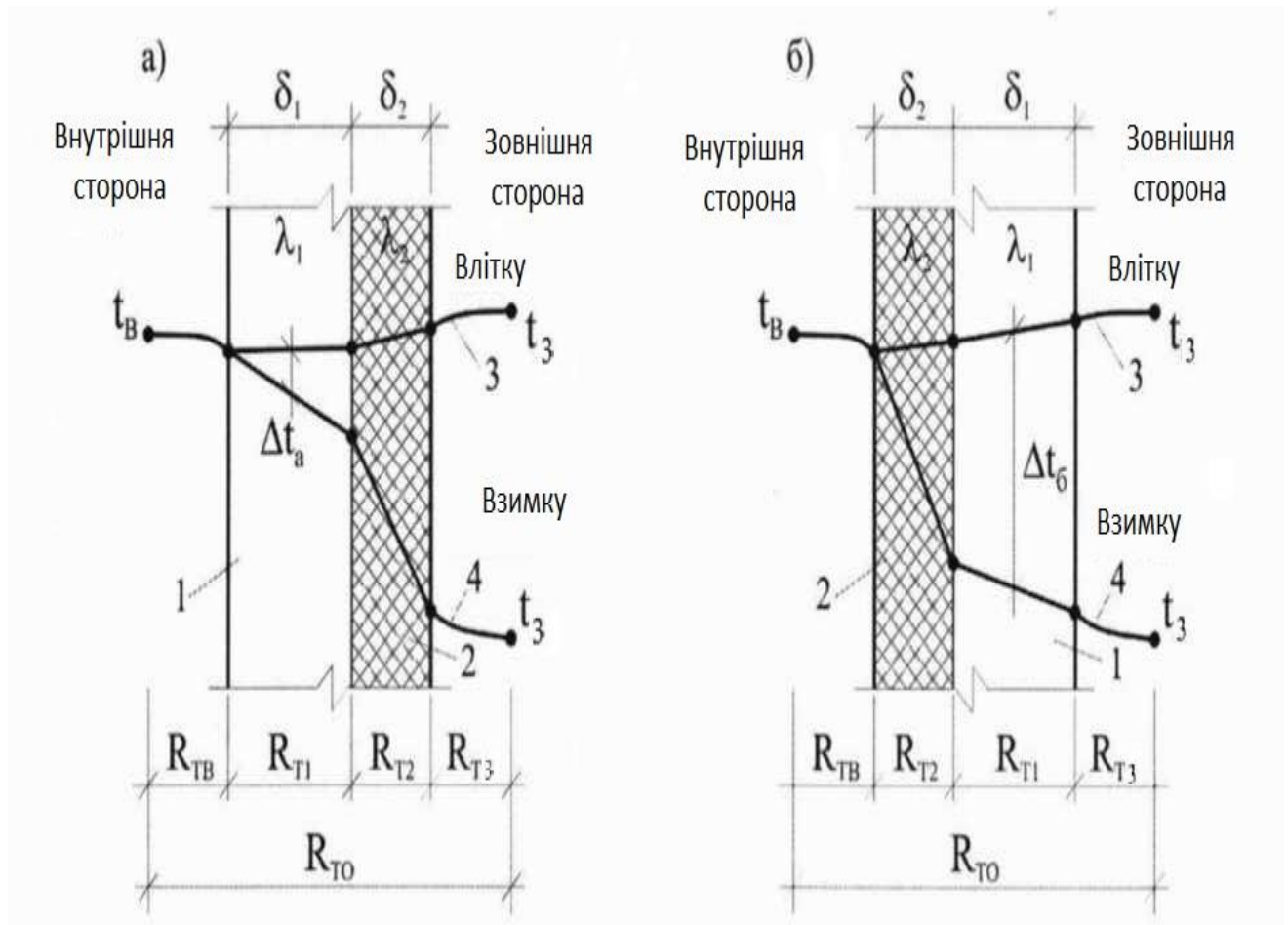


Рис.2.11. Розподіл температур у двошаровій зовнішній стіні з різним розташуванням несучих (1) та теплоізоляційних (2) шарів, влітку (3) та взимку (4): а) теплоізоляційний шар розташований зовні стіни; б)-всередині;
 δ_1 та δ_2 – товщини, а λ_1 та λ_2 – коефіцієнти теплопровідності шарів;
 Δt_a та Δt_6 - перепад температур у несучому шарі стіни від зими до літа

Розглянемо «модельну» огорожу, що складається з двох шарів: конструктивного (1) та теплоізоляційного (2) з розташуванням останнього із зовнішнього боку (рис.2.11, а), як рекомендується нормативною літературою з проектування теплозахисту, та з внутрішньої сторони (рис.2.11, б).

Опір теплопередачі $R_{Т0}$ для випадку (а) та випадку (б) будуть однаковими, оскільки незмінними залишаються λ_1 та λ_2 , δ_1 та δ_2 :

$$R_{Т0} = R_{ТВ} + R_{ТК} + R_{Т3} = R_{ТВ} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2}$$

Однак експлуатаційні якості двох варіантів цієї огорожі будуть різними. На рис.2.11 наведено криві розподілу температур перетину стіни для літніх та зимових умов. У разі (а) перепад температур у несучій конструкції Ата між літом та взимку буде невеликим. Несуча конструкція у разі працює майже постійному температурному режимі і має низькі температурні деформації. У разі (б) перепад температур у несучій конструкції «зима – літо» – Δt_6 буде значно більшим, отже, більше будуть температурні деформації несучих конструкцій і вище – ймовірність появи тріщин у будівлях.

Таким чином, з точки зору зниження температурних деформацій в несучих конструкціях і зниження ймовірності появи тріщин у будинках, теплоізоляційний шар слід розташовувати із зовнішнього боку огорожувальної конструкції. Конструкційний шар виконується, як правило, із щільних матеріалів, що мають високу теплову інерцію D . Ці шари повільно нагріваються при дії теплової хвилі і повільно остигають. З погляду теплозахисту будівель, цю властивість огорож називають теплонакопичувальною здатністю [31].

У зимовий період внутрішній шар з високою тепловою інерцією підтримує стабільну температуру в приміщенні як при короткочасному падінні зовнішнього повітря, так і при тимчасовому відключенні опалення.

Деяку аналогію можна провести з так званою піччю, яку в хатах топили один раз на добу, а тепло в будинку підтримувалося за рахунок повільного остигання великої маси цегли печі.

У літніх умовах основна енергія теплового потоку від сонячної радіації буде поглинена зовнішнім теплоізоляційним шаром, а внутрішній шар з високою тепловою інерцією не встигатиме прогріватися при добовому циклі коливань теплової хвилі. У разі розміщення конструктивного шару з високою тепловою інерцією із зовнішнього боку (за схемою рис.2.11,б), висока літня температура та сонячна радіація прогріють цей шар у денний час. За короткі літні ночі масивний шар не «охолоне» і накопичуватиме тепло, яке постійно передаватиметься до приміщення.

Таким чином, для забезпечення сталості температур внутрішнього повітря в приміщеннях внутрішній шар конструкцій, що захищають, повинен виконуватися з щільних матеріалів з високою тепловою інерцією.

Вплив взаєморозташування шарів на теплозахисні властивості огорож не вичерпується двома розглянутими прикладами. Великий вплив взаєморозташування шарів надає на процес дифузії водяної пари через огороження та її конденсацію.

2.1.4. Вплив величини опору теплопередачі огорож на їх експлуатаційні властивості та довговічність

У зв'язку з переходом на підвищені теплозахисні якості захисних конструкцій їх необхідний опір теплопередачі збільшився в кілька разів.

Опір теплопередачі огорож $R_{TO} > 3 \text{ (м}^2\text{°C)/Вт}$ може бути досягнуто тільки в багатошарових конструкціях з використанням ефективних утеплювачів (пінопластів, утеплювачів з мінеральних волокон та ін.). Використання багатошарових огорож значно ускладнило їх конструкцію, що внесло додаткові складності як в теплозахисні характеристики огорож за рахунок появи великої кількості теплотехнічних неоднорідностей, так і в експлуатаційні властивості за рахунок виникнення таких температурно-влажностних умов в огорожі, які вимагають більш ретельних підборів.

Основним завданням при введенні нових норм підвищеного теплозахисту конструкцій, що захищають, є економія енергоресурсів на опалення будівель, проте багато аспектів тепловтрат у будівлях враховано недостатньо повно. Аналіз тепловтрат у житлових та громадських будинках. У роботі показано, що втрати втрати через стіни житлових будинків, у середньому, становлять 8-20 % залежно від їх опору теплопередачі. Таким чином, вводячи підвищений теплозахист стін, нові норми передбачають економію тепловтрат лише в деякій частині, всередині 8-20%. Втрати через стіни можуть становити 4,5 % від споживання енергії країни. Тобто

збільшенням опору теплопередачі стін економія енергії країною становитиме лише деяку частину від 4,5 % і кардинальної економії енергоресурсів країною не буде досягнуто. Розглядаючи багат шарові стіни з облицюванням із цегли мають малу чутливість питомих тепловтрат будівлі до зміни їх опору теплопередачі при значеннях $R_{\text{то}}^{\text{тр}} > 1,5 (\text{м}^2 \text{°C})/\text{Вт}$, рис.2.12.

З рис. 2.12 можна побачити, що збільшення наведеного опору теплопередачі більше $1,5-2,0 (\text{м}^2 \text{°C})/\text{Вт}$ призводить до незначної економії тепловтрат за річний період експлуатації.

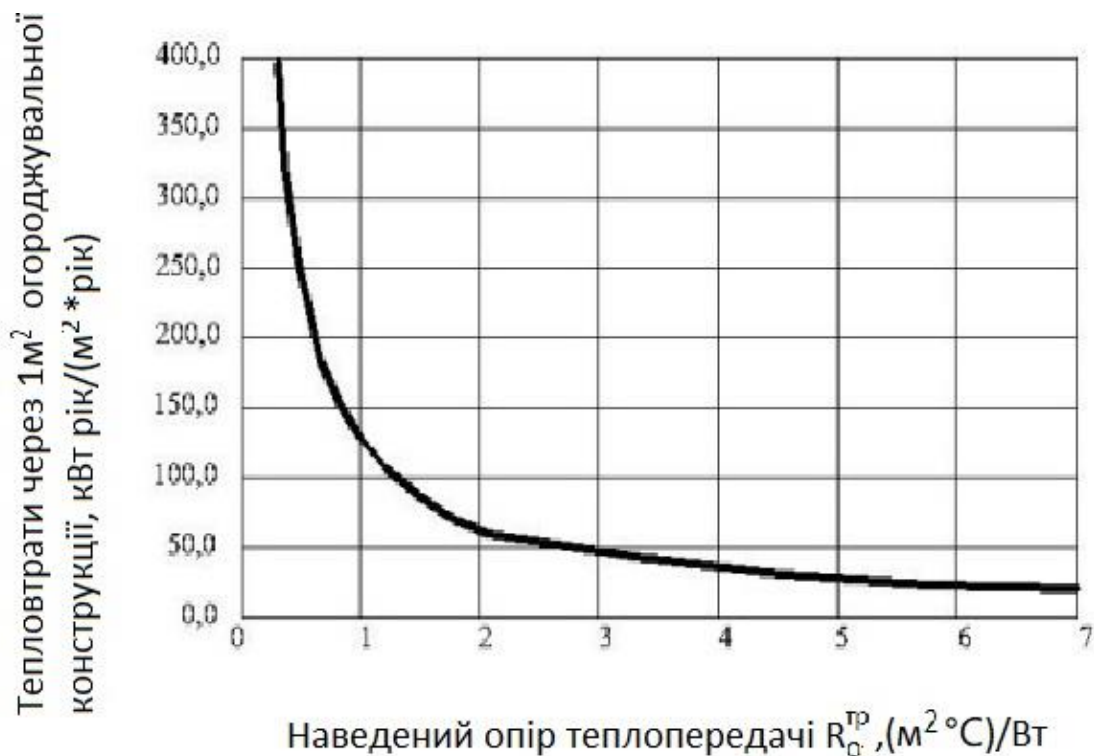


Рисунок 2.12 - Залежність тепловтрат через 1 м² захищає конструкції від наведеного опору теплопередачі (розрахунок за формулою $Q = 0,024 (\text{ГДОП} / R_{\text{то}}^{\text{тр}})$ де ГДОП - градусо-доба опалювального періоду, $^{\circ}\text{C}$ -добу/рік; Q - тепловтрати за опалювальний період через 1 м² конструкції, кВтг/(м²*рік)

Аналогічні результати досліджень енергетичного балансу 9-ти поверхового житлового будинку з природною вентиляцією. На рис.2.13 наведені опори теплопередачі ПР R_0 визначені за вимогами ДБН В.2.6-31:2021: з умов санітарно-гігієнічної безпеки та умов енергозбереження. З

кривої 1 видно, що при збільшенні ПР R_0 від 1,2 (сан.-гіг. безп.) до 3,2 (енергозб.), тобто в 2,7 рази, втрати втрати знижуються тільки на 23, 8%. Для Якутська зниження тепловтрат ще менше – 20,5 %. Наведені дані переконливо показують, що багаторазове збільшення наведеного опору теплопередачі не компенсується адекватним енергозбереженням. Разом з тим, підвищення значення $R_{то}^{тр}$ ускладнює конструкцію огорожі, змінює температурно-вологісні умови в огорожах, особливо в зовнішніх шарах, що призводить до деградації матеріалів і зниження довговічності огорож.

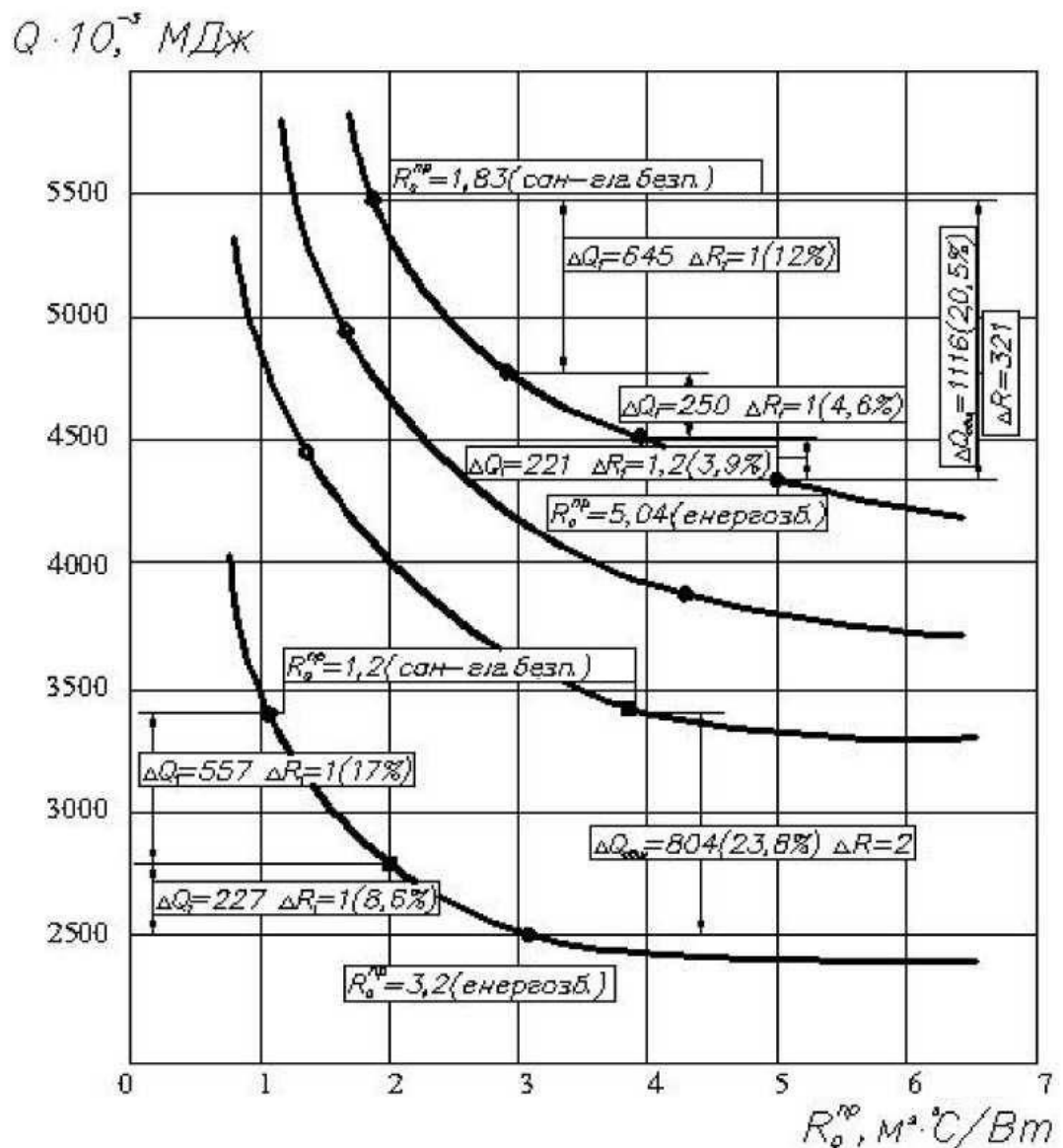


Рисунок 2.13 - Зниження тепловтрат житлового 9і поверхового будинку при збільшенні теплозахисних якостей зовнішніх стін: визначення зовнішніх стін з умов забезпечення санітарно - гігієнічної безпеки

Дослідження будівель після 5-10 років експлуатації, стіни яких мають підвищений опір теплопередачі [8], виявили утворення тріщин зовнішніх шарів штукатурки, нанесеної по сітці на теплоізоляційні матеріали, вже на 2-3 роки експлуатації. При цьому горизонтальні тріщини утворюються в результаті зсуву фасадної штукатурки по висоті будівлі. Тріщини, що розходяться убік від кутів віконних отворів, є наслідком неякісного армування цих зон. Велику роль у освіті тріщин фасадних штукатурок по теплоізоляційному шару відіграє заміна жорстких мінераловатних плит на напівжорсткі або навіть м'які та низька якість робіт.

Велике поширення набули багатошарові фасадні системи із зовнішнім шаром з лицьової керамічної цегли. Дефекти таких облицювальних верств стали виявлятися на 5-7 році експлуатації. Це тріщини на фасадах, руйнування лицьової керамічної цеглини в зоні перекриттів від механічних навантажень у вузлах сполучення облицювального шару з конструктивними елементами будівлі. Відсутність армування горизонтальних рядів кладки в облицювальному шарі, а також неякісна установка гнучких металевих зв'язків, що з'єднують облицювальний шар з конструктивними елементами стіни або їх недостатня кількість, є причиною вертикальних тріщин, а іноді - відшарування та випадання ділячної цегли і обрушення обцільного шару.

Великі руйнування облицювальної цеглини відбуваються в шарах, встановлених на металеві куточки, прикріплені до залізобетонних перекриттів. Конденсат, що утворюється на металевому куточку, підвищує вологість цегли та призводить до морозного руйнування.

Основною причиною появи передчасних дефектів у зовнішніх штукатурних шарах та цегляних облицювальних шарах є неврахування при проектуванні стін з підвищеним теплозахистом нових температурно-вологих умов у зовнішніх шарах стіни. Нових по відношенню до традиційних суцільних конструкцій стін. Умови роботи облицювання з лицьової керамічної цеглини в суцільній цегляній стіні, коли вона тичковими рядами з'єднується з

усією масою стіни, відрізнятись від умов роботи облицювального шару, встановленого після ефективної теплоізоляції. Насамперед, облицювання по цегляній стіні має високу теплову інерцію, т.к. працює зі стіною як єдина конструкція. Конструкція з високою тепловою інерцією менш схильна до коливань зовнішніх температур малих періодів. Окреме облицювання з цегли після шару теплоізоляції і скріплене з конструктивом стіни гнучкими зв'язками має невелику теплову інерцію і, отже, навіть добові коливання температур будуть змінювати її температурно-вологісний режим.

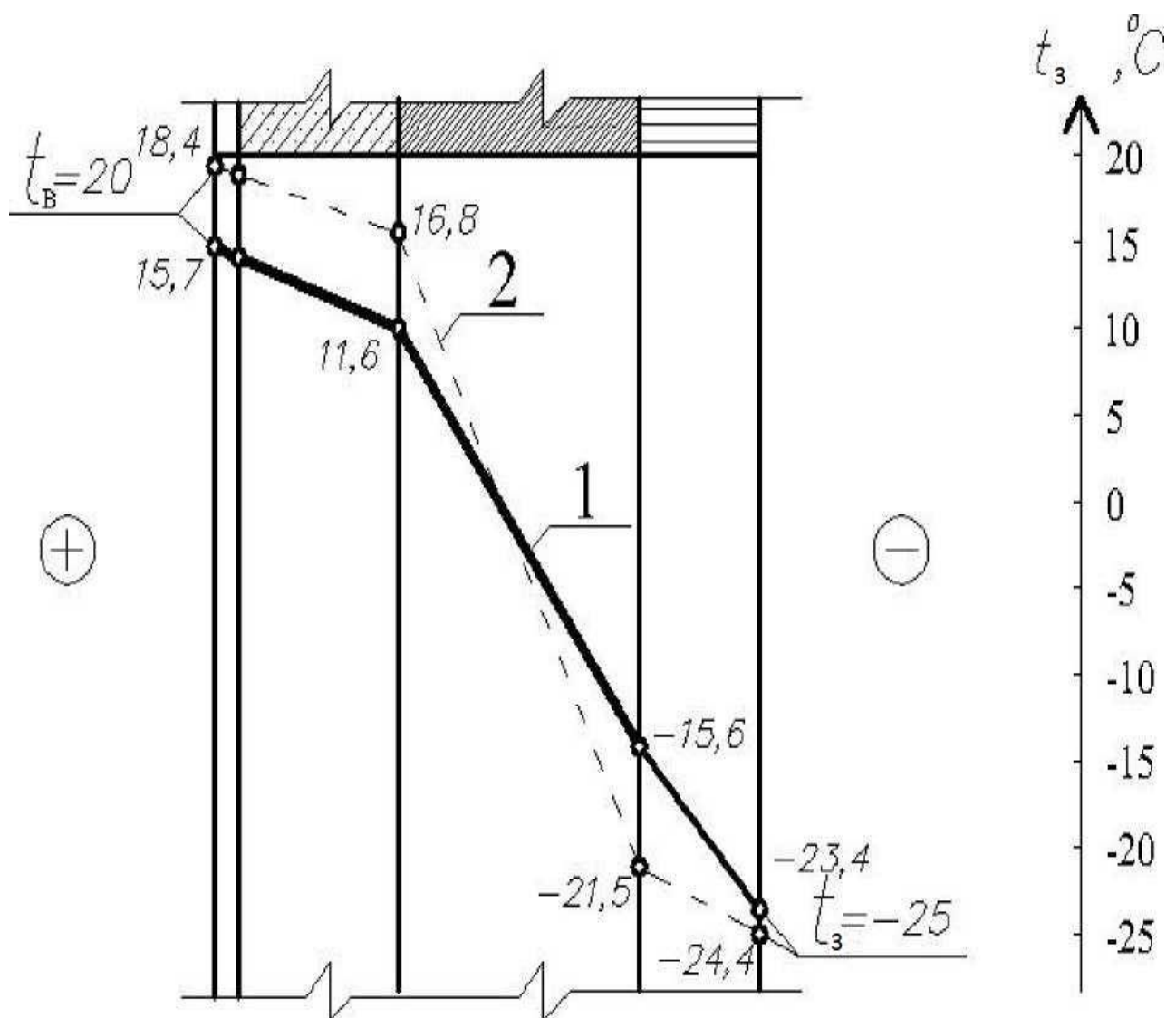


Рисунок 2.14 - Розподіл температур у зовнішній стіні з різним рівнем теплоізоляції. ($t_3 = -25^\circ\text{C}$, $t_B = 20^\circ\text{C}$), $1-R_0 = 1,2 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C) / Вт}$, $2-R_0 = 3,2 \text{ (m}^2 \cdot ^\circ\text{C) / Вт}$

Збільшення опору теплопередачі зовнішніх стін з 1,2 до 3,2 ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/Вт призводить до більш глибокого промерзання облицювального шару (з $-15,6^\circ\text{C}$ до $-21,5^\circ\text{C}$) (рис. 2.14).

Кількість циклів заморожування - відтавання в цегляному облицюванні товщиною 120мм буде більше, ніж у тому ж облицювання в суцільній цегляній стіні. Щорічно за осінньо-зимовий та зимово-весняний періоди таке облицювання з цегли 120 мм товщиною в кліматі Києва 6 разів схильна до заморожування та відтавання. В умовах більш континентального клімату кількість циклів зростатиме. При цих циклах облицювальний шар промерзатиме до $-2,7^\circ\text{C}$ при $R_0=1,2$, до $-6,8^\circ\text{C}$ при $R_0=2,2$ і до $-7,5^\circ\text{C}$ при $R_0=3,2$ ($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)/Вт . Таким чином, зі збільшенням рівня теплоізоляції стіни, зовнішній шар схильний до більш глибокого промерзання, отже, буде швидше руйнуватися.

Узагальнюючи проведені дослідження, зроблено спробу отримати залежність між збільшенням нормованої величини опору теплопередачі фасадних систем ТР R_0 та зниженням тривалості їх експлуатації до першого капітального ремонту. Вибірка представлена у табл.2.2.

За даними табл. 2.2 дійсно знижується термін до першого капітального ремонту зі зростанням опору теплопередачі огорож.

Однією з причин є той факт, що малу величину опору теплопередачі можна отримати в суцільних цегляних або кам'яних стінах, які не мають дефектів багат шарових стін з підвищеним опором теплопередачі.

Таблиця 2.2. Тривалість експлуатації фасадних систем до першого капітального ремонту в залежності від величини їх опору теплопередачі

Тривалість експлуатації фасадних систем до першого капітального ремонту, року	Температура повітря найбільш холодної п'ятиденки забезпеченістю 0,92 °С		
	-10	-20	-30
	Опір теплопередачі фасадних систем $R_{\text{то}}^{\text{тр}}$ (м ² *°С)/Вт		
>70	0,99	1,24	1,48
65	1,18	1,48	1,75
60	1,27	1,60	1,89
55	1,33	1,73	2,00
50	1,40	1,79	2,10
45	1,53	1,93	2,30
40	1,60	2,00	2,40
<35	1,80	2,20	2,60

Проведений аналіз причин утворення дефектів у зовнішніх шарах стін із підвищеним теплозахистом дозволяє зробити деякі висновки:

1. Проектування багат шарових фасадних систем з ефективними теплоізоляційними шарами ведеться за старими принципами проектування стін із суцільної цегляної кладки.

2. Підбір матеріалів для зовнішнього облицювання проводиться без урахування того факту, що в стінах підвищеного теплозахисту зовнішній шар знаходиться в інших температурно-вологих умовах (більшій вологості, нижчих температур, більшій кількості циклів заморожування та відтавання). Отже, потрібні інші, більш стійкі матеріали, ніж для стін із суцільної цегляної кладки.

3. Для реального проектування фасадних систем у проектних

організаціях потрібно детальніше дослідження температурно-влажностних умов багат шарових огорож і особливо зовнішніх шарів з урахуванням різних конструкцій фасадних систем, виконаних із різних матеріалів.

2.2. Паропроникність огорожувальних конструкцій

Залежно від умов експлуатації будівель матеріали огорожувальних конструкцій містять певну кількість вологи. За характером зволоження конструкцій, що огорожують, всю вологу можна розділити на два типи: так звану конструктивну, що пов'язано з недоліками конструктивного рішення (капілярна від ґрунтових основ, атмосферна від косих дощів і т.п.) та експлуатаційну, що пов'язано з сорбційним поглинанням вологи будівельними матеріалами з вологого повітря та з дифузією пароподібної вологи через огорожувальну конструкцію за рахунок різниці парціальних тисків вологого повітря всередині та зовні будівлі.

Капілярне та дощове зволоження конструкцій, що захищають, може бути усунене різними конструктивними рішеннями і тут не розглядається.

Експлуатаційна волога (сорбційне та дифузійне зволоження) є постійною весь термін життя будівлі та потребує детального розгляду.

З погляду теплозахисту будівлі це особливо важливо, оскільки зі зростанням вологості матеріалів огорож різко знижуються його теплозахисні властивості, т.к. теплопровідність води в 20 разів вища за теплопровідність повітря.

Сорбційне зволоження матеріалів огорожувальних конструкцій залежить від вологого режиму приміщень та кліматичних «зон вологості» місця будівництва.

Зниження опору теплопередачі за рахунок сорбційного зволоження враховано в нормативній літературі (ДБН В.2.6-31:2021) шляхом вибору відповідного значення коефіцієнта теплопровідності матеріалів: за графою А – для сухих та нормальних умов, за графою Б – для вологих умов ($\lambda_B > \lambda_A$).

Дифузне зволоження матеріалів огорожувальних конструкцій пов'язане з переміщенням пароподібної вологи в огорожі за рахунок різниці парціальних тисків водяної пари в повітрі приміщення та зовнішньому повітрі.

2.2.1. Загальні закономірності дифузії водяної пари через огорожу

Процес паропереносу багато в чому аналогічний процесу теплоперенесення, тому кількість пароподібної вологи, що проходить через огороження, може бути визначена за формулою:

$$G = \frac{e_v - e_z}{R_{по}}, \text{ мг/м}^2\text{Г}$$

де G - кількість водяної пари в мг, що проходить через 1м^2 протягом 1 години;

e_v і e_z - парціальний тиск водяної пари всередині та зовні будівлі відповідно, Па;

$R_{по}$ - опір паропроникненню огорожувальної конструкції, $(\text{м}^2\cdot\text{г}\cdot\text{Па})/\text{мг}$.

З формули випливає, що кількість водяної пари, що проходить через огорожу, тим вища, чим більша різниця $(e_v - e_z)$. Парціальний тиск водяної пари e , у свою чергу, залежить від температури повітря та його відносної вологості. Величина $(e_v - e_z)$ для середньої кліматичної зони України може перевищувати 1000 Па.

Наприклад, для нормальних температурно-влажностных умов приміщення з $t_v=20^\circ\text{C}$ і $\phi_v=50\%$, значення максимальної пружності водяної пари при $t_v=20^\circ\text{C}$, визначене по довідковій таблиці складе $e_v=2338$ Па.

За величиною відносної вологості повітря $\phi_v=50\%$ з використанням формули $\phi=(e/E)*100$ отримаємо величину дійсної пружності водяної пари в приміщенні:

$$e_B = \frac{\varphi_B * E_B}{100} = \frac{50 * 2338}{100} = 1169 \text{ Па}$$

Для зовнішнього повітря отримаємо аналогічно:

- для зимових умов з $t_3 = -20^\circ\text{C}$ та $\varphi_3 = 85\%$;

$E_3 = 103 \text{ Па}$ і $e_3 = 88 \text{ Па}$ і різниця $(e_B - e_3) = 1169 - 88 = 1081 \text{ Па}$;

- для весняно-осіннього періоду з $t_3 = 5^\circ\text{C}$ та $\varphi_3 = 70\%$;

$E_3 = 872 \text{ Па}$ і $e_3 = 610 \text{ Па}$ і різницю $(e_B - e_3) = 1169 - 610 = 559 \text{ Па}$.

З наведених прикладів стає очевидним, що найбільші потоки пароподібної вологи проходять в огорожу в зимовий період через більшу різницю $(e_B - e_3)$.

Відповідно до формули, кількість пароподібної вологи G , що проходить через огорожу, обернено пропорційно опору паропроникнення $R_{\text{ПО}}$, яке визначається за формулою:

$$R_{\text{ПК}} = \frac{\delta}{\mu} \cdot (m * \Gamma * \text{Па}) / \text{мг}$$

де δ - товщина одношарового огороження або окремого шару в багатошаровому огороженні, м;

μ - коефіцієнт паропроникності матеріалу шару, $\text{мг}/(\text{м} * \Gamma * \text{Па})$.

З формули випливає, що опір паропроникнення зростає зі збільшенням товщини шару δ або вибору матеріалу з меншим коефіцієнтом паропроникності μ .

Графічне уявлення про перенесення пароподібної вологи через огорожу представлено на рис. 2.15.

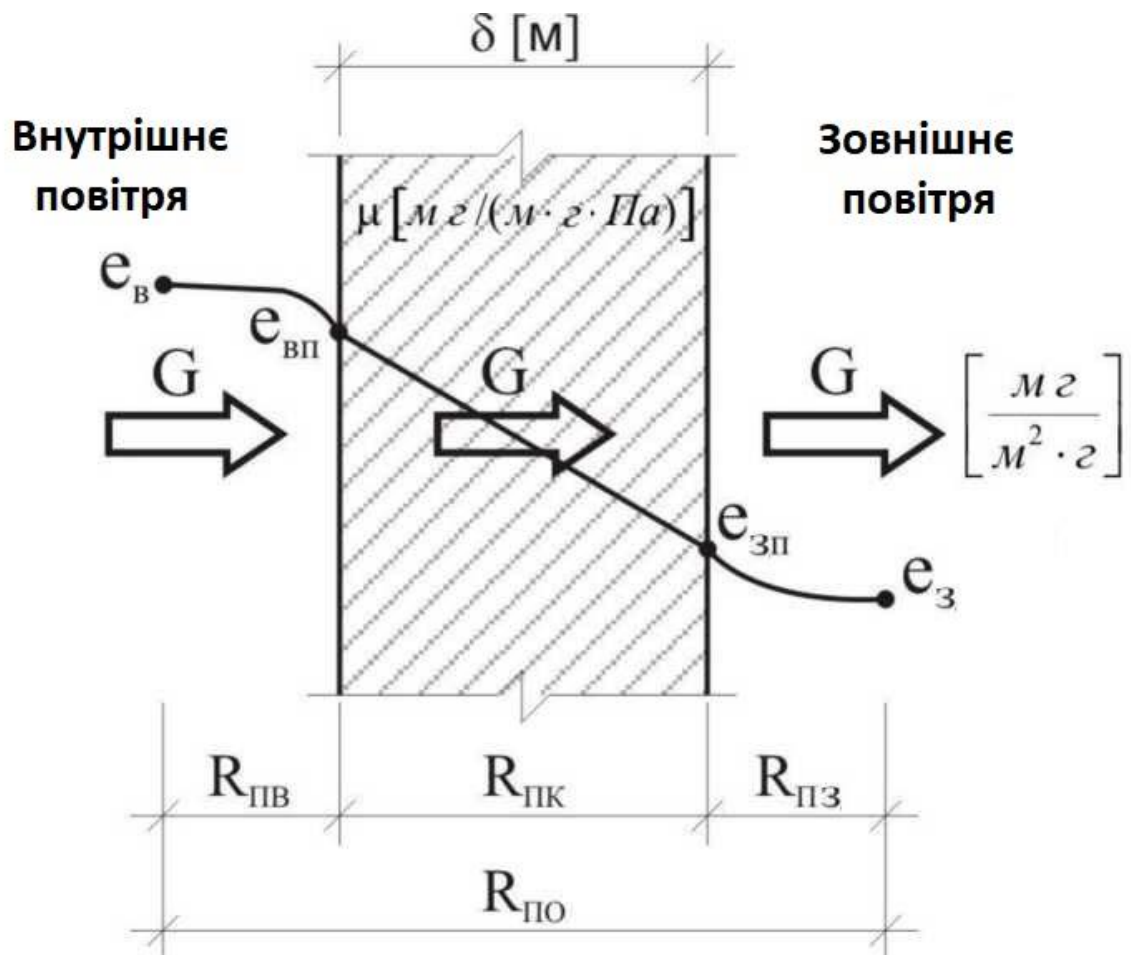


Рисунок 2.15 - Перенесення пароподібної вологи через одношарову захисну конструкцію

З рис. 2.15 випливає, що загальний опір паропроникненню огорожі складається з трьох складових:

$$R_{\text{по}} = R_{\text{пв}} + R_{\text{пк}} + R_{\text{пз}},$$

де $R_{\text{пв}}$ та $R_{\text{пз}}$ - опори вологообміну у внутрішньої та зовнішньої поверхонь огороження.

З невеликих значень $R_{\text{пв}}$ і $R_{\text{пз}}$ проти $R_{\text{пк}}$, вітчизняні і зарубіжні вчені нехтують значеннями $R_{\text{пв}}$ і $R_{\text{пз}}$, а опір паропроникненню огороження $R_{\text{по}}$ представляється лише величиною $R_{\text{пк}}$. При цьому значення $e_{\text{вп}}$ та $e_{\text{зп}}$ замінюються при розрахунках на e_v і e_z (рис.2.15).

Опір паропроникнення різних типів огорожувальних конструкцій $R_{\text{по}}$ зазвичай знаходиться в межах від 3 до 20 ($\text{м}^2 \cdot \text{г} \cdot \text{Па}$)/мг.

Якщо використовувати різницю $e_v - e_z$, отриману нами раніше для зимового періоду, що дорівнює 1081 Па, то можна оцінити величину потоків пароподібної вологи для огорож з різними $R_{по}$:

- Для $R_{по} = 3 \text{ (м}^2 \cdot \text{г} \cdot \text{Па)} / \text{мг}$ матимемо $G = 360,3 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{г}$
- Для $R_{по} = 20 \text{ (м}^2 \cdot \text{г} \cdot \text{Па)} / \text{мг}$ матимемо $G = 54,1 \text{ мг/м}^2 \cdot \text{г}$.

З цього випливає, що кількість дифузної пароподібної вологи в огороженнях може різнитися в 6 і більше разів. Очевидно, вплив вологи на властивості огорож буде також різнитися в рази.

Для аналізу процесу паропроникнення через огороження потрібна інформація про температури зовнішнього (t_z) та внутрішнього (t_v) повітря, а також температур перерізу огороження ($\tau_{вп}, \tau_x, \tau_{зп}$). Потрібна інформація про величину тиску водяної пари (максимального E і дійсного e) у зовнішньому та внутрішньому повітрі (E_v, E_z, e_v, e_z), а також по перерізу огорожі (E_x, e_x), відносної вологості зовнішнього повітря (ϕ_z) та повітря в приміщенні (ϕ_v).

Параметри клімату місця будівництва (t_z та ϕ_z) визначаються за нормативними документами або даними місцевих метеостанцій. Параметри мікроклімату приміщень (t_v та ϕ_v) визначаються призначенням приміщення за нормативними документами. Значення E визначаються за величиною температури за довідковими таблицями. Значення e визначаються за величинами E і ϕ з використанням формули відносної вологості повітря:

$$e = \frac{\phi * E}{100}, \text{Па.}$$

Значення e_x в різних сеченнях огорожуючої конструкції определяються по формуле:

$$e_x = e_v - \frac{e_v - e_z}{R_{по}} * R_{пх}$$

де $R_{по}$ та $R_{пх}$ - загальний опір паропроникнення огорожувальної

конструкції та опір паропроникнення частини конструкції від внутрішньої поверхні до перерізу х.

Значення температур у різних перерізах огорожувальної конструкції (τ_x) визначаються за аналогічною формулою:

$$\tau_x = t_B - \frac{t_B - t_3}{R_{TO}} * R_{TX}$$

де R_{TO} та R_{TX} - загальний опір теплопередачі огорожувальної конструкції та опір теплопередачі частини конструкції від внутрішньої поверхні до перерізу х, включаючи опір теплопередачі R_{TB} .

Отримані значення t , τ , ϵ та E наносять на переріз огорожувальної конструкції та проводять аналіз зволоження. Слід зазначити, що з достатньою точністю багато з перерахованих параметрів можуть бути отримані не тільки розрахунковим шляхом за формулами, але і графічно, якщо перетин огорожувальної конструкції представляти в масштабі опору теплопередачі- R_t і опору паропроникнення- R_{Π} . У цьому випадку всі залежності (t - R_t) і (ϵ , E - R_{Π}) виявляються лінійною за винятком залежності (E - R_{Π}) для одношарової огорожувальної конструкції, тому що залежність E від t має вигляд параболи.

2.2.2. Зволоження одношарових огорож

На рис. 2.16 представлено розподіл температур (а) та максимальних пружностей водяної пари (б) за перерізом конструкції.

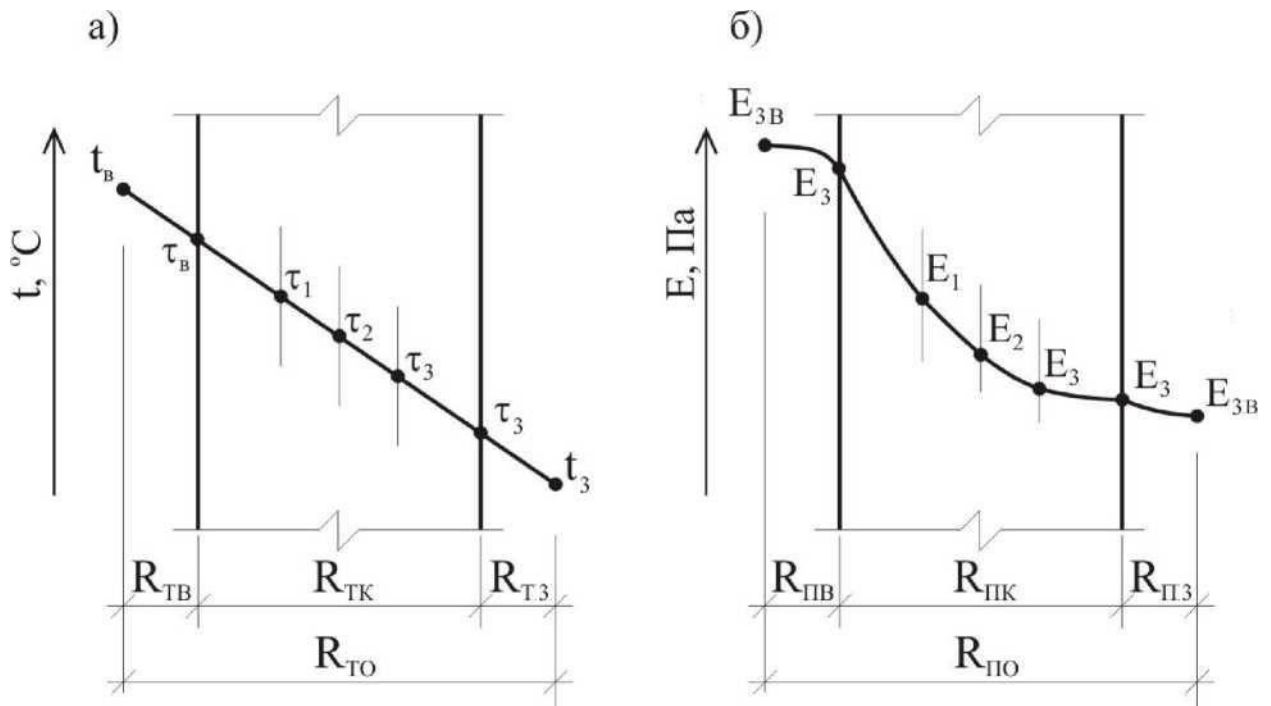


Рисунок 2.16 - Залежності $t - R_T$ (а) та $E - R_P$ (б) для одношарових конструкцій, що захищають.

Слід звернути увагу на те, що залежність $t-R_m$ лінійна, а залежність $E - R_P$ має вигляд параболи і для більш точної побудови зазначеної параболи необхідно мати значення температур у 2-3 точках перерізу конструкції, як і показано на рис. 2.16, б.

Як було встановлено раніше, $R_{ПВ}$ і $R_{ПЗ}$ дуже малі і в подальших розрахунках не враховуються, тому в подальших розрахунках загальний опір паропроникненню конструкції $R_{ПО}$ буде представлено лише величиною КПК (опір паропроникненню конструкції стіни), а значення E_B , e_B , E_3 , e_3 , що відносяться до внутрішнього та зовнішнього повітря, будуть віднесені до внутрішньої та зовнішньої поверхні огорожі.

При визначенні зони конденсації пароподібної вологи виходимо з правила, що всередині конструкції не може бути більше E , оскільки ця обставина і викликає випадання конденсату. Якщо судити з рис.2.17, то зона конденсації повинна лежати між точками перетину кривої E_B-E_3 з прямою $e_B - e_3$ (на рис.2.17 позначені літерами А і Б).

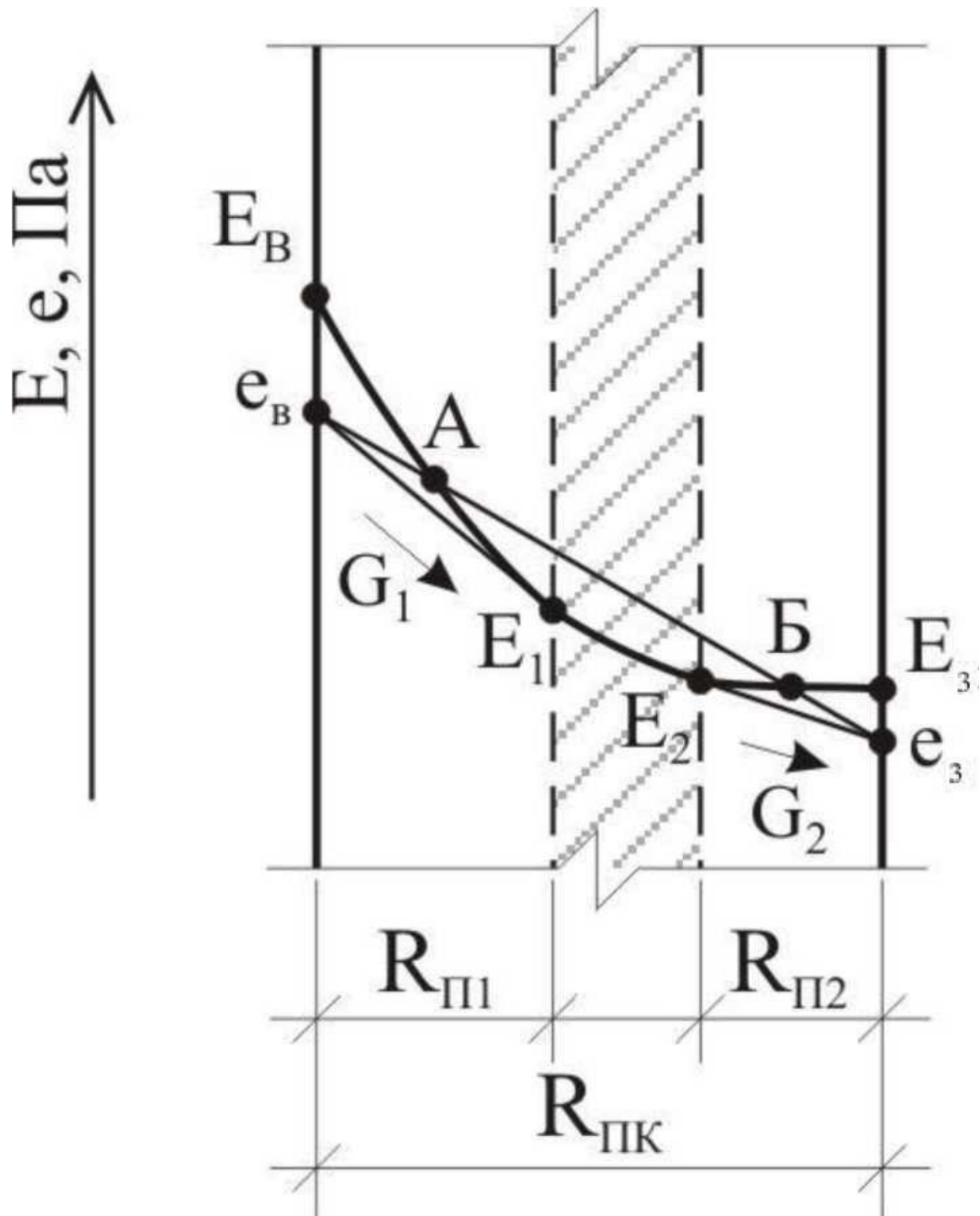


Рисунок 2.17 - Максимальна (E) та дійсна (e) пружності водяної пари в одношаровій конструкції

Однак, за загальноприйнятою практикою, і вітчизняними, і зарубіжними дослідниками прийнято зону конденсації виділяти за точками перетину дотичних з точок e_B і e_3 до кривої $E_B - E_3$. На рис.2.17 це точки E_1 та E_2 та заштрихована область.

2.2.3. Зволоження багатошарових огорож

Двошарова огорожа складається, як правило, з конструкційного шару, матеріал якого має високі щільність, міцність та низький коефіцієнт паропроникності та теплоізоляційного шару, матеріал якого має низькі щільність, міцність та високий коефіцієнт паропроникності.

З появою в огороженні двох шарів з різними характеристиками матеріалів, виникають проблеми, які потребують аналізу. З формальної точки зору величина опорів теплопередачі та паропроникнення двошарового огороження (а також багатошарового) не залежить від взаємного розташування шарів:

$$R_{TK} = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} = R_{T1} + R_{T2} = R_{T2} + R_{T1} = R_{TK};$$

$$R_{PK} = \frac{\delta_1}{\mu_1} + \frac{\delta_2}{\mu_2} = R_{П1} + R_{П2} = R_{П2} + R_{П1} = R_{PK}.$$

Однак, температура тх, а отже і максимальна пружність пари всередині огорожі Ех, залежать від взаємного розташування шарів. Аналогічно, дійсна пружність водяної пари всередині огорожі їх залежатиме від того, який шар розташований з боку приміщення – R_{П1} або R_{П2}.

Таким чином, температура, максимальна і дійсна пружності водяної пари (τх, Ех, ех) всередині огороження залежить від взаємного розташування шарів, отже, умови паропроникнення та конденсації водяної пари в огорожі також залежать від взаємного розташування шарів.

Розглянемо конкретний приклад двошарового огороження, що складається з монолітного залізобетону та волокнистого теплоізоляційного матеріалу, результати розрахунку нанесені на перерізи конструкцій, що захищають (рис.2.18)

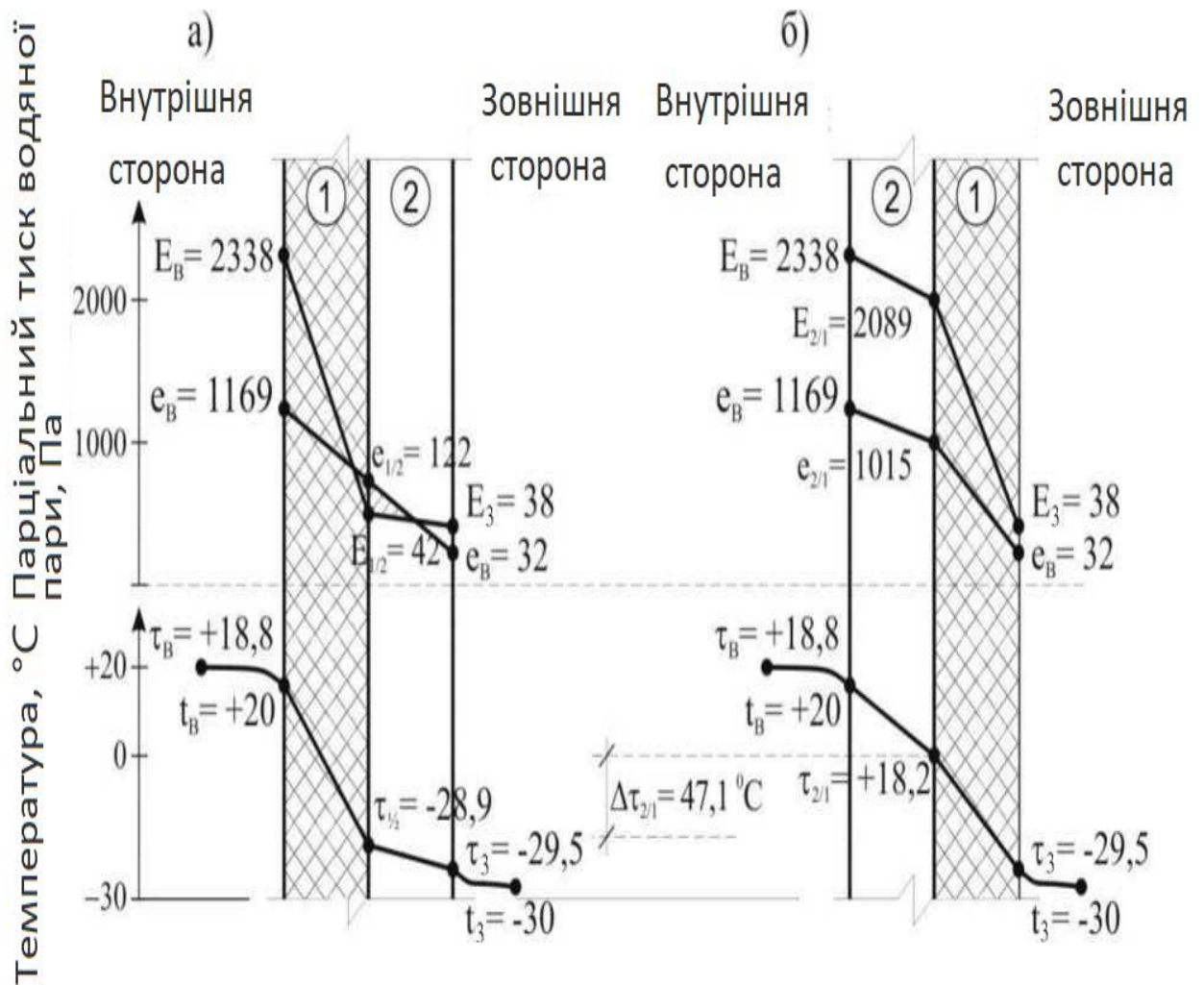


Рисунок 2.18 - Розподіл температур (t і τ), дійсних (e) та максимальних (E) тисків водяної пари по перерізу зовнішньої стіни: 1 - теплоізоляційний шар; 2- Заштрихована трикутна область на рис.(а) - зона конденсації водяної пари

З рис.2.18 видно, що різниці в температурах на контакті залізобетон-теплоізоляційний матеріал за схемами а) і б) розрізняються на $47,1^{\circ}\text{C}$ ($\Delta t = +18,2 - (-28,9) = 47,1^{\circ}\text{C}$), що і визначило великі відмінності в значеннях E і e в аналізованих варіантах та процесах пароперенесення в цих огорожувальних конструкціях.

З рис. 2.18 видно також, що у шарі 1/2 (рис.2.18, а) $e_{1/2}$ виявилася вищою за $E_{1/2}$. Це фізично, т.к. при $e_{1/2} = E_{1/2}$ перетин починає випадати конденсат. Розташування шарів за рис. 2.18 б виключає конденсацію водяної пари всередині стіни, тому що по всьому перерізу $E > e$.

Тришарова огорожа має більшу невизначеність у процесах паропереносу, ніж двошарова, за рахунок появи зовнішнього облицювального шару. У переважній більшості відомих конструкцій огорож зовнішній облицювальний шар має меншу паропроникність, ніж теплоізоляційний, у зв'язку з чим така конструкція передбачає конденсацію водяної пари в огорожі.

Розподіл температур у тришарових конструкціях, що захищають, визначається за графіком (рис.2.19,а) або розрахунковим шляхом за формулою. За отриманими значеннями температур будується розподіл максимальних пружностей водяної пари перерізів конструкції (рис.2.19,б).

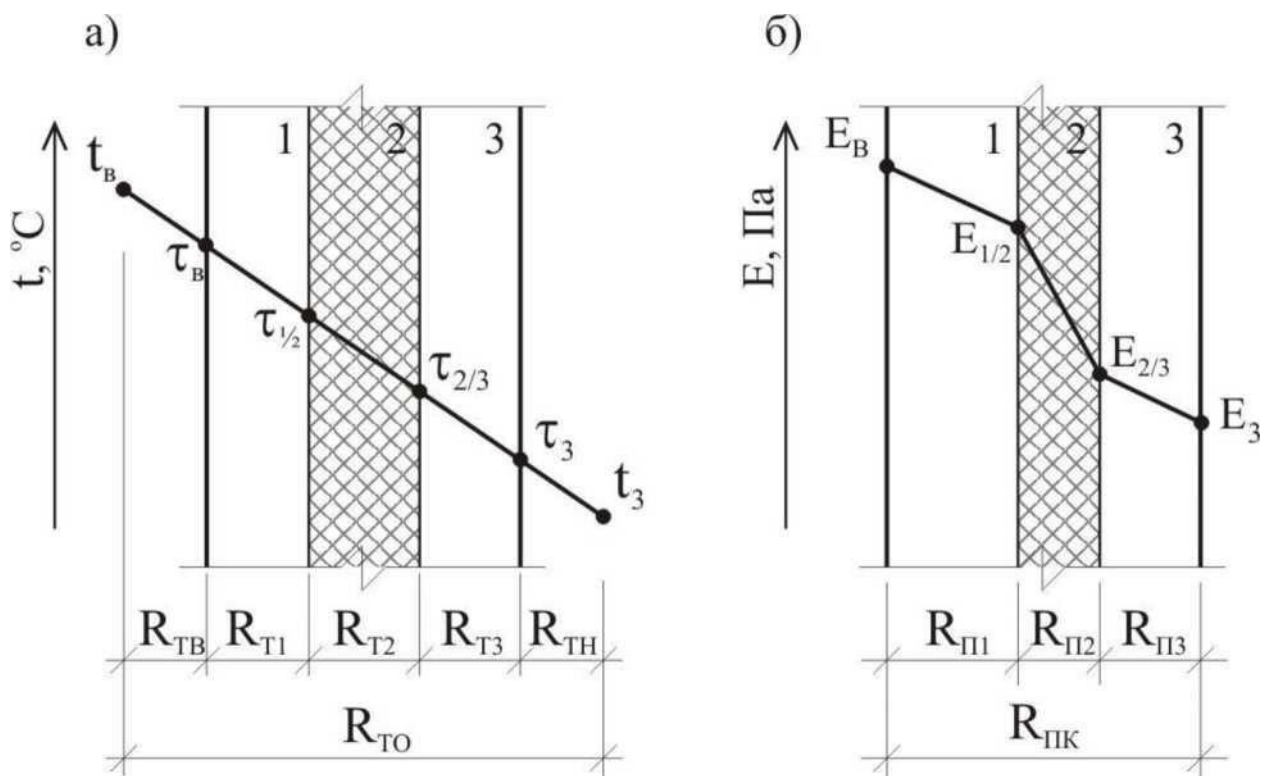


Рисунок 2.19 - Розподіл температур (а) та максимальних парціальних тисків водяної пари (б) у тришаровій огорожувальній конструкції

Розподіл температур перерізу конструкції буде лінійним, якщо її перетин побудовано в масштабі RT . Залежність E від t буде параболічною (як в одношаровій конструкції) тільки в шарах з високим R_{Π} і одночасно з високим RT . В інших випадках ця залежність буде лінійною (як і показано на рис.2.19 б).

Зміна дійсної пружності водяної пари всередині стіни буде лінійною,

якщо товщина огорожувальної конструкції виражена в масштабі опору паропроникнення R_p Дійсна пружність водяної пари (e) всередині стіни не може бути вищою за максимальну (E), т.к. в у цьому випадку випадає конденсат. Зіставляючи штрихову лінію $e_B - e_3$ в перерізі 2/3 з величиною $E_{2/3}$, можна дійти невтішного висновку у тому, що у цьому перерізі перебуває площину конденсації і випадатиме конденсат, тобто. $E_{2/3} = E_K$. Розподіли тисків $E_B - E_K$ та $E_K - E_3$ будуть лінійними, т.к. додатковий приплив чи видалення вологи у конструкції відсутня.

2.3 Висновки до розділу 2

Таким чином, в огорожувальних конструкціях, що складаються з двох (або декількох) шарів, взаємне розташування шарів є визначальним з точки зору утворення конденсату та зволоження огорожувальних конструкцій.

РОЗДІЛ 3

КЛІМАТИЧНІ ФАКТОРИ ТА ЇХ РОЗРАХУНКОВІ ПАРАМЕТРИ ДЛЯ ОЦІНКИ ТЕПЛОЗАХИСТИ БУДІВЕЛЬ

З давніх-давен людина намагається використовувати позитивні впливи кліматичних факторів і захиститися або звести до мінімуму негативний вплив клімату. Підсумком цих спроб стали народні типи житла для різних кліматичних умов та рекомендації щодо планування та влаштування міст.

Кліматологія як наука почала розвиватися одночасно з розвитком науки, техніки, сільського господарства та інших галузей економіки лише у ХХ столітті. В «Урочному положенні» 1912 року видання, де докладно описано будівельні матеріали, роботи та наведено норми проектування будівель різного призначення, питання обліку клімату не порушені. Єдиний припис, знайдений у цитованій роботі, стосується товщини стін для житлових будівель - «найменша товщина зовнішніх стін із цегли узаконена у нас, внаслідок кліматичних умов, для північної та середньої смуги в 2,5 цегли (64см, або 15 вершків, або 0,30).

Перші нормативні документи з обґрунтування розрахункових величин кліматичних чинників нашої країні з'явилися торік у 1930-ті роки.

В даний час існує низка нормативних документів та навчальної літератури, де представлені деякі обґрунтування вибору розрахункових величин кліматичних факторів. Однак це питання вимагає подальшого дослідження.

У цьому розділі розглянуто кліматичні фактори, які використовуються при вирішенні задач теплозахисту будівель. Вводиться поняття розрахунковий параметр кліматичного чинника. Величина розрахункового параметра навіть для одного кліматичного фактора (наприклад, температури повітря) буде різною для різних фізичних процесів в огороженнях (теплопередача, паропроникність, повітропроникність). Єдиним буде методологічний підхід до визначення величини розрахункового параметра кліматичного фактора:

розрахунковий параметр - це така величина кліматичного фактора, коли адекватно моделюються експлуатаційні процеси в огороженнях.

3.1. Загальні відомості про кліматичні фактори

О основних кліматичних факторів, які вимагають обліку під час проектування теплозахисту будівель, належать: сонячна радіація, температура та вологість повітря, вітер.

Такі кліматичні чинники, як температура і вологість повітря, мають властивість скалярної характеристики, тоді як сонячна радіація та вітер є векторними, що зумовлює вимоги до орієнтації будівель та споруд по країнах світу.

Основою вивчення кліматичних чинників є результати спостережень за елементами клімату, отримані на метеорологічних станціях.

В Україні ці спостереження регулярно ведуться з XIX століття на невеликій кількості метеостанцій 3 рази на добу. З розвитком промисловості, транспорту, сільського господарства неухильно розвивалася мережа метеостанцій та кількість спостережень на добу. З 1966 року спостереження ведуться вже 8 разів на добу та діє понад 10000 метеостанцій. Нині ряді станцій спостереження ведуться щогодини.

На основі обробки первинних даних метеостанцій про елементи клімату набувають різні статистичні характеристики клімату:

- середні значення;
- екстремальні (найбільші та найменші);
- -амплітуди;
- -повторюваності;
- -безперервні тривалості.

Середні значення. Середня добова визначається із усіх значень даного метеорологічного елемента, виміряних протягом доби. Середнє місячне виходить із усіх середніх добових значень за цей місяць. Середнє річне - із усіх

середніх місячних значень.

Екстремальні значення. Середні значення чинників дозволяють порівнювати клімати різних районів, але їх замало повної характеристики кліматичних умов конкретної території.

У кліматичних довідниках наводяться дані щодо:

- абсолютним екстремумам (максимальним та мінімальним) метеорологічного фактора, який спостерігався один раз за весь період спостережень;
- середнім з річних екстремальних величин;
- середнім екстремумам за місяць (середні значення з максимумів за кожен день).

Абсолютні екстремуми дуже рідкісні, оскільки визначаються атмосферними процесами, що рідко спостерігаються, в той час як середні з екстремальних величин більш стійкі в силу більшої повторюваності для певних територій.

Амплітуди. У метеорології та кліматології амплітудою називають різницю між максимальним та мінімальним значеннями фактора за певний відрізок часу (година, доба, місяць, рік тощо). Цим визначається нагрівання та охолодження матеріалів будівельних конструкцій, зволоження та висушування, заморожування та відтавання тощо. Річна амплітуда середніх місячних температур повітря найспекотнішого та найхолоднішого місяця характеризує ступінь континентальності клімату, що, у свою чергу, диктує вимоги до генеральних планів забудови міста, об'ємно-планувальних рішень будівель, вибору конструкцій огорож будівель.

Повторюваності. Цей показник визначає частоту спостереження певної величини кліматичного чинника у цій місцевості. Наприклад, повторюваність вітру більша за певну величину (для розрахунку вітрових навантажень) або повторюваність вітру по румбах (для оцінки панівних вітрів), повторюваність негативних температур зовнішнього повітря нижче заданої величини (для теплотехнічних розрахунків огорож будівель) і т.д. У кліматології поняття

«повторюваність» та «імовірність» нерідко ототожнюють та використовують цю характеристику для ймовірнісного прогнозу.

Безперервна тривалість дії кліматичного фактора є важливою характеристикою клімату. Безперервна тривалість дощів визначає ступінь зволоження конструкцій, те ж саме - інтенсивних дощів диктує вимоги до технічних рішень зливого водовідведення та водовідведення з покрівель будівель. Безперервна тривалість негативних температур повітря нижче за певну величину диктує вимоги до масивності або теплової інерції огорож будівель.

Описані вище первинні дані метеостанцій є основою наступних розрахунків кліматичних чинників.

Багато з перелічених вище статистичних характеристик кліматичних факторів увійшли до нормативних документів з будівельної кліматології, вивчення яких дозволяє отримати первинне уявлення про клімат місцевості. Насамперед, це аналіз добового та річного перебігу основних кліматичних факторів.

3.2 Основні кліматичні фактори для умов м.Львів

На рис. 3.1 представлено річний перебіг температури зовнішнього повітря у Львові (за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010) та виділено найбільш холодний місяць – (січень, 1) та найбільш теплий – (липень, 2). Різниця між середньомісячними температурами липня та січня вказує на континентальність клімату. Чим вона більша, тим континентальніший клімат. Середньорічна температура (поз. 3 на рис.3.1) є узагальненою характеристикою «суворості» клімату та непрямою характеристикою глибини промерзання ґрунтів.

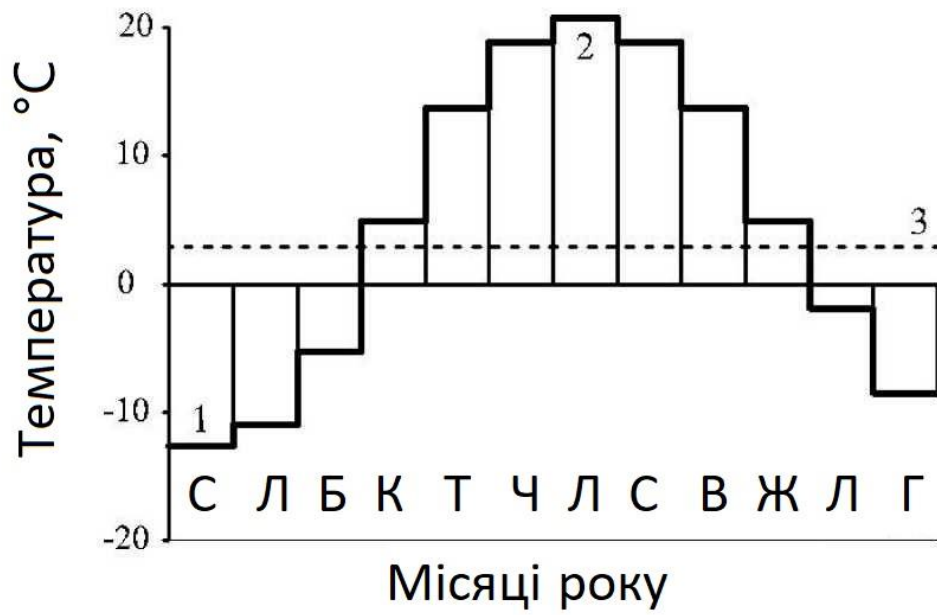


Рисунок 3.1 -Річний перебіг температури зовнішнього повітря у Львові (середньомісячні значення)

Характеристика вологості повітря за даними ДСТУ представлена [6] на рис. 3.2 у вигляді щомісячних характеристик відносної та абсолютної вологості повітря.

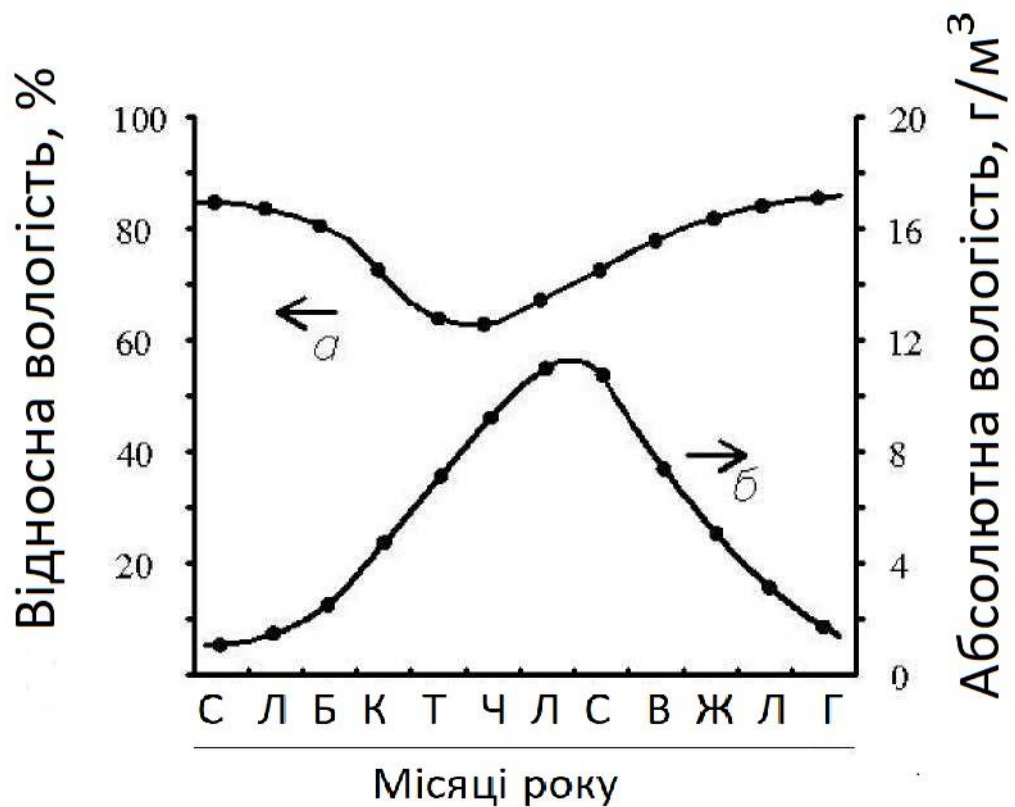


Рисунок 3.2 - Відносна (а) та абсолютна (б) вологість повітря у Львові

Аналіз даних рис. 3.2 показує, що у зимові місяці у Львові висока відносна вологість повітря (понад 80%), що вказує на можливу ймовірність точки роси (тумани, іній, паморозь). Водночас, у зимові місяці повітря містить невелику кількість вологи – близько 2 г/м³. Цей факт говорить про те, що зимове повітря в Казані сухе, а при нормативному природному повітрообміні сухе зовнішнє повітря, перемішуючись з вологим повітрям приміщень, встановлює відносну вологість повітря в приміщення відповідно до ДСТУ EN 15251:2011, тобто. у діапазоні 30-45%.

Ветровой режим местности влияет на теплопотери здания через процессы воздухопроницания ограждающих конструкций и изменения условий теплообмена у наружных поверхностей ограждений. Особенно это проявляется в зимние месяцы, в нормах по отоплению зданий предусматривается увеличение теплопотерь на 5-10% в зависимости от защищенности ограждений от ветра. На рис. 3.3 приведена роза ветров для января в условиях Львова по данным СНиП 2.01.01-82 [57].

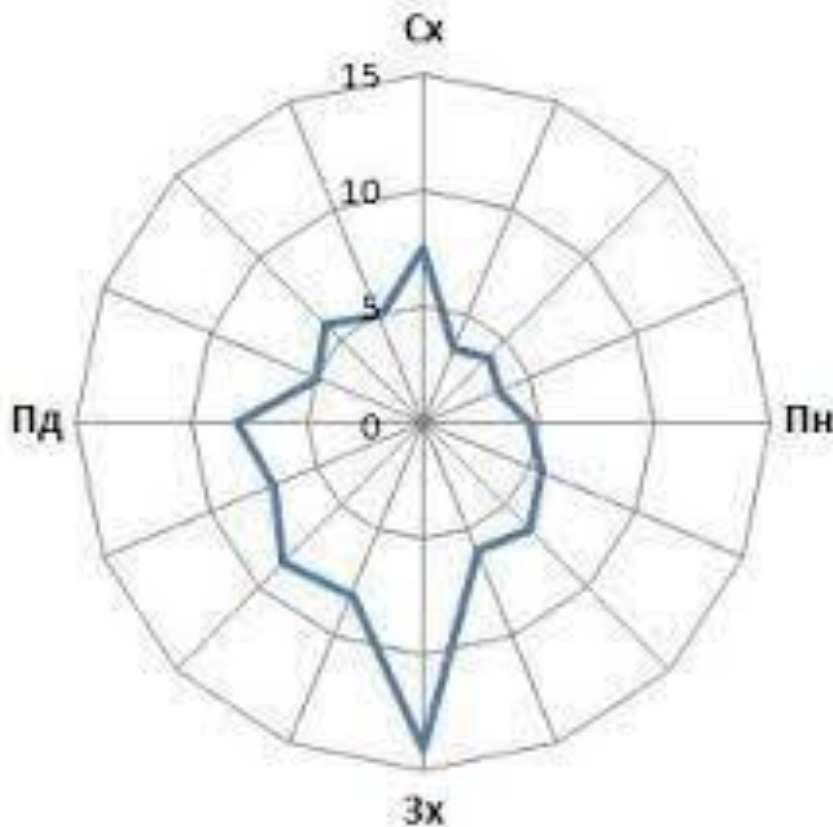


Рисунок 3.3 - Роза вітрів у січні місяці в умовах Львова

З рис.3.3 видно, що взимку у Львові переважаючими вітрами є південні та південно-західні. Швидкість вітру у цих напрямках також максимальна. У зв'язку з цим фасади будівель, орієнтовані на південь і південний схід, матимуть підвищені тепловтрати, але також і більший природний повітрообмін приміщень за рахунок збільшення вітрового натиску.

Дані про вітровий режим, що містяться в нормативних документах, дуже обмежені. Для цілей теплозахисту будівель певний інтерес представляє повторюваність вітру за румбами за кожний місяць і щомісячна ймовірність вітру різних швидкостей (табл.3.1 і 3.2).

Таблиця 3.1- Можливість напрям вітру (%)

Місяці	Румби							
	Пн.	Пн.Сх.	Сх.	Пд.Сх.	Пд.	Пд.Зх.	Зх.	Пн.Зх.
Січень	9	5	9	18	20	15	14	ю
Лютий	12	8	2	22	22	14	Ю	ю
Березень	7	4	4	17	24	22	16	6
Квітень	7	6	10	15	18	22	13	9
Травень	14	12	12	11	11	12	16	12
Червень	11	7	10	10	9	15	23	15
Липень	13	12	10	10	11	И	17	16
Серпень	8	10	13	14	12	12	15	16
Вересень	11	5	6	14	15	18	17	14
Жовтень	5	3	2	13	24	23	21	9
Листопад	10	3	3	14	18	25	15	12
Грудень	9	6	7	25	18	16	8	П
Рік	9	7	8	14	17	18	15	12

З табл. 3.1 видно, що для Львова щомісяця є переважаючий вітер із ймовірністю від 16 до 25%, а для «суміжних» напрямів ця ймовірність може досягати 40% і більше (наприклад, у лютому ймовірність суми «суміжних» напрямів становить 44%).

З табл.3.1 видно також, що щомісячне переважне напрям вітрів має чітко виражений річний хід: від південно-східного та південного у січні, через західний і північно-західний у червні-липні і назад до південно-східного та південного у грудні.

Таблиця 3.2-Вірогідність вітру різної швидкості (%)

Швидкість м/с	Місяці												
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
0-2	30	32	26	28	31	34	38	40	31	35	24	24	30
3-4	20	29	25	27	22	26	28	28	23	27	31	25	26
5-6	22	20	22	20	24	23	21	22	25	24	24	30	23
7-8	13	11	15	12	13	12	8	5	12	12	12	12	12
9-10	11	7	8	10	7	4	3	3	6	9	6	7	7
11-14	3	1	3	3	3	1	2	2	2	3	3	2	2
>15	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0

Як випливає з табл.3.2, для умов Львова ймовірність вітру різних швидкостей по місяцях не має великих відмінностей, тому без великої помилки в розрахунках можна використовувати середньорічні ймовірності різних швидкостей вітру.

На рис. 3.4 наведено криві інтенсивності сонячного опромінення (теплового потоку) горизонтальної поверхні при безхмарному небі для широти Львова (49°50'17" пн.ш.). З графіка видно потужність теплового потоку

сонячного опромінення у будь-яку годину доби та за кожен місяць (для спрощення креслення криві за липень – грудень не показано). Графік побудований за даними [6].

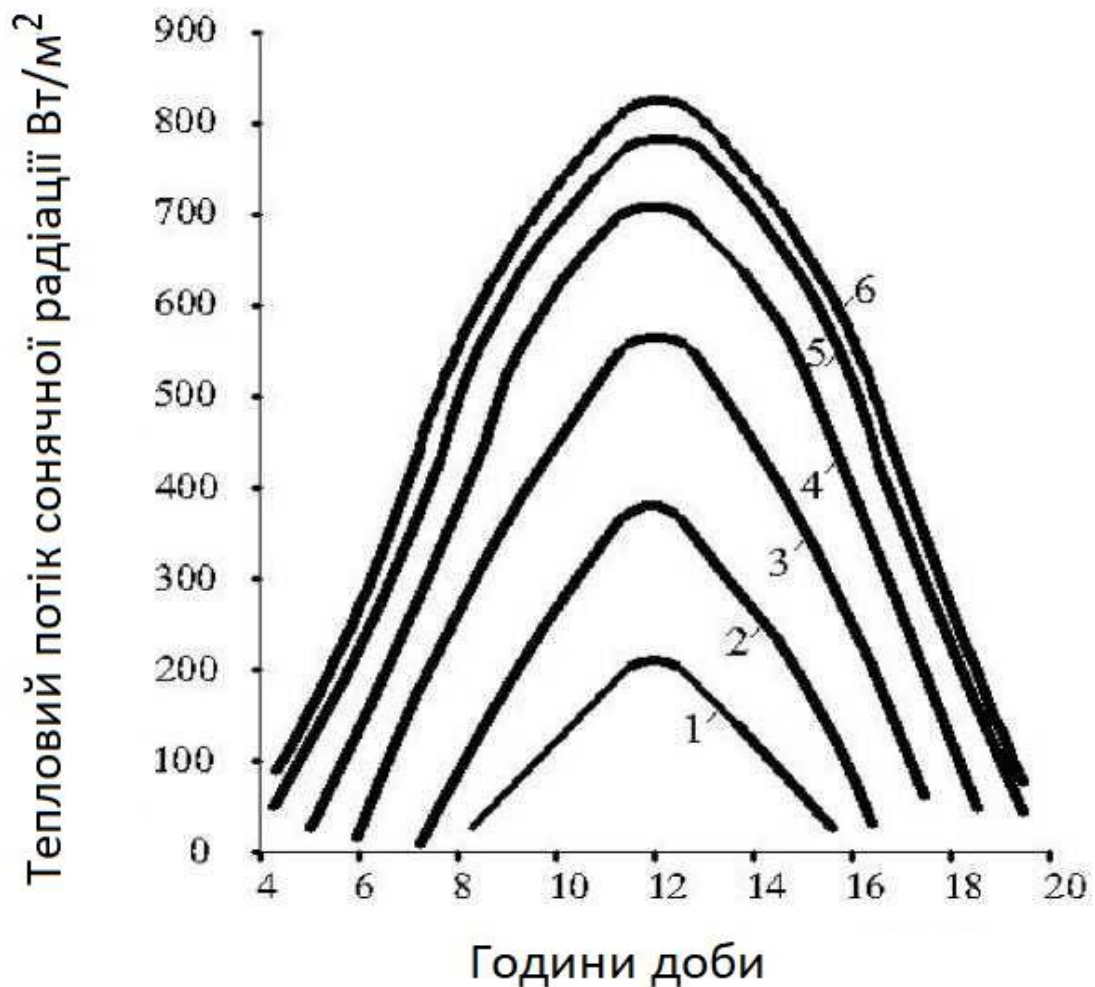


Рисунок 3.4 - Інтенсивність сумарної сонячної радіації (тепловий потік) на горизонтальну поверхню при безхмарному небі для широти місцевості 49° (широта Львова) 1,2,3...відповідно січень, лютий, березень, квітень, травень, червень.

Щомісячні суми тепла сонячної радіації на горизонтальну поверхню при безхмарному небі для широти місцевості 49° (широта Львова) наведено на рис.3.5.

Сонячна радіація за рахунок потужного теплового потоку викликає перегрів поверхонь конструкцій, що огорожують, а також покриттів тротуарів, магістралей і міських площ. Суми тепла, що приходять до цих

поверхонь, накопичуються в огорожах та дорожніх покриттях та загалом піднімають радіаційне тло міських територій та приміщень будівель у літні періоди року.

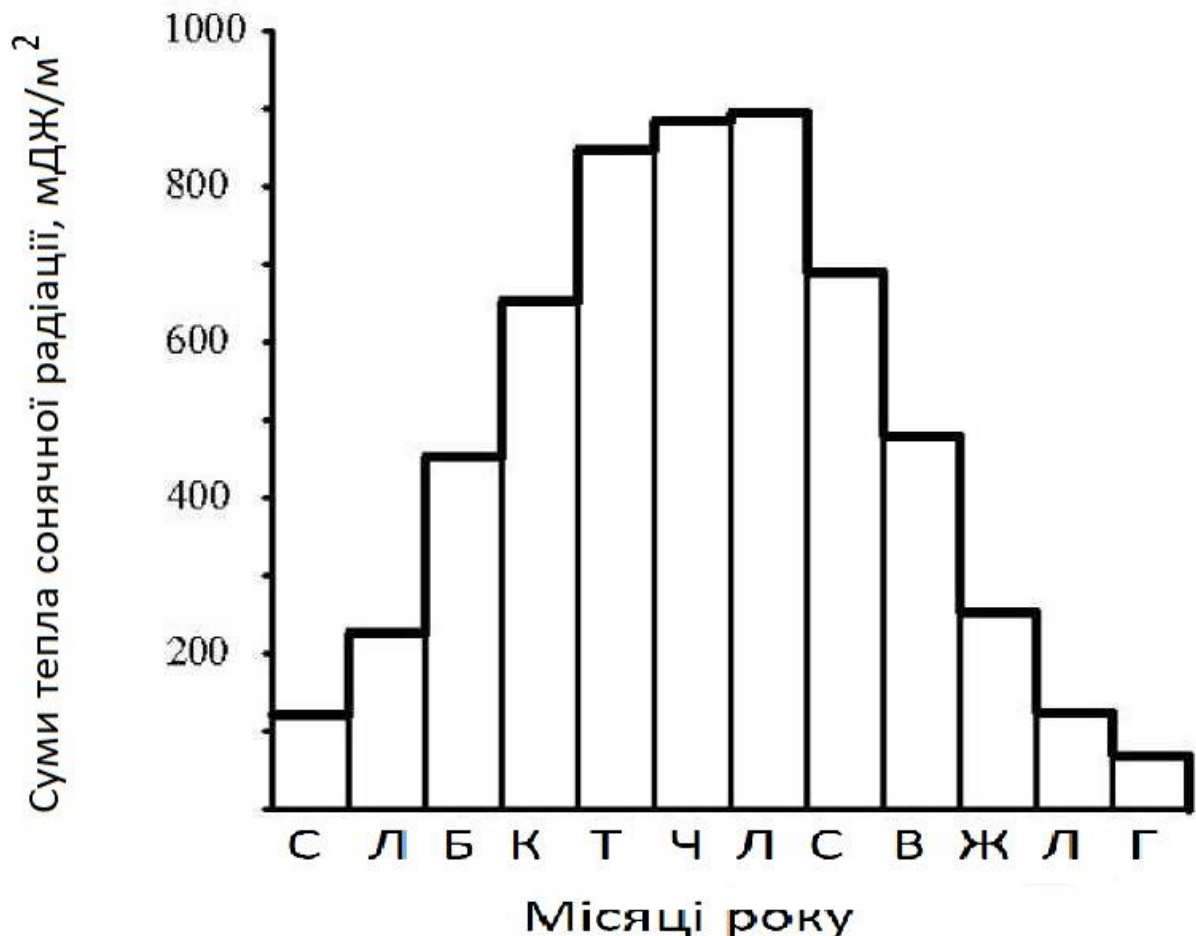


Рисунок 3.5 - Суми тепла, що приходить до горизонтальної поверхні за кожен місяць року (при безхмарному небі, широта 49°)

Первинний аналіз клімату Львова здійснено за даними ДСТУ різних років видань. Параметри клімату, наведені у ДСТУ з будівельної кліматології, мають дві суттєві характеристики.

По - перше, параметри кліматичних факторів, наведені в ДСТУ з кліматології, мають загальний характер. За рідкісним винятком вони «не прив'язані» до властивостей конструкцій, що захищають, і будівель в цілому.

По-друге, параметри кліматичних факторів, наведені в ДСТУ з кліматології та кліматичних довідників, є середніми значеннями (середньомісячні, середньорічні тощо) за багаторічними рядами спостережень. Ці дані мають коефіцієнт забезпеченості, що дорівнює 0,5.

Коефіцієнт забезпеченості $K_{\text{заб}}$ є відношенням числа випадків появи величини фактора до всього числа випадків спостережень. Розмір $K_{\text{заб}} = 0,5$ показує, що у 50% випадків кліматичний чинник відповідатиме величині, записаної в ДСТУ.

В окремі періоди або роки відхилення середніх багаторічних значень можуть бути значними. Так, у ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 наведено дані щодо амплітуд температури зовнішнього повітря, які представлені в табл. 3.3 порівняно із середньомісячними температурами повітря.

Таблиця 3.3 - Середньомісячні температури зовнішнього повітря та їх амплітуди для Львова

	Місяці року											
	С	Л	Б	К	Т	Ч	Л	С	В	Ж	Л	Г
Середньомісячні температури, °C	-13,5	-13,1	-6,5	3,7	12,4	17,0	19,1	17,5	11,2	3,4	-3,8	-10,4
Середні амплітуди, °C	6,5	7,6	8	8,1	10,7	11,9	11,1	10,8	9,2	6,1	5,2	6,2
Відхилення від середніх температур, %	48	58	123	219	86	70	58	62	82	179	137	60
Максимальні амплітуди, °C	20,4	19,7	19,5	18,7	20,7	21,9	19,1	19,8	21,3	17,3	22,3	26,7
Відхилення від середніх температур, %	151	150	300	505	167	129	100	113	190	508	587	257

З табл. 3.3 видно, що середні відхилення середньомісячних температур становлять від 48 до 219%, а максимальні відхилення від середньомісячних температур становлять від 100 до 587%.

Аналогічні дані щодо розкиду температур зовнішнього повітря та інтенсивності сонячної радіації для кривих річного ходу представлені на рис.

3.6 та 3.7. Штрихова лінія цих графіках має забезпеченість 0,5. В екстремальних точках графіків відмінність у температурах від забезпеченості 0,5 до забезпеченості 0,99 або 0,01 може досягати 100С і більше градусів.

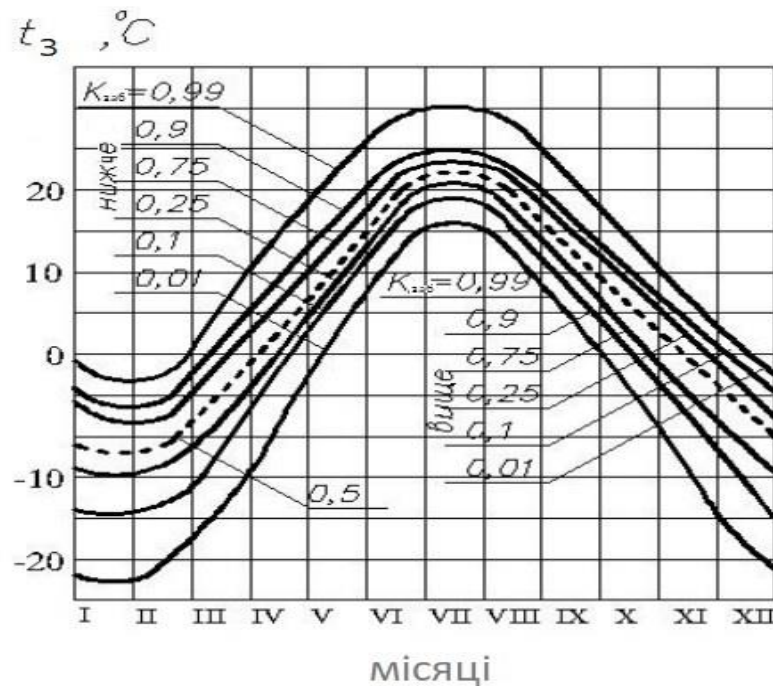


Рисунок 3.6 - Річний перебіг середньомісячних температур різної забезпеченості у Києві (Вище та нижче зазначеної)

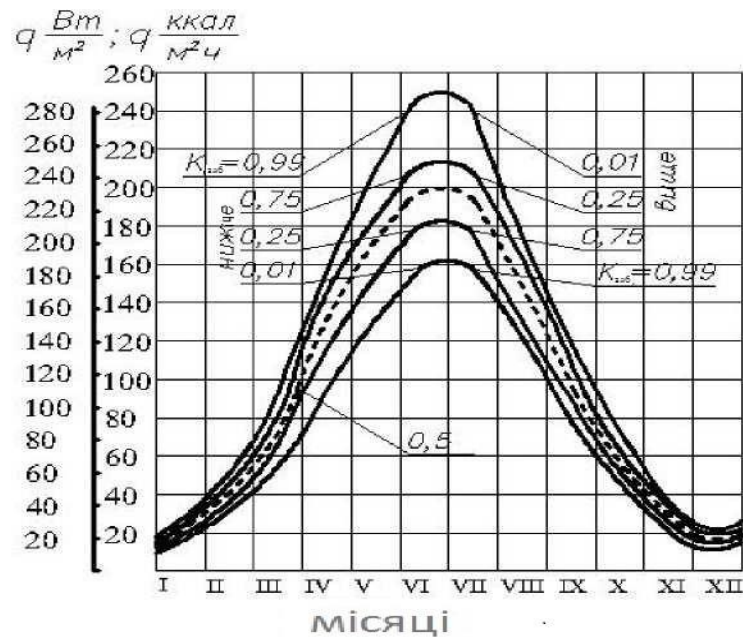


Рисунок 3.7 - Річний хід інтенсивності сумарної сонячної радіації на горизонтальну поверхню в Києві різної забезпеченості (вище та нижче зазначеної)

Проведений опис клімату окремого географічного пункту (міста Львова), за даними ДСТУ, дозволив виявити як загальну структуру клімату місцевості, так і особливості клімату, властиві тільки цьому пункту. Загальна характеристика клімату виходить досить інформативною. Однак, для завдань будівельної теплофізики описані вище кліматичні параметри мають обмежене використання через їх усередненість ($k_{\text{заб}} = 0,5$). Основний принцип при теплозахисті будівель полягає в орієнтації на екстремальні значення кліматичних факторів певної забезпеченості, які не повинні змінювати внутрішніх умов у приміщеннях (наприклад, температури повітря та внутрішньої поверхні огорож як «по гладі», так і в зоні теплопровідних включень тощо).

Висловлений принцип передбачає, що екстремальна величина фактора та його забезпеченість повинні визначатися з урахуванням «реакції» огорожі на кліматичні впливи та залежати від вимог забезпечення надійності підтримки внутрішніх умов будівель різного призначення. Під поняттям «внутрішні умови» слід розуміти вимоги до санітарно-гігієнічних, комфортних та технологічних умов у приміщеннях будівель.

Такі будівлі, як лікарні, пологові будинки, дитячі установи, а також цехи із суворим технологічним режимом вимагають високої надійності у підтримці внутрішніх мікрокліматичних умов. Задані внутрішні умови в цих будинках повинні витримуватись за будь-яких можливих кліматичних умов.

Житлові будинки, гуртожитки, адміністративні та громадські будинки належать до будівель загального призначення, в яких можливі невеликі короткочасні відхилення від розрахункових умов.

Торгові приміщення, зали очікування для пасажирів та інші з короткочасним перебуванням можуть мати нижчу забезпеченість розрахункових внутрішніх умов.

Пропозиції щодо визначення рівня вимог та коефіцієнтів забезпеченості для приміщень різного призначення наведено у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Коефіцієнт забезпеченості розрахункових умов для холодного періоду року

Характеристика основних приміщень	Рівень вимог	Коефіцієнт забезпеченості $k_{заб}$
Особливо високі вимоги до санітарно-гігієнічних умов	Підвищений	= 1,0
Цілодобове перебування людей чи постійний технологічний режим	Високий	0,9
Обмежене у часі перебування людей	Середній	0,7
Короткочасне перебування людей	Низький	0,5

3.3 Висновки до розділа 3

Таким чином, величина фактора, його науково-обґрунтована забезпеченість та характеристика фізичних процесів в огороженнях становлять основу щодо розрахункових параметрів кліматичних факторів.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. З переходом на підвищений рівень теплозахисту будівель та появою великої кількості багатошарових конструкцій огорож та фасадних систем виникли великі проблеми як на стадії проектування теплозахисту огорож, так і на стадії їх експлуатації (стабільність властивостей огорож у часі та їх довговічність).

2. Класична методологія будівельної фізики основну увагу приділяла формуванню огорожі тільки з позиції енергозбереження, тобто одержання такого опору теплопередачі огорожі, яка була б не меншою за необхідну. Інші параметри теплозахисту (накопичення конденсованої вологи в огорожі, оцінка температурного перепаду стіни - повітря, умови точки роси та ін.) вважалися вторинними, та їх оцінка проводилася на енергозберігаючій огорожі за принципом: відповідності або невідповідності вимогам ДБН.

3. У разі «невідповідності» нормативні документи не дають виразних рекомендацій. Таке становище склалося з тієї причини, що до переходу на підвищений теплозахист основними огорожами в нашій країні були одношарові конструкції для яких класичний підхід будівельної фізики був виправданий і підтверджений багаторічною експлуатацією будівель.

4. При проектуванні багатошарових огорож класичні методи не завжди ефективні. Потрібні були нові підходи до проектування теплозахисту багатошарових фасадних систем. Основними у новому підході є облік основних фізичних процесів при конструюванні багатошарових огорож, що вплинуло на обґрунтування розрахункових параметрів кліматичних факторів для кожного процесу, обґрунтування взаємного розташування шарів.

5. Все це дозволило сформувати методику проектування теплозахисту огорожувальних конструкцій на основі адекватного моделювання експлуатаційних процесів в огорожах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.6-31:2006 зі Зміною №1. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. Київ, Мінбудархітектури України, 2006. 71 с.
2. ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007 Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції. Київ, Мінбудархітектури України, 2008. 42 с.
3. ДБН В.2.6-33:2008. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування, улаштування та експлуатації. Київ: Мінбудархітектури України, 2009. 24 с.
4. ДСТУ В.2.6-36:2008. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Київ: Мінбудархітектури України, 2009. 43 с.
5. Особливості термомодернізації громадських будівель / Г. Г. Фаренюк, О. І. Філоненко, О. Б. Борисенко, М. В. Лещенко // Проблеми й перспективи розвитку академічної та університетської науки: збірник наукових праць за матеріалами V Всеукраїнського науково-практичного форуму установ НАН України. Полтава: ПолтНТУ, 2012. С. 215 – 216.
6. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. Київ, 2011. 101 с.
7. Rajendra Karwa. Heat and mass transfer. Second edition / Rajendra Karwa. Springer, 2020. 1147 p. – ISBN 978-981-15-3987-9.
8. William S. Janna. Engineering Heat Transfer. Third Edition / William S. Janna. CRC Press, 2009. 692 p. – ISBN 978-1-4200-7202-0.
9. Charles H. Forsberg. Heat Transfer Principles and Applications / Charles H. Forsberg. Academic Press, 2020. 545 p. – ISBN: 978-0-12-802296-2.
10. Greg F. Naterer. Advanced Heat Transfer. Second Edition / Greg F. Naterer. CRC Press, 2018. 514 p. – ISBN 9781138579323.

11. Теорія теплопровідності: підручник: підручник. для студ. спец. 105 «Прикладна фізика та наноматеріали» / А. В. Гільчук, А. А. Халатов, Т. В. Доник; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 131 с.
12. Тимофєєв М.В., Фаренюк Г.Г. Розрахунки енергоефективності будівель: Навч. пос. Київ: КНУБА, 2015. 140 с.
13. Фаренюк Г.Г. Енергетична ефективність підвищення теплотехнічних показників основних елементів теплоізоляційної оболонки будинків. / Г.Г. Фаренюк // Будівництво України. 2008. № 8. С. 12-14.
14. Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції: ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2007. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. 43 с. (Національний стандарт України).
15. Закон України „Про енергозбереження” (74/94-вр) від 01.07.1994р.
16. Закон України від 22.06.2017 року №2118-VIII «Про енергетичну ефективність будівель».
17. Самолюк Н.М., Бондарець Д.В. Дослідження ефективності впровадження енергозберігаючих заходів у житлових будинках / Вісник НУВГП, серія «Економічні науки», Випуск 1(77). Рівне, 2017.
18. Конструкції будинків та споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31:2006. Київ: Мінбуд України, 2006. 70 с. – (Державні будівельні норми України).
19. Кутний Б.А. Методичні вказівки до курсової роботи «Теплогазопостачання і вентиляція будинку» з курсу «Теплогазопостачання та вентиляція» для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» денної та заочної форми навчання / Кутний Б.А. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2021. 35 с.
20. Кошлак Г.В. Методи аналізу енергоефективності будівель: методичні вказівки для практичних занять. Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2020. 32 с.

21.Термомодернізація житлового фонду: організаційний, юридичний, соціальний, фінансовий і технічний аспекти: Практичний посібник. Видання 2-ге, доповнене. / за загальною редакцією Бригілевича В. Львів, 2014. 240 с.

22.ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. Київ: Мінрегіон України, 2014. 55 с.

23. ДСТУ Б В.2.6-17-2000. Конструкції будинків і споруд. Блоки віконні та дверні. Методи визначення опору теплопередачі. – Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 2000. 25 с.

24.Басок Б.І., Давиденко Б.В., Кужель Л.М., Новіков В.Г. Експериментальні та чисельні дослідження радіаційно-конвективного теплопереносу через віконні конструкції. Міжнародна науково-практична та навчально-методична конференція Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – Rems'2017: збірник матеріалів конфер. (м. Київ 25– 27 квітня 2017). м. Київ, НТУУ «КПІ» ім. Ігоря Сікорського. 2017. С. 16.

25.Кужель Л.М. Закономірності теплопередачі через віконні конструкції: дисертація канд.техн.наук: 05.14.06. Інст. Технічної теплофізики НАН України. Київ. 2017. 190 с.

26.ДСТУ EN ISO 10077-2:2022 (EN ISO 10077-2:2017, IDT; ISO 10077-2:2017, IDT) “Теплотехнічні властивості вікон, дверей і жалюзі. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі. Частина 2. Чисельні методи розрахунку для віконних рам”

27.ДСТУ EN ISO 10077-1:2022 (EN ISO 10077-1:2017, IDT; ISO 10077-1:2017, Corrected version 2020-02, IDT) Теплотехнічні властивості вікон, дверей і жалюзі. Розрахунок коефіцієнта теплопередачі. Частина 1.Загальні умови.

28.J.W. Lee, H.J. Jung, J.Y. Park, J.B. Lee, Y. Yoon, Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements Renewable Energy, 50 (2013), p. 522-531, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2012.07.029>

29. C.Y. Chang, P.K. Chen, Human response to window views and indoor plants in the workplace, *HortScience*, 40 (2005), p. 1354-1359, doi:10.21273/HORTSCI.40.5.1354
30. S.Z. Movassag, K. Zamzamian, Numerical investigation on the thermal performance of double glazing air flow window with integrated blinds, *Renewable Energy*, 148 (2020), p. 852-863, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.170>
31. G. Gan, Thermal transmittance of multiple glazing: computational fluid dynamics prediction, *Applied Thermal Engineering*, 21 (15), (2001), p. 1583-1592, [https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(01\)00016-3](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(01)00016-3)
32. O. Aydın, Conjugate heat transfer analysis of double pane windows, *Building and Environment*, 41 (2), (2006), p. 109-116, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.01.011>
33. M. Arici, M. Kan, An investigation of flow and conjugate heat transfer in multiple pane windows with respect to gap width, emissivity and gas filling, *Renewable Energy*, 75 (2015) 249–256, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.10.004>
34. B. Nourozi, A. Ploskić, Y. Chen, J. Ning-Wei Chiu, Q. Wang, Heat transfer model for energy-active windows - An evaluation of efficient reuse of waste heat in buildings, *Renewable Energy*, 162 (2020), p. 2318-2329, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.043>
35. T.L. Bergman, A.S. Lavine, Incropera's Principles of Heat and Mass Transfer, John Wiley & Sons, 2017
36. Методичні вказівки до виконання розрахункових та практичних робіт на тему «Економія теплової енергії на опалення будівель і витрат на її генерацію під час впровадження енергозбережних заходів» з дисципліни «Енергозбереження будівель і споруд»/ укладачі: С.С. Антоненко, В. М. Козін, Е. В. Колісніченко. - Суми: Сумський державний університет, 2015 – 50 с. (9)
37. ДСТУ Б EN 15251: 2011. Розрахункові параметри мікроклімату приміщень для проектування та оцінки енергетичних характеристик будівель

по відношенню до якості повітря, теплового комфорту, освітлення та акустики будівель. Київ, 2012. 71с.

38. EN 15316-2-1:2007. Heating system in buildings – Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies – Part 1. CEN. 2007.

39. EN 12831:2003. Heating system in buildings – Method for calculation of the design heat load. CEN. European Committee for Standardization. 2003

40. Гетун Г. В. Підвищення теплозахисних якостей зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель – одне із найважливіших завдань сучасного будівництва в Україні / Г. В. Гетун, Б. Г. Криштоп, О. В. Сергейчук // Містобудування та територіальне планування. 2009. Вип. 35. С. 106-111.