

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ
КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
(основа кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

магістр
(рівень вищої освіти)

за тему Проектування температурно - вологісного режиму огорожуючих
конструкцій багатопверхових громадських будівель

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1920-мбгі
спеціальності 192 Будівництво та цивільна
інженерія

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Міське будівництво та
господарство

(назва освітньої програми)

Ель Маріні Алаєєдін

(підпис та прізвище)

Керівник доц. к.т.н. Банах А. В.

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

Рецензент доц., к.т.н. Савін В.О.

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

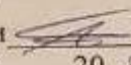
Запоріжжя
2021

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри 
« 30 » 06 20 21 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Ель Маріні Алаеєддін
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Проектування температурно - вологісного режиму огорожуючих конструкцій багатоповерхових громадських будівель

керівник роботи доц., к.т.н. Банах А. В.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від « 30 » 06 2021 року № 974-с

1 Строк подання студентом роботи 01.12.2021

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. Дослідження режиму температурної вологості огорожувальних конструкцій найбільш поширених в практичному застосуванні конструктивних рішень. Теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій цивільних будівель різних конструктивних рішень.

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

5 Консультанти розділів роботи

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

6 Дата видачі завдання 01.09.2021

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Прізвище
1	Літературний огляд	01.10	
2	Розділ 1	15.10	
3	Розділ 2	01.11	
4	Розділ 3	15.11	
5	Розробка графічної частини	20.11	
6	Оформлення роботи	25.11	
7	Попередній захист	01.12	

Студент  (підпис)

Ель Маріні Аласеддін (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту)  (підпис)

Банах А. В. (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  (підпис)

Гребенюк О.В. (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Ель Маріні Алаєддін. Проектування температурно- вологісного режиму огорожуючих конструкцій багатоповерхових громадських будівель.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник А.В. Банах. Інженерний навчально-науковий інститут імені Ю.М. Потебні ЗНУ, кафедра міського будівництва і архітектури, 2021.

Розглядаються природно-кліматичні умови експлуатації конструкцій цивільних будівель, огорожувальних конструкцій і їх конструктивні виконання, згідно з діючими нормативами по тепловій ізоляції.

Ключові слова: РЕЖИМ ТЕМПЕРАТУРНОЇ ВОЛОГОСТІ; ТЕПЛОВА ІНЕРЦІЯ; ТЕРМІЧНИЙ ОПІР; ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК; ПРУЖНІСТЬ ВОДЯНОЇ ПАРИ; ОПІР ПАРПРОНИЦАНІЮ; ВІДНОСНА ВОЛОГІСТЬ ПОВІТРЯ; ПАРЦИОНАЛЬНОЕ ТИСК ВОДЯНОЇ ПАРИ, УТЕПЛЮВАЧ.ABSTRACT

El Marini Alaeeddin. Determination of Temperature and Humidity Regime of Walling Structures of Multi-Floor Public Buildings.

Qualification final work for obtaining a master's degree in specialty 192 - Construction and Civil Engineering, supervisor A.V. Banach. Engineering Educational and Scientific Institute named after Y.M. Potebny ZNU, Department of Urban Construction and Architecture, 2021.

Natural and climatic conditions of operation of constructions of civil buildings, enclosing constructions and their constructive executions, according to the current specifications on thermal insulation are considered.

Key words: TEMPERATURE HUMIDITY REGIME; THERMAL INERTIA; THERMAL RESISTANCE; HEAT TECHNICAL CALCULATION; STEAM ELASTICITY; RESISTANCE TO STEAM TRANSMISSION; RELATIVE HUMIDITY; PARTIAL STEAM PRESSURE, INSULATOR.

ЗМІСТ

Вступ	6
Розділ 1. Фізико-технічні основи проектування огорожуючих конструкцій будівель	9
1.1 Загальні вимоги, класифікація та конструктивні виконання огорожувальних конструкцій	9
1.2 Передача тепла через огорожувальні конструкції та принцип теплотехнічного розрахунку	17
1.3 Вологий стан огорожувальних конструкцій та загальні положення розрахунку паропроникності	29
Розділ 2. Аналіз теплотехнічних характеристик огорожуючих конструкцій сучасних громадянських будівель	34
2.1 Теплотехнічні характеристики цегляних стін цивільних будівель	37
2.2 Теплотехнічні характеристики стін панельних будівель	39
2.3 Теплотехнічні характеристики монолітно-каркасних будівель	43
2.4 Висновки по розділу	50
Розділ 3. Аналіз теплотехнічних характеристик огорожуючих конструкцій громадянських будівель згідно діючих норм з теплової ізоляції	51
3.1 Способи поліпшення теплозахисних якостей стіни при реконструкції цегляних будівель	55
3.2 Способи поліпшення теплозахисних якостей стіни при еконструкції будівель з великих бетонних блоків	68
3.3 Способи поліпшення теплозахисних якостей стіни при реконструкції панельних будівель	79
3.4 Висновки по розділу	104
Висновки	105
Список використаних джерел	107

ВСТУП

Суть питання. Головним напрямом технічної політики в області будівництва є енергозбереження і ресурсозберігання.

Значне місце у вирішенні цієї проблеми відводиться не лише новому будівництву, але і експлуатованому фонду житлових і громадських будівель, теплотехнічні характеристики яких не задовольняють сучасним вимогам. Підвищення теплотехнічних характеристик огороджувальних конструкцій сприяє зниженню енергоспоживання експлуатованих будівель.

Досягти економії енергоресурсів, що йдуть на опалювання будівлі, можливо за наявності абсолютно нових рішень зовнішніх стін, пристосованих до кліматичних умов.

Актуальність проблеми. Ще нещодавно ідеї економії теплової енергії були для більшості людей в Україні абстрактним поняттям. Проте, об'єктивні процеси постійного зростання цін на енергоресурси, зміна політики держави в області комунальних послуг, а також трансформація поглядів суспільства на охорону природи переводять проблему енергозбереження в практичну площину.

Розподіл споживання енергоресурсів в цілому по Україні виглядає таким чином:

- Промисловість і сільське господарство - 28%
- Транспорт - 32%
- Житловий сектор близько 40%.

При цьому відсоток втрат теплової енергії в наших будинках доходить до тієї ж магічної цифри в 40%. Це означає, що з кожних 100 гривень сплачених за тепло в нашому будинку - 40 гривень ми буквально викидаємо на вітер! Що ж можна зробити для радикальної зміни існуючого положення?

Відповідь проста і очевидна - потрібно утеплитися!

Тепло втрачається через:

- – віконні і дверні отвори: 40-50 %;

- – перекриття горищ і підвалів : 20 %;
- – зовнішні стіни: 30-40 %.

Чим суворіше зима, тим більше витрат на обігрів приміщень. А чим гірше теплоізоляція будинку, тим більше енергії треба витратити на його обігрів. Високе споживання енергії є великим навантаженням не лише для гаманця, але і для довкілля. Вже давно встановлено, що надмірні викиди в атмосферу CO₂, що утворюється при спалюванні палива різних видів викликають небезпечний для нас тепличний ефект. Чи кожен з нас усвідомлює, що від загальної кількості двоокису вуглецю, що викидається в повітря, близько 30-35% - це результат опалювання приміщень?

Мета роботи дослідження режиму температурної вологості огорожувальних конструкцій найбільш поширених в практичному застосуванні конструктивних рішень.

Відповідно до мети роботи визначені наступні **завдання**:

- вивчити літературу, присвячену питанням фізико-технічним основам проектування огорожувальних конструкцій;
- проаналізувати режим температурної вологості стін цивільних будівель різних конструктивних рішень;
- виконати теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій цивільних будівель різних конструктивних рішень;
- провести порівняльну теплотехнічну характеристику огорожувальних конструкцій будівель, зведених до 2015 року і після.

Об'єкт дослідження - одношарові і багатошарові конструкції найбільш поширених в практичному застосуванні конструктивних рішень огорожувальних конструкцій.

Предмет дослідження - зовнішні конструкції різних конструктивних рішень і їх теплотехнічних рішень.

Методи дослідження. Розглядаються природно-кліматичні умови експлуатації конструкцій цивільних будівель, огорожувальних конструкцій і

їх конструктивні виконання, згідно з діючими нормативами по тепловій ізоляції.

Наукова новизна роботи:

- проаналізовано режим температурної вологості стін цивільних будівель різних конструктивних рішень.

Практична значущість отриманих результатів полягає в наступному:

- виконано теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій цивільних будівель різних конструктивних рішень.

Апробація результатів роботи. Результати роботи докладалися на І всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України». ІННІ ЗНУ. -2021р. - 527с. з доповіддю «Загальні вимоги, класифікація і конструктивні виконання огорожувальних конструкцій». [41]

Структура і об'єм магістерської роботи. Магістерська робота складається з введення, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Містить 110 сторінок, 21 рисунок та 3 таблиці. Для написання даної роботи використано 41 літературних джерел.

РОЗДІЛ 1.

ФІЗИКО-ТЕХНІЧНІ ОСНОВИ ПРОЕКТУВАННЯ ОГРОЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ

1.1 Загальні вимоги, класифікація та конструктивні виконання огорожувальних конструкцій

Огорожувальних конструкцій будівель і споруд - це будівельні конструкції (стіни, перекриття, покриття, заповнення отворів, перегородки і так далі), що обмежують об'єм будівлі (споруди) і розділяють його на окремі приміщення. Основне призначення огорожувальних конструкцій захист (обгороджування) приміщень від температурних дій, вітру, вологи, шуму, радіації і тому подібне, в чому полягає їх відмінність від несних конструкцій, що сприймають силові навантаження; ця відмінність умовна, оскільки функції, що часто захищають і несуть, поєднуються в одній конструкції (стіни, перегородки, плити перекриттів і покриттів та ін.). Огорожувальних конструкцій розділяють на зовнішні (чи зовнішні) і внутрішні. Зовнішні служать головним чином для захисту від атмосферних дій, внутрішні в основному для розділення внутрішнього простору будівлі і звукоізоляції.

За способом виготовлення розрізняють огорожувальних конструкцій збірні (монтовані з готових елементів заводського виготовлення) будівництва, що зводяться на місці. У останньому випадку для цегляних, бетонних і залізобетонних огорожувальних конструкцій застосовують термін «монолітні». Залежно від конструктивного рішення огорожувальних конструкцій підрозділяють на прості і комплексні (складені). Прості («одношарові») огорожувальних конструкцій виконують з одного матеріалу або з однорідних штучних виробів (цегляні стіни, легкобетонні панелі, гіпсові перегородки і тому подібне). Комплексні («багатошарові»)

огороджувальних конструкцій складаються з декількох елементів або шарів, що наприклад несуть, ізоляційних, обробних.

Серед огороджувальних конструкцій особливе значення надається зовнішнім стінам, що визначають архітектурний вигляд будівлі; часто матеріал стін характеризує і конструктивний тип будівлі : великоблочне, великопанельне, дерев'яне (рубане або щитове), цегляне. Стіни виконують також роль вертикальних діафрагм жорсткості.

Експлуатаційні якості зовнішніх огороджувальних конструкцій повинні відповідати місцевим кліматичним характеристикам і забезпечувати необхідні санітарно-гігієнічні і комфортні умови в приміщеннях. До внутрішніх огороджувальних конструкцій пред'являються вимоги належної ізоляції від повітряних і ударних шумів, від тепла і вологи суміжних приміщень. Огороджувальних конструкцій повинні мати високу міцність, жорсткість, стійкість, вогнестійкість. Необхідно також, щоб фактура, колір та ін. декоративні якості поверхні конструкцій, що захищають, відповідали призначенню будівель і приміщень, сприяли досягненню їх архітектурної виразності.

Важлива властивість огороджувальних конструкцій — їх довговічність, міра якої встановлюється залежно від класу будівлі і вживаних матеріалів, з урахуванням реальних умов зносу огороджувальних конструкцій в результаті зовнішніх дій. При використанні збірних конструкцій особлива увага приділяється конструктивним рішенням сполучних вузлів і якості виконання сполучень (стикам, зв'язкам, кріпильним і заставним деталям), з тим, щоб унеможливити руйнування сполучних елементів впродовж терміну служби, встановленого для будівлі (споруди) в цілому.

Розглянемо класифікацію зовнішніх конструкцій будівель і споруд за такими ознаками:

- по кількості шарів - одношарові і шаруваті;
- по мірі теплової інерції;

по довговічності (І міра - термін служби не менше 100 років, ІІ - 50, ІІІ - 20 конструкцій мобільних (інвентарних) будівель - 10-20);

по межі вогнестійкості конструкції і межі поширення в ній вогню;

по конструкції стиків і зв'язків між зовнішніми обгороджуваннями і перегородками будівлі;

за характером роботи при сприйнятті вертикального навантаження (що несуть, самонесущіе, не несуть);

по особливостях монтажу (однорідні, складені);

по розташуванню в плані будівлі (подовжні або торцеві);

За призначенням у будівлі панелі підрозділяються: для підземних поверхів, для цокольного поверху і технічного підпілля, а також для горища.

Одношарові огороджувальних конструкцій класифікують по виду основного матеріалу: бетонні, залізобетонні, цегляні.

Одношарові бетонні і залізобетонні огороджувальних конструкцій у свою чергу підрозділяють за наступними ознаками:

По структурі бетону (щільної структури, великопористого малопіщаного або беспесчаного, поризованного, комірчастого);

По середній щільності (важкий - 2200-2500 кг/м³, полегшений - 1800-2200, легкий, - 500-1800);

По виду заповнювачів (на щільних і пористих заповнювачах).

Шаруваті панелі класифікують за наступними ознаками:

По кількості основних шарів (двошарові, тришарові, багатошарові);

За матеріалом внутрішнього і зовнішнього шарів (бетонні, металеві, стеклопластиковые, деревометаллические);

По наявності порожнеч або повітряних прошарків.

Традиційні панелі з бетонними внутрішніми і зовнішніми шарами підрозділяють:

По податливості зв'язків між зовнішніми і внутрішніми армованими бетонними шарами (з жорсткими або гнучкими зв'язками);

По конструкції зв'язків (з окремими зв'язками - металевими або шпонами з армованого бетону; із зв'язками з армованих бетонних ребер - монолітних або збірних, з суцільними або з наскрізними отворами; з жорстким зв'язком по усій площині контакту бетонних шарів з шаром утеплювача).

Полегшені огорожувальних конструкцій підрозділяють за характером їх виготовлення (заводської готовності, полистової зборки).

Обгороджування з повітряними прошарками підрозділяють на конструкції з вентиляльованими (з наскрізними і ненаскрізним провітрюванням) і невентильованими прошарками.

Як було вже сказано вище, зовнішні огорожувальних конструкцій за матеріалом бувають чотирьох основних типів: бетонні, кам'яні, з небетонних матеріалів і дерев'яних. Відповідно до будівельної системи кожен тип стіни містить декілька видів конструкцій : бетонні стіни — з монолітного бетону, великих блоків або панелей; кам'яні стіни — ручної кладки, стіни з кам'яних блоків і панелей; стіни з небетонних матеріалів— фахверковые і панельні каркасні і безкаркасні; дерев'яні стіни — що рубаються з колод або брусів каркасно-обшивные, каркасно-щитові, щитові і панельні.

Зовнішні стіни можуть бути одношарової або шаруватої конструкції. Одношарові стіни зводять з панелей, бетонних або кам'яних блоків, монолітного бетону, каменю, цеглини, дерев'яних колод або брусів.

У шаруватих стінах виконання різних функцій покладене на різні матеріали. Функції міцності забезпечують бетон, камінь, дерево; функції довговічності — бетон, камінь, дерево або листовий матеріал (алюмінієві сплави, емальована сталь, азбестоцемент або ін.); функції теплоізоляції — ефективні утеплювачі (минераловатные плити, фіброліт, пінополістирол та ін.); функції пароізоляції рулонні матеріали (руберойд прокладення, фольга та ін.), щільний бетон або мастики; декоративні функції — різні облицювальні матеріали. У число шарів такої конструкції, що захищає, може бути включення повітряних прошарків. Замкнутий — для підвищення її опору теплопередачі,

вентильований — для захисту приміщення від радіаційного перегрівання або для зменшення деформацій зовнішнього облицювального шару стіни. Конструкції одно— і багат шарових стін можуть бути виконані повнозбірними або в традиційній техніці.

Конструювання стін засноване на усебічному використанні властивостей, вживаних матеріалів і вирішує завдання створення необхідного рівня міцності, стійкості, довговічності, ізоляційних і архітектурно-декоративних якостей.

Так зовнішні стіни з великих панелей можуть бути такими, що несуть або не несуть. Масове застосування панельних стін майже в усіх країнах світу визначило виняткову різноманітність їх конструкцій і розрізань.

Панелі з бетонних матеріалів проектують як шаруватими, так і одношаровими. Стіни, що несуть, проектують з шаруватих залізобетонних панелей, виконаних з важкої або конструктивної легені бетону. Одношарові панелі з легені конструктивно-теплоізоляційного бетону застосовують для стін будівлі, що несуть, заввишки не більше 12 поверхів.

Панельні несучих стіни з автоклавного комірчастого бетону застосовують тільки в малоповерхових будівлях. Стіни, що не несуть, виконують з панелей будь-якої конструкції.

Панелі одношарових несучих стін і самонесущих, проектують як позацентрово-стислі бетонні конструкції. Залізобетонними проектують тільки окремі елементи панелей — надвіконні перемички і вузькі простінки. Проте, одношарові панелі не несучих стін містять конструктивне армування, що оберігає їх від крихкого руйнування і розвитку тріщин при транспортуванні і монтажі. Армують панелі просторовими зварними арматурними блоками розмірами на панель або окремими уніфікованими блоками.

Поняття «Одношарова панель» — умовне. Насправді окрім основного конструктивного шару з легені або комірчастого бетону такі панелі містять зовнішній захисно-обробний і внутрішній обробний шар.

Фасадний захисно-обробний шар легко-бетонних панелей виконують завтовшки 20-25мм з паропроницаемых декоративних бетонів, розчинів або із звичайних розчинів (з подальшим забарвленням), усадкові деформації і модуль пружності яких близькі за величиною аналогічним характеристикам основного бетонного шару панелі. Для фасадного шару застосовують також обробку керамічними і скляними плитами, тонкими плитами пиляного природного каменю, подрібненими кам'яними матеріалами.

Бетонні панелі двошарової конструкції мають той, що несе і утеплює шари: що несе — з важкої або конструктивної легені бетону, утеплює — з конструктивно-теплоізоляційного легкого бетону щільної або пористої структури. Конструктивне армування двошарових панелей аналогічно вживаному для одношарових, але має наступну особливість: робоча арматура перемичок і елементи зв'язків розташовані у внутрішньому шарі, що несе.

Бетонні панелі тришарової конструкції мають зовнішній і внутрішній конструктивні шари з важкого або легкого конструктивного бетону і ув'язнений між ними утеплюючий шар. Для утеплюючого шару застосовують найбільш ефективні матеріали з щільністю не більше 400 кг/м^3 у вигляді блоків, плит або матів із скляної або мінеральної вати на синтетичній зв'язці, піноскла, фіброліту, полістиролового або фенольного пінопласту. У експериментальному порядку для утеплення панелей використовують заливальні пінопласти, що полімеризуються у внутрішній порожнині панелі.

Бетонні шари панелі об'єднують гнучкими або жорсткими зв'язками, що забезпечують її монтажну єдність і відповідають вимогам міцності, довговічності і теплоізоляції. Найбільш досконала конструкція гнучких зв'язків складається з окремих металевих стержнів, які забезпечують монтажну єдність бетонних шарів при незалежності їх статичної роботи. Гнучкі зв'язки не перешкоджають температурним деформаціям зовнішнього бетонного шару стіни і повністю виключають виникнення температурних зусиль у внутрішньому шарі. Елементи гнучких зв'язків виконують із стійких,

до атмосферної корозії низьколегованих сталей. Так само зв'язки можуть виконуватися із звичайної будівельної сталі з довговічними антикорозійними покриттями. У тришарових панелях з гнучкими зв'язками зовнішній бетонний шар виконує функції, що тільки захищають. Навантаження від нього так само, як і від утеплювача, передається через гнучкі зв'язки на внутрішній бетонний шар. У тришарових бетонних панелях разом з гнучкими застосовують і жорсткі зв'язки між шарами у вигляді поперечних армованих ребер з важкого або легкого бетону.

Для фасадної обробки тришарових панелей застосовні усі матеріали, використовувані для обробки одношарових легкобетонних панелей.

Великоблочні будинки зазвичай проектують безкаркасними, на основі двох конструктивних схем: з подовжніми стінами для 5-поверхових будівель і з поперечними — для багатоповерхових. Іноді (на окремих ділянках об'єму будівлі) застосовують комбіновану конструктивну систему великоблочних будівель з внутрішнім каркасом. Відповідно, великоблочні стіни виконують такими, що несуть або самонесущими з розрізанням по висоті поверху на 2, 3 або 4 ряди блоків.

Матеріалами для великих блоків служать легкі бетони з щільністю до 1600 кг/м^3 на різних пористих заповнювачах, автоклавні комірчасті бетони щільністю до 800 кг/м^3 , цегляна суцільна або полегшена кладка, природний камінь (вапняк, туф та ін.) щільністю до 1800 кг/м^3 .

Найчастіше в стінах, що несуть і самонесущих, застосовують великоблочні конструкції з легких бетонів, виконані по дворядному розрізанню. Трьох - чотирирядні розрізання застосовують в стінах з силікатних і керамічних блоків і з природного каменю. Із зовнішнього боку блоки мають захисно-обробний шар.

У легкобетонних і цегляних блоках — це декоративний бетон на білому або кольоровому цементі із заповнювачем з крихти декоративного каменю; у

блоках з комірчастого бетону — порисований розчин, подрібнені кам'яні матеріали або фарбування — поліхлорвинилова або поливинилацетатная.

Стійкість великоблочних зовнішніх стін забезпечують їх просторовою взаємодією з перекриттями і внутрішніми поперечними стінами, що об'єднуються із зовнішніми стінами спеціальними сталевими зв'язками.

Декоративні якості великоблочним стінам надають колір і фактура захисно-обробного шару, вибрані відповідно до композиційного рішення будівлі. В якості декоративного засобу широко використовують також забарвлення фасадів перхлорвиниловими, поливинилацетатними і іншими атмосферостійкими фарбами, що наносяться по захисно-обробному шару. Застосовують одноколірне забарвлення усієї поверхні стін або двоколірну, підкреслюючи малюнок конструктивного розрізання стіни.

Матеріалом для кам'яних стін служать цеглина або камені правильної форми, виконані з природних або штучних (обпалена глина, бетони) матеріалів, і розчин (вапняний, вапняно-цементний або цементний), по якому камені укладають горизонтальними рядами зі взаємною перев'язкою швів.

Міцність конструкції стіни забезпечують міцність каменю і розчину і укладання каменів зі взаємною перев'язкою вертикальних швів. Найбільш поширений тип кладки — шестирядна.

Стійкість кам'яних зовнішніх стін забезпечується їх просторовою взаємодією з внутрішніми несними конструкціями — стінами (зовнішні стіни жорстко зв'язують з внутрішніми стінами перев'язкою кладки) і перекриттями. Для цього плити перекриттів заводять в стіну не менше чим на 100мм, спирають на стіну через шар міцного розчину і сполучають стіну з перекриттями сталевими анкерами.

Основні тенденції розвитку сучасного виробництва огорожувальних конструкцій :

- переважне використання збірних великорозмірних конструкцій індустриального виготовлення з високою мірою заводської готовності, у тому

числі великих стінних панелей (офактурених і зашклених), укрупнених комплексних перекриттів з готовою підлогою, об'ємних елементів (блоків) з обробкою усіх поверхонь;

- вдосконалення конструкцій збірних елементів і їх сполучних вузлів з метою зниження трудомісткості виготовлення і монтажу огорожувальних конструкцій і будівлі в цілому; зниження ваги огорожувальних конструкцій;

- використання для виготовлення огорожувальних конструкцій місцевих будівельних матеріалів.

Основним завданням будівельної теплофізики є обґрунтування найбільш доцільних в експлуатації рішень будівель і огорожувальних конструкцій, що задовольняють вимогам забезпечення в приміщеннях сприятливого мікроклімату для діяльності або відпочинку людини.

У термодинамічному відношенні огорожувальних конструкцій будівель - це відкриті системи, що обмінюються з повітряним довкіллям як енергією (теплообмін), так і речовиною (влагообмін і повітрообмін).

1.2 Передача тепла через огорожувальні конструкції та принцип теплотехнічного розрахунку

До 2006г. у Україні діяв СНиП II - 3-79*. Будівельна теплотехніка. Норми проектування. Відповідно до цих норм здійснювався теплофізичний розрахунок.

Будівлі, що захищають конструкції, розділяють повітряні середовища з різними температурами.

Через плоску і досить протяжну огорожувальну конструкцію потік тепла проходить перпендикулярно до її поверхні. Потік, що встановився, виник при постійних значеннях температур повітря, які примикають до теплої і холодної поверхні, можна визначити на підставі закону Фур'є:

$$Q = \tau_g - \tau_n \frac{\lambda}{\delta} FZ, \text{ ккал} \quad (1.1)$$

де τ_g і τ_n - температури на теплій і холодній поверхнях обгороджування, °С;

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу, ккал/ (мч°С)[Вт/ м°С];

δ - товщина огорожі, м;

F - товщина огорожі, м²;

Z - час передачі тепла, ч (с)

З рівності (1.1) отримаємо:

$$\lambda = \frac{Q\delta}{FZ(t_g - t_n)}, \text{ ккал/ (мч°С)[Вт/ (м°С)]} \quad (1.2)$$

Коефіцієнт теплопровідності - одна з основних теплофізичних характеристик будівельних матеріалів. Тому, зміна коефіцієнтів теплопровідності залежно від об'ємної маси (ρ кг/м³) і стану вологості капілярно-пористих матеріалів, дуже впливає на якість будівництва. Коефіцієнт теплопровідності залежить також від природи матеріалів, їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури.

Мета теплофізичного розрахунку огорожувальних конструкцій - надання їм необхідних теплозахисних якостей. Для цього необхідно розрахувати термічний опір R однорідного обгороджування або окремого конструктивного шару, що входить до складу шаруватої конструкції :

$$R = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} \quad (1.3)$$

де $\delta_1 \dots \delta_n$ - товщина окремих шарів, м;

$\lambda_1 \dots \lambda_n$ - коефіцієнти теплопровідності матеріалів шарів.

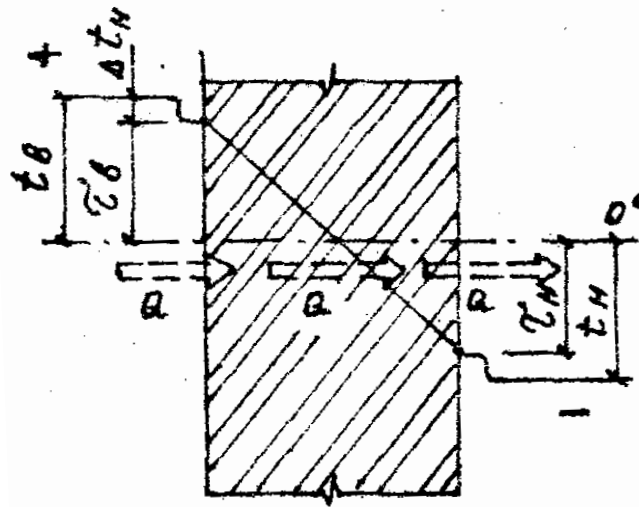


Рисунок 1.1 - Розподіл температур в однорідній огорожувальній конструкції, при постійному тепловому потоці

При передачі тепла через огорожувальну конструкцію відбувається падіння температури від t_6 до t_n . При цьому загальний температурний перепад $t_6 - t_n$ складається з суми трьох приватних температурних перепадів.

Кожен з цих температурних перепадів викликаний конкретним опором перенесенню тепла: перепад $t_6 - \tau_6$ - опором тепловосприяттю R_6 ; перепад $\tau_6 - \tau_n$ - термічним опором конструкції R ; перепад $\tau_n - t_n$ - опором тепловіддачі R_n .

Загальний опір огорожувальної конструкції теплопередачі R_o дорівнює сумі усіх окремих опорів:

$$R_o = R_6 + \sum \frac{\delta}{\lambda} + R_n, \text{ } ^\circ\text{Cm}^2 \text{ ч/ккал (} ^\circ\text{C m}^2/\text{Вт)} \quad (1.4)$$

Опір тепловосприяттю $R_6 \left(\frac{1}{\alpha_6} \right)$ залежить від розмірів приміщення, фактури поверхні обгороджування, швидкості конвекційних струмів повітря у поверхні, умов променистого теплообміну, а від величини перепаду $t_6 - \tau_6$.

Опір тепловіддачі $R_u \left(\frac{1}{\alpha_n} \right)$ залежить від висоти і поверховості будівель, швидкості вітру і умов променистого теплообміну.

Величини $\frac{1}{\alpha_g}$ і $\frac{1}{\alpha_n}$ - коефіцієнти тепловосприяття і тепловіддача.

Якщо тепловий потік Q , що проходить через огорожувальну конструкцію, при $Z=1$ і $F=1$ матиме вигляд:

$$Q = \frac{t_g - t_n}{R_o}, \text{ ккал/ (м}^2 \text{ ч) (Вт/м}^2) \quad (1.5)$$

А потік тепла, що проходить через внутрішню поверхню обгороджування, може бути виражений як $\frac{t_g - \tau_g}{R_o}$ тоді

$$\frac{t_g - \tau_g}{R_o} = \frac{t_g - t_n}{R_o}, \text{ ккал/(м}^2 \text{ ч) (Вт/м}^2) \quad (1.6)$$

з цієї рівності виходить, що

$$R_o = \frac{t_g - t_n}{t_g - \tau_g} R_g, \text{ }^\circ\text{C м}^2 \text{ ч/ккал (}^\circ\text{C м}^2\text{/Вт)} \quad (1.7)$$

Це рівняння використовується для визначення необхідних теплозахисних якостей огорожувальних конструкцій.

Якщо теплофізичний розрахунок робиться для обгороджувань, що відділяють опалювані приміщення від холодного горища, підвалу і підпілля, в яких температура повітря відрізняється від зовнішньої, то у формулу вводиться коефіцієнт, залежний від положення, зовнішньої поверхні обгороджування по відношенню до зовнішнього повітря.

Тоді:

$$R_{mp} = \frac{(t_g - t_n)}{t_g - \tau_n} R_g, \text{ }^\circ\text{C м}^2 \text{ ч/ккал (}^\circ\text{C м}^2\text{/Вт)} \quad (1.8)$$

Розрахункову зимову температуру повітря t_n $^\circ\text{C}$, слід приймати відповідно до глави СНиП по будівельній кліматології і геофізиці з урахуванням теплової інерції D огорожувальних конструкцій :

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + \dots + R_n S_n \quad (1.9)$$

де $R_1 R_2 R_n$ - термічний опір окремих шарів тій, огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \text{ч} \text{ } ^\circ\text{C}/\text{ккал}$;

$S_1 S_2 S_n$ - розрахункові коефіцієнти теплоусвоєння матеріалу окремих шарів огорожувальної конструкції $\text{ккал}/(\text{м}^2 \text{ч} \text{ } ^\circ\text{C})$

Обов'язковим результатом теплотехнічного розрахунку огорожувальних конструкцій має бути дотримання умови

$$R_o \geq R_o^{mp} \quad (1.10)$$

Але якщо при проектуванні будівель застосували обгороджування конструкції з повітряними прошарками, то значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення, визначимо по формулі:

$$\tau_e = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_o} R_e, \quad ^\circ\text{C} \quad (1.11)$$

Аналогічно можемо знайти значення температури τ_x на межі цього шару :

$$\tau_x = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_o} (R_o + R_x), \quad ^\circ\text{C} \quad (1.12)$$

де R_x - термічний опір шару, що граничить з приміщенням і має товщину x .

Зрозуміло, що температура на зовнішній поверхні огорожувальних конструкцій τ_n буде рівна:

$$\tau_n = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_o} (R_o + \sum R), \quad ^\circ\text{C} \quad (1.13)$$

де $\sum R$ - термічний опір усієї огорожувальної конструкції.

Конструкції будівель, що в основному захищають, неоднорідні в теплофізичному відношенні, оскільки має кути, отвори і стики різних елементів.

Наближений теплофізичний розрахунок неоднорідних огорожувальних конструкцій, полягає у визначенні середньої величини термічного опору :

- у напрямі, паралельному основному потоку тепла;
- у напрямі перпендикулярному до цього потоку.

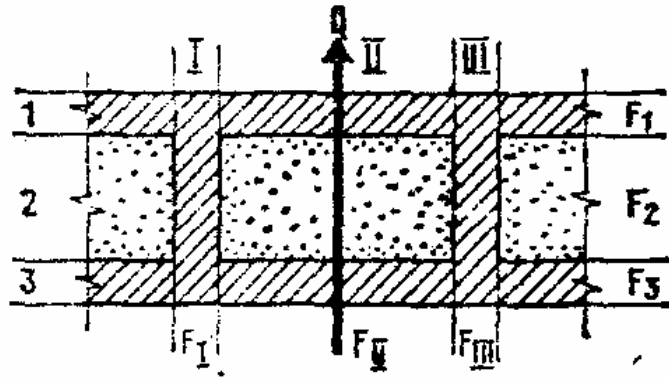


Рисунок 1.2 - Розрахункова схема неоднорідної огорожувальної конструкції

Для першого розрахунку огорожувальної конструкції подумки розрізаємо площинами паралельними потоку тепла, на окремі ділянки з різними теплофізичними властивостями. У даній конструкції це будуть ділянки I, II і III з площинами на поверхні F_I, F_{II}, F_{III} і термічними опорами R_I, R_{II}, R_{III} . Термічний опір кожної ділянки визначається по формулі:

$$R = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} \quad (1.14)$$

Середнє значення термічного опору за першим розрахунком буде:

$$R_{II} = \frac{F_I + F_{II} + F_{III}}{\frac{F_I}{R_I} + \frac{F_{II}}{R_{II}} + \frac{F_{III}}{R_{III}}}, \quad ^\circ\text{C м}^2 \text{ ч/ккал} \quad (^\circ\text{C м}^2/\text{Вт}) \quad (1.15)$$

Для другого розрахунку огорожувальної конструкції площинами, перпендикулярними до потоку тепла, розрізає на окремі шари. В результаті розрахункова схема обгороджування стає подібній шаруватій конструкції. У конструкції це буде ділянки 1, 2, 3.

Термічний опір однорідних шарів 1 і 3 визначимо як $R = \frac{\delta}{\lambda}$ а для обчислення термічного опору неоднорідного шару 2, спочатку визначається середня величина коефіцієнта теплопровідності λ_{cp} по формулі:

$$\lambda_{cp} = \frac{\lambda_1 F_1 + \lambda_2 F_2 + \lambda_3 F_3}{F_1 + F_2 + F_3}, \quad \text{ккал/ (м ч } ^\circ\text{C)} [\text{Вт/м } ^\circ\text{C}] \quad (1.16)$$

Тоді термічний опір шару буде рівний:

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_{cp}} \quad (1.17)$$

Термічний опір огорожувальної конструкції за другим розрахунком (у напрямі, перпендикулярному потоку тепла) буде :

$$R = \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_{cp}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} = R_1 + R_2 + R_3, \quad ^\circ\text{C м}^2 \text{ ч/ккал } (^\circ\text{C м}^2/\text{Вт}) \quad (1.18)$$

Оскільки R_{II} зазвичай перевищує дійсну величину термічного опору, а R менше цієї величини, тоді розрахункове значення $R_{расч}$ встановлюється як середня величина між результатом першого і другого розрахунків :

$$R_{расч} = \frac{R_{II} + R}{2}, \quad ^\circ\text{C м}^2 \text{ ч/ккал } (^\circ\text{C м}^2/\text{Вт}) \quad (1.19)$$

Розрахункова величина загального опору обгороджування теплопередачі $R_o^{расч}$ виходить підсумовуванням термічного опору ($R_{расч}$) з величинами опорів теплообміну (R_g і R_n)

$$R_o^{расч} = R_g + R_{расч} + R_n \quad ^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{ч/ккал } (^\circ\text{C} \cdot \text{м}^2/\text{Вт}) \quad (1.20)$$

Обов'язковим результатом цього розрахунку огорожувальної конструкції має бути дотримання умови

$$R_o^{расч} \geq R_o^{треб} \quad (1.21)$$

У квітні 2007г. набув чинності «ДБН В. 2.6-31:2006. Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель». Ці норми встановлюють вимоги до теплотехнічних показників конструкцій (теплоізоляційної оболонки), що захищають, будівель і споруд і порядку їх розрахунку з метою забезпечення раціонального використання енергетичних ресурсів на обігрів, забезпечення нормативних санітарно-гігієнічних параметрів мікроклімату приміщень, довговічності огорожувальної конструкції під час експлуатації будівель і споруд.

Положення норм повинні використовуватися при проектуванні опалюваних будівель і споруд у разі нового будівництва, реконструкції і

капітального ремонту (термомодернізації), при складанні енергетичного паспорта, визначенні витрат паливно-енергетичних ресурсів для опалювання будівель розрахунково-аналітичним методом, проведенні енергетичного обстеження будівель і споруд.

У зв'язку з незначними змінами кліматичних умов були внесені корективи в проектування теплоізоляційної оболонки будівель і споруд.

Для зовнішніх конструкцій опалюваних будівель і споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, що захищають, що розділяють приміщення, температури повітря в яких відрізняються на 3⁰С і більше, обов'язкове виконання умов :

$$R_{\Sigma \text{ пр}} \geq R_{q \text{ min}} \quad (1.22)$$

$$\Delta t_{\text{пр}} \leq \Delta t_{\text{сг}} \quad (1.23)$$

$$t_{\text{в min}} > t_{\text{min}} \quad (1.24)$$

де $R_{\Sigma \text{ пр}}$ - приведений опір теплопередачі огорожувальної конструкції , м²К/Вт;

$R_{q \text{ min}}$ - мінімальне допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції , м² К/Вт;

$\Delta t_{\text{пр}}$ - температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції , ⁰С;

$\Delta t_{\text{сг}}$ - допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції , ⁰С;

$t_{\text{в min}}$ - мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальної конструкції , ⁰С;

t_{min} - мінімальне допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього і зовнішнього повітря, ⁰С.

Мінімальне допустиме значення, Rq_{\min} , опору теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкціях, світлопрозорих огорожувальних конструкціях, і дверей житлових і громадських будинків приймається згідно таб. 1 залежно від температурної зони експлуатації будівлі, що приймається згідно з картою-схемою температурних зон України (рис. 1.3).

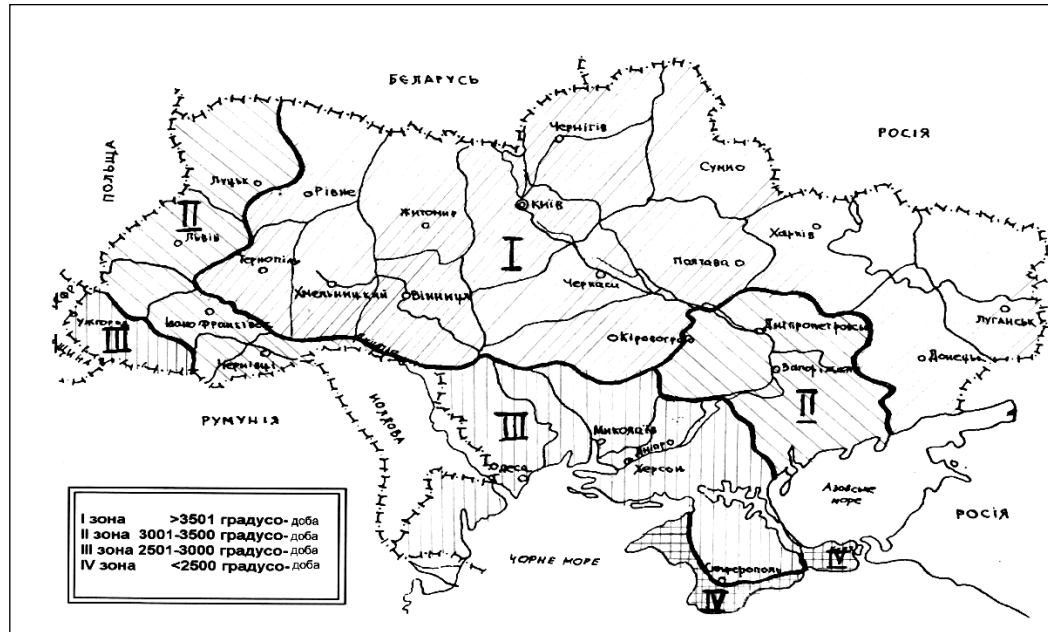


Рисунок 1.3 - Карта-схема температурних зон України

Таблиця 1.1 - Мінімальне допустиме значення опору теплопередачі конструкції житлових і громадських будівель Rq , що захищає, \min , $\text{м}^2 \text{ К/Вт}$

Поз.	Вид огорожувальної конструкції	Значення Rq_{\min} , для температурної зони			
		I	II	III	IV
1	Зовнішні стіни	2,8	2,5	2,2	2,0
2а*	Покриття і перекриття	4,95	4,5	3,9	3,3
2б	неопалюваних горищ	3,3	3,0	2,6	2,2

3	Перекриття над проїздами і холодними підвалами, що граничать з холодним повітрям	3,5	3,3	3,0	2,5
4	Перекриття над неопалюваними підвалами, що розташовані вище за рівень землі	2,8	2,6	2,2	2,0
5а*	Перекриття над неопалюваними	3,75	3,45	3,0	2,7
5б	підвалами, що розташовані нижче рівня землі*	2,5	2,3	2,0	1,8
6а*	Вікна, балконні двері, вітрини,	0,6	0,56	0,5	0,45
6б	вітражі, світлопрозорі фасади	0,5	0,5	0,5	0,45
7	Вхідні двері у багатоквартирні житлові будинки і в громадські будинки	0,44	0,41	0,39	0,32
8	Вхідні двері в малоповерхові будинки і в квартири, що розташовані на перших поверхах багатопверхових будинків	0,6	0,56	0,54	0,45
9	Вхідні двері в квартири, що розташовані вище за перший поверх	0,25	0,25	0,25	0,25
* Для будинків садибного типу і будинків до 4 поверхів включно					

Мінімально допустима температура внутрішньої поверхні, t_{min} , непрозорих огорожувальних конструкціях, в зонах теплопровідних включень, в кутах і укосах віконних і дверних отворах при розрахунковому значенні температури зовнішнього повітря, прийнятому залежно від температурної зони експлуатації будинку згідно з таблицею 1.2, має бути не менше чим температура точки роси, t_p , за розрахунковими значеннями

температури і відносної вологості внутрішнього повітря, які приймаються залежно від призначення будівлі згідно з таблицею 1.3.

Таблиця 1.2 - Розрахункові температури зовнішнього повітря (для оцінки температурного режиму теплопровідних включень огорожувальних конструкцій, повітропроникності і теплостійкості).

Температурна зона	I	II	III	IV
Розрахункова температура зовнішнього повітря, °C	мінус 22	мінус 20	мінус 18	мінус 12

Таблиця 1.3 - Розрахункові значення температури і вологості повітря приміщень.

Призначення будівель	Розрахункова температура внутрішнього повітря тв, °C	Розрахункове значення відносної вологості фв, %
Житлові	20	55
Цивільні і адміністративні	20	50-60
Лікувальні і дитячі учбові установи	21	50
Дошкільні установи	22	50

Мінімальна температура на внутрішній поверхні, t_{min} , світлопрозорих огорожувальної конструкції житлових і громадських будинків включаючи стулки, коробки і зони дистанційних рамок, при розрахунковому значенні температури зовнішнього повітря, прийнятому згідно з таблицею 1.2, має бути не менше чим 4°C, а для непрозорих елементів - не менше чим температура точки роси, t_p , за розрахунковими значеннями температури і відносної вологості внутрішнього повітря.

Розрахункове визначення приведенного опору теплопередачі огорожувальної конструкції. Опір теплопередачі термічно однорідній непрозорій огорожувальної конструкції розраховується по формулі:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n R_i + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_{i\text{п}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}} \quad (1.25)$$

де $\alpha_{\text{в}}$, $\alpha_{\text{з}}$ - коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, Вт/(м² К);

R_i - термічний опір і -го шару конструкції, м² К/Вт;

$\lambda_{i\text{п}}$ - теплопровідність матеріалу і -го шару конструкції в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м К).

Приведений опір теплопередачі термічно неоднорідній непрозорій огорожувальної конструкції розраховується за формулою:

$$R_{\Sigma\text{пр}} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \sum_{j=1}^J \frac{R_j F_j}{F_{\Sigma}} + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}} \quad (1.26)$$

де R_j - термічний опір термічно однорідної зони, яке визначається експериментально або на підставі результатів розрахунків двовимірного (тривимірного) температурного поля і розраховується по формулі

$$R_j = \frac{\bar{\tau}_{\text{в}j} - \bar{\tau}_{\text{з}j}}{q_j} \quad (1.27)$$

де $\tau_{\text{в}}$, $\tau_{\text{з}}$ - середні температури внутрішньої і зовнішньої поверхні термічно однорідної зони, °С, відповідно;

q_j - щільність теплового потоку крізь термічно однорідну зону, Вт/м²;

F_j - площа j -ої термічно однорідної зони, м²;

F_{Σ} - площа огорожувальної конструкції м².

Введення «ДБН В. 2.6-31:2006. Конструкції будівель і споруд. Теплова ізоляція будівель» значно спростило розрахункове визначення приведенного опору теплопередачі огорожувальної конструкції, і теплотехнічний розрахунок в цілому. Оскільки мінімальне допустиме значення опору теплопередачі непрозорій огорожувальної конструкції, або непрозорій частині огорожувальної конструкції, вже відомо і приймається по таблиці

залежно від температурної зони експлуатації згідно з картою-схемою температурних зон України. Для цивільних будівель немає необхідності приймати розрахункову зимову температуру повітря відповідно до ДБН по будівельній кліматології і геофізиці і з урахуванням теплової інерції D огорожувальних конструкцій.

Прийняті нові нормативні вимоги збільшили значення опору теплопередачі, тим самим, змусивши переглянути конструктивні рішення огорожувальних конструкцій.

1.3 Вологий стан огорожувальних конструкцій та загальні положення розрахунку паропроникності

В той же час на огорожувальну конструкцію впливають і водяні пари, що містяться у внутрішньому і зовнішньому середовищі. Причому в теплому повітрі приміщення водяної пари завжди більше ніж в холодному повітрі зовнішнього середовища. Це створює різницю їх тиску і відповідно викликає паропроницання через товщу стіни.

Міра насичення повітря водяними парами характеризується поняттям відносна вологість - φ , %

$$\varphi = \frac{e}{E} 100 \quad (1.28)$$

де e - фактична пружність водяної пари тих, що містяться в повітрі, мм рт.ст. (Па);

E - граничне значення пружності водяної пари (максимальна пружність водяної пари) для повітря при цій температурі і барометричному тиску, мм рт.ст. (Па).

Відносна вологість також є нормованим параметром внутрішнього середовища приміщення і може викликати негативні явища, як для комфортності приміщення з гігієнічної точки зору, так і захищають конструкцій, що утворюють його. До чинників, що впливають на відносну

вологість повітря в приміщенні, відносяться температура і пружність водяної пари (e). Так, при постійному значенні e , зміна температури відповідно змінює і максимальну пружність водяної пари E , а саме, при підвищенні температури максимальна пружність водяної пари збільшується і, навпаки, при охолодженні повітря величина E зменшується. А так само може виявитися, що $e = E$, при якому настає повне насичення повітря водяними парами. По формулі така рівність означає 100% відносну вологість.

Це може статися і при постійній температурі повітря, але при підвищенні або пониженні пружності водяної пари, оскільки значення максимальної пружності водяної пари залишається постійним. У першому і в другому випадку причиною повного насичення повітря водяними парами є його температура що називається температурою точки роси.

Оскільки температура внутрішньої поверхні зовнішніх огорожувальної конструкції в холодну пору року нижча температури внутрішнього повітря, то тонкий повітряний шар, прилеглий до поверхні зовнішніх обгороджувальних, охолоджується до температури самої поверхні, і внаслідок чого теж може досягти точки роси.

Тому, щоб уникнути появи конденсату в приміщеннях з високою вологістю повітря температуру на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції приймати не нижче температури точки роси.

Так само при проникненні водяної пари через шар матеріалу останній чинить опір паропроникцанию R_n яке визначається по формулі:

$$R_n = \frac{\delta}{\mu}, \text{ мм рт.ст. ч м}^2/\text{г (Па с/г)} \quad (1.29)$$

де δ - товщина шару, м;

μ - розрахунковий коефіцієнт паропроникцанию матеріалу шару огорожувальної конструкції мм рт. ст. ч м²/г (Па с/г).

Повний опір паропроникцанию шаруватой огорожувальної конструкції обчислюється за формулою:

$$R_{on} = R_{en} + \sum \frac{\delta}{\mu} + R_{in}, \text{ мм рт.ст. ч м}^2/\text{Г (Па с/Г)} \quad (1.30)$$

де $\sum \frac{\delta}{\mu}$ - сума опорів паропрониканню усіх конструктивних шарів обгороджування, м² ч мм рт. ст./Г (Па с/Г);

R_{en} і R_{in} - опори звогообміну на поверхнях, що протилежать конструкцій мм рт. ст. ч м²/р.

Величини опорів звогообміну на поверхнях огороджувальної конструкції залежать від відносної вологості повітря, яка стикається з поверхнею. Наближене значення опору звогообміну R_{en} встановлюється по формулі:

$$R_{en} = k(1 - \frac{\varphi}{100}) \text{ мм рт.ст. м}^2 \text{ ч/Г} \quad (1.31)$$

де $k=1$ мм рт.ст. м² ч/Г або $4,81 \cdot 10^5$ Па с/Г;

φ - відносна вологість повітря приміщення, %.

З формули виходить, що потік водяної пари зустрічає менше опору при проникненні через зволожені поверхні огороджувальної конструкції в порівнянні з опорами на поверхні сухих конструкцій.

При дифузії через огороджувальну конструкцію парціональное тиск водяної пари знижується від величини e_{en} до величини e_{in} за рахунок загального опору конструкції паропрониканню.

Величина e_x у довільному перерізі огороджувальної конструкції (наприклад, на межах конструктивних шарів) по формулі:

$$e_x = e_e - \frac{e_e - e_n}{R_{on}} (\sum_{x-1} R_n + R_{en}) \quad (1.32)$$

де e_x - парціональное тиск водяної пари в довільному перерізі мм рт.ст.;

R_{on} - опір паропрониканню конструкції в цілому мм рт.ст. м² ч/Г;

$\sum_{x-1} R_n$ - сума опорів паропрониканню шарів конструкції, розташованих між внутрішньою поверхнею і розглядається перерізом мм рт. ст. м² ч/Г ;

R_{en} - опір зволоженню на внутрішній поверхні тієїгороджувальної конструкції мм рт. ст. m^2 ч/р.

Можливість конденсації вологи усередині конструкції, що захищає, також можна перевірити графічно.

Перш ніж побудувати усередині огорожувальної конструкції лінії розподілу температур τ розіб'ємо конструкцію на окремі шари. Потім вичислимо температури на їх межах, використовуючи формули:

$$\tau_0 = t_0 - \frac{t_0 - t_n}{R_0} R_0, \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.33)$$

$$\tau_x = t_0 - \frac{t_0 - t_n}{R_0} (R_0 + R_x), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.34)$$

$$\tau_n = t_0 - \frac{t_0 - t_n}{R_0} (R_0 + \sum R), \text{ } ^\circ\text{C} \quad (1.35)$$

Відповідно до значень вичислених температур будується лінія величин насиченого парціального тиску водяної пари E .

Потім обчислюємо значення парціальних тисків e за формулою:

$$e_x = e_0 - \frac{e_0 - e_n}{R_{on}} (\sum_{x-1} R_n + R_{en}), \text{ мм рт. ст. (Па)} \quad (1.36)$$

Якщо усередині конструкції не відбувається перетину ліній E і e , то це вказує на те, що осідання конденсату вологи усередині цієї конструкції не станеться, тому що парціальний тиск водяної пари нижчий насиченого.

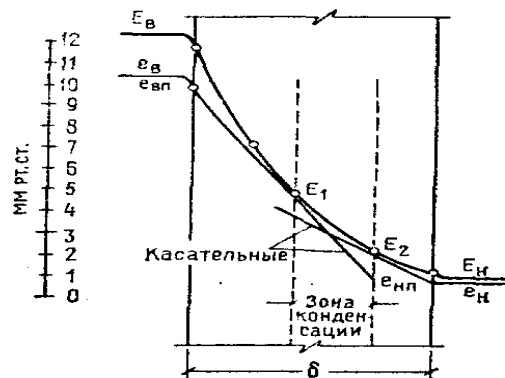


Рисунок 1.4 - Визначення меж зон конденсації

І, навпаки, при перетині лінії E і e усередині огорожувальної конструкції можлива конденсація вологи. Зона можливої конденсації розташовується між точками E_1 і E_2 . Для того, щоб унеможливити конденсацію вологи, потрібне облаштування у внутрішньої поверхні конструкції вологоізоляції.

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГРОЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ СУЧАСНИХ ГРОМАДЯНСЬКИХ БУДІВЕЛЬ

Після введення нових нормативів по енергозбереженню і теплозахисту будівель застосування традиційних для України будівельних матеріалів і технічних рішень не забезпечує необхідний термічний опір зовнішніх огорожувальних конструкцій що вимагає радикального перегляду принципів проектування і будівництва будівель.

Одним з шляхів підвищення енергоефективності будівельних конструкцій житлових, громадських і виробничих будівель, являється застосування ефективних утеплювачів в конструкціях їх зовнішніх стін, покриттях, перекриттях і перегородках. Існуючі варіанти утеплення будівель відрізняються, як конструктивними рішеннями, так і використовуваними в конструкціях матеріалами.

Чи не усі нові будівельні вироби і технології, що з'явилося останнім часом, належать «швидких». Чи йде мова про панельне, каркасне будівництво або методику незнімної опалубки - скрізь видно один результат: зведення будівель в коротші терміни, чим раніше.

Як показує практика, сьогодні навіть «супершвидке» панельне житло може бути одночасно і якісним, і оригінальним. Будівля є принципово новою конструкцією: вона стоїть на монолітних стовпах, і у неї немає підвалу.

Характеристики самої будівлі багато в чому унікальні: наприклад, уперше в індустріальному житловому будівництві застосована система відкритого проектування. Висота житлового поверху при цьому - 3,3м (максимальна цифра для будівель, побудованих індустріальним методом). На типових поверхах відсутні внутрішні стіни, що несуть, що дозволяє створювати приміщення будь-яких розмірів.

Якщо панельне житлове будівництво існує в Україні вже багато років, то так звані «легені будівельні конструкції» з'явилися в нашій країні не так давно. Одна з їх ключових переваг полягає, як це видно з назви, в малій вазі. На практиці це дає можливість значно зменшити терміни діяльності, пов'язаної із зведенням фундаменту. А, як відомо, роботи «на нульовому циклі» - одні з найтриваліших.

Монолітне і монолітно-цегляне житло зводиться з кінця 90-х років по індивідуальних проектах. Орієнтовано воно винятково на ринковий попит, що, як правило, позитивно позначається на якості, проте по кишені дуже і дуже небагатьом, оскільки вимагає серйозних первинних капіталовкладень (наприклад, для придбання опалубки). Правда, подальші витрати - нижче, ніж при будівництві цегляного будинку. Залізобетонні конструкції робляться прямо на будмайданчику, що дозволяє стати незалежними від заводів і комбінатів, а також транспортних витрат. Несучі стіни можуть бути відносно тонкими - досить 12см. Розрахунки показують, що на будівництво 1 квадратного метра житлової площі при зведенні монолітно-цегляних будівель йде 0,4-0,56 кубометра бетону, при будівництві цегляних будинків - 0,5-0,6, а панельних - 0,6-0,7 кубометра.

Монолітне житло відрізняється, як правило, високими теплоізоляційними характеристиками. Зазвичай тут використовуються багат шарові конструкції із застосуванням утеплювача і одним-двома шарами цегляної кладки. Усе це укупі з сучасними вікнами і зашкеленими балконами дає хорошу тепло- і звукоізоляцію. Головні переваги монолітних будинків - їх довговічність і сейсмоустойчивість.

Тепер про зворотну сторону. Тоді як цегляні будинки можуть приймати будь-який архітектурний вигляд, функцію, що несе, в деяких типах монолітних будинків виконують внутрішні стіни, а це означає, що зносити або переносити їх заборонено. Внутрішнє перепланування квартир можливе в

підвиді монолітних будинків - монолітно-каркасних будинках, де несуть є не стіни, а колони.

Альтернативою цегляних будівель може вважатися каркасна система із стінами поетажної розрізання комплексної (полістиролбетонные або газобетонні блоки з облицюванням цеглиною) конструкції. Як система, що несе, використовується безригельний каркас з натягненням арматури, що розташовується в створі колон. Переkritтя з пустотних плит заввишки 220мм. Колони перерізом 300х300 або 400х400 мм. Каркас працює по рамно-зв'язковій системі, сприймаючи рамами вертикальне навантаження, а навантаження, що викликають горизонтальні переміщення будівлі, - діафрагмами жорсткості.

У усіх цивільних будівель в м. Запоріжжя огорожувальні конструкції проектуються з розрахунку забезпечення термічного опору, який визначався у відповідність з діючими будівельними нормами і складає 2.5м² К/Вт.

А кліматичні умови, при яких ці будівлі зводили і експлуатуються, виглядають таким чином: літо тепле, зима м'яка.

Вага снігового покриву 1110 Па (ДБН В. 1.2-2:2006 Навантаження і дії. Норми проектування).

Кількість випаданих опадів - 510мм в рік.

Глибина промерзання ґрунтів - 80см

У зимовий період - мінімальна температура складає - 32°C,
середня температура в січні - 4.2°C.

У літній період - максимальна температура складає +41°C,
середня температура в липні +22°C.

Відносна вологість повітря : взимку - 85%, влітку - 63%.

Взимку панують північно-східні вітри з максимальною швидкістю 5м/с.

В якості аналізованих об'єктів приймемо будівлі: з силікатної цеглини, одношарові панельні огорожувальні конструкції і стіни монолітно-каркасної будівлі з газобетонних блоків.

2.1 Теплотехнічні характеристики цегляних стін цивільних будівель

Розглянемо приклад цегляної стіни (колодцева кладка) :

- перший шар - внутрішній фактурний з вапняно-піщаного розчину ($\delta = 0.015\text{м}; \lambda = 0.76 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.09\text{мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.012\text{г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);
- другий шар - цеглина силікатна ($\delta = 0.370\text{м}; \lambda = 0.76 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.11\text{мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.014\text{г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);
- третій шар - плита мінераловатна ($\delta = 0.12\text{м}; \lambda = 0.064 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.37\text{мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.049\text{г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);
- четвертий шар - цеглина силікатна ($\delta = 0.120\text{м}; \lambda = 0.76 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.11\text{мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.014\text{г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$).
- температура внутрішнього повітря $t_e = 20^\circ\text{C}$
- вологість повітря $\varphi = 55\%$
- режим вологості приміщення - нормальний;
- умови експлуатації обгороджування - А.

Визначаємо термічний опір окремих шарів :

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.015}{0.76} = 0.020;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0.14}{0.064} = 2.18;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.250}{0.76} = 0.34;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0.120}{0.76} = 0.16$$

де $\delta_{1,2,..,n}$ - товщина відповідного шару, м²;

$\lambda_{1,2,..,n}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шарів, залежний від природи матеріалів і їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури, Вт/ (м К).

Визначаємо загальний опір теплопередачі обгороджування :

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^{n_i} R_j + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8.7} + 0.020 + 0.34 + 2.18 + 0.16 + \frac{1}{23} = 2.7$$

де α_e - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/ (м²К);

α_n - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/ (м²К).

$$R_{\Sigma} = 2.7 \text{ м}^2 \text{ Д} \text{о} / \text{В} \text{т} > R_{q \text{ min}} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К} / \text{В} \text{т}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова дотримується.

При потоці тепла, що встановився, розподіл температур усередині конструкції, що захищає, підкоряється певним закономірностям, і значення температури може бути легко вичислене для кожного шару конструкції.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожувальної конструкції:

$$t_{(x)} = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right)$$

Спершу визначимо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_e = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \frac{1}{\alpha_e} = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.725} * \frac{1}{8.7} = 18.3^{\circ} \text{C}$$

$$t_1 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.725} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.02 \right) = 20 - (14.68 * 0.134) = 18^{\circ} \text{C}$$

$$t_2 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.725} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.49 \right) = 20 - (14.68 * 0.624) = 10.8^{\circ} \text{C}$$

$$t_3 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.725} * \left(\frac{1}{8.7} + 1.88 \right) = 20 - (14.68 * 2.504) = -16.8^{\circ} \text{C}$$

Температура на зовнішній поверхні огорожувальної конструкції t_n буде рівна:

$$t_n = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.725} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.55 \right) = 20 - (14.68 * 2.664) = -19.1^{\circ} \text{C}$$

Виходячи зі значень температури, визначимо максимальний парціональное тиск:

$$t_6 = 18.3^0 C \quad E = 15.8 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_1 = 18^0 C \quad E = 15.48 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_2 = 10.8^0 C \quad E = 9.7 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_3 = -16.8^0 C \quad E = 1.55 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_n = -19.1^0 C \quad E = 0.84 \text{ мм рт.ст}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_6 - \frac{e_6 - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_6 = 0.01 \cdot \varphi_6 \cdot E_6 = 0.01 \cdot 55 \cdot 15.8 = 8.7$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.82 = 0.67$$

де e_6 - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_6 - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникнення огорожувальної конструкції, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 1.25 + 26.43 + 2.45 + 8.57 = 38.7$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0.015}{0.012} = 1.25 ;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0.12}{0.049} = 2.45 ;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0.250}{0.014} = 26.43 ;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.140}{0.014} = 8.57$$

R_{ex} - опір паропроникнення що захищають конструкції на відстані χ від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.67}{38.7} \cdot 1.65 = 8.4$$

$$e_2 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.67}{38.7} \cdot 28.08 = 3.01$$

$$e_3 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.67}{38.7} \cdot 30.53 = 1.52$$

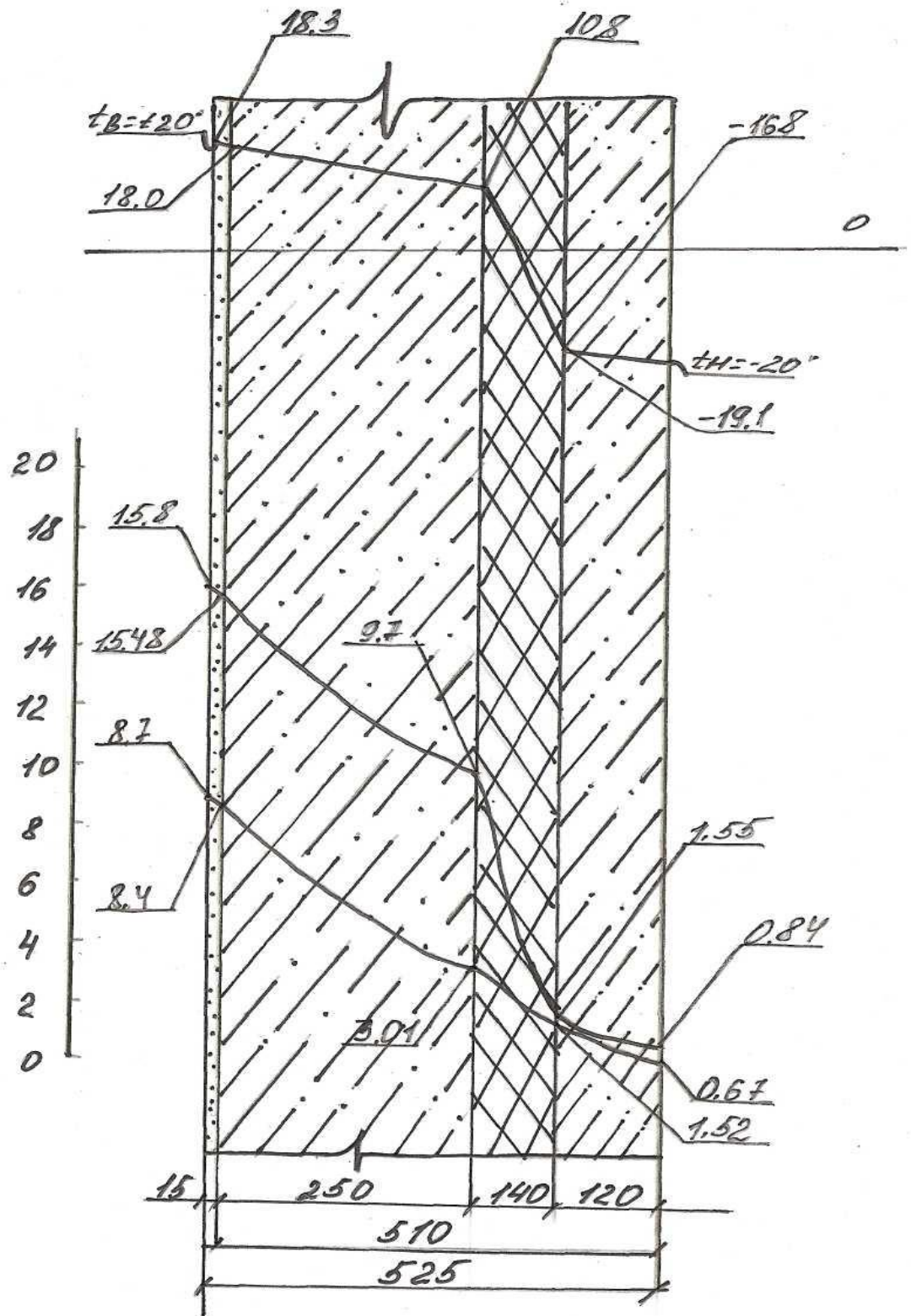


Рисунок 2.1 - Зміна температури і пружності водяної пари в товщі цегляної стіни

2.2 Теплотехнічні характеристики стін панельних будівель

Проаналізуємо режим температурної вологості тришарової панелі :

- перший шар - внутрішній фактурний з вапняно-піщаного розчину ($\delta = 0.010\text{м}; \lambda = 0.76 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.09\text{мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.012\text{г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);
- другий шар - важкий залізобетон ($\delta = 0.100\text{м}; \lambda = 1.92 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.03\text{мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.004\text{г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);
- третій шар - плита мінераловатна ($\delta = 0.180\text{м}; \lambda = 0.064 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.37\text{мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.049\text{г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);
- четвертий шар - важкий залізобетон ($\delta = 0.050\text{м}; \lambda = 1.92 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.03\text{мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.004\text{г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);
- п'ятий шар - зовнішній фактурний з цементно-піщаного розчину ($\delta = 0.010\text{м}; \lambda = 0.7 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.12\text{мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.014\text{г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$).
- температура внутрішнього повітря $t_e = 20^\circ \text{C}$
- вологість повітря $\varphi = 55\%$
- режим вологості приміщення - нормальний;
- умови експлуатації обгороджування - А.

Визначаємо термічний опір окремих шарів :

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.010}{0.76} = 0.013;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0.05}{1.92} = 0.029;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.100}{1.92} = 0.052;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{0.01}{0.7} = 0.021$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0.18}{0.064} = 2.34$$

де $\delta_{1,2,..,n}$ - товщина відповідного шару, м²;

$\lambda_{1,2,..,n}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шарів, залежний від природи матеріалів і їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури, Вт/ (мК).

Визначасмо загальний опір теплопередачі обгороджування :

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_g} + \sum_{i=1}^{n'} R_j + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8.7} + 0.013 + 0.52 + 2.34 + 0.029 + 0.021 + \frac{1}{23} = 2.61$$

де α_g - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/ (м² К);

α_n - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/ (м²К).

$$R_{\Sigma} = 2.61 \text{ м}^2 \text{ К/Вт} > R_{q\text{min}} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова дотримується.

При потоці тепла, що встановився, розподіл температур усередині конструкції, що захищає, підкоряється певним закономірностям, і значення температури може бути легко вичислене для кожного шару конструкції.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожувальної конструкції :

$$t_{(x)} = t_g - \frac{t_g - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_x \right)$$

Спершу визначимо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_g = t_g - \frac{t_g - t_n}{R_{\Sigma}} * \frac{1}{\alpha_g} = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.61} * \frac{1}{8.7} = 18.25^{\circ} \text{ C}$$

$$t_1 = t_g - \frac{t_g - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.61} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.013 \right) = 20 - (15.33 * 0.127) = 18.05^{\circ} \text{ C}$$

$$t_2 = t_g - \frac{t_g - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.61} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.065 \right) = 20 - (15.33 * 0.179) = 17.26^{\circ} \text{ C}$$

$$t_3 = t_g - \frac{t_g - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.61} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.405 \right) = 20 - (15.33 * 2.519) = -18.6^{\circ} \text{ C}$$

$$t_4 = t_g - \frac{t_g - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.61} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.434 \right) = 20 - (15.33 * 2.548) = -19.06^{\circ} \text{ C}$$

Температура на зовнішній поверхні огорожувальної конструкції t_n буде рівна:

$$t_n = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.61} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.455 \right) = 20 - (15.33 * 2.569) = -19.38^{\circ}C$$

Виходячи зі значень температури, визначимо максимальний парціонанльное тиск:

$$t_e = 18.25^{\circ}C \quad E = 15.73 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_1 = 18.05^{\circ}C \quad E = 15.53 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_2 = 17.26^{\circ}C \quad E = 14.88 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_3 = -18.6^{\circ}C \quad E = 0.89 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_4 = -19.06^{\circ}C \quad E = 0.85 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_n = -19.38^{\circ}C \quad E = 0.82 \text{ мм рт.ст}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_e - \frac{e_e - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_e = 0.01 \cdot \varphi_e \cdot E_e = 0.01 \cdot 55 \cdot 15.73 = 8.7$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.82 = 0.67$$

де e_e - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_e - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникнення огорожувальної конструкції, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.83 + 25 + 3.06 + 13.75 + 0.94 = 43.58$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0.010}{0.012} = 0.83 ;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.05}{0.044} = 13.75 ;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0.100}{0.004} = 25 ;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\mu_5} = \frac{0.01}{0.016} = 0.94$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0.18}{0.049} = 3.06 ;$$

R_{ex} - опір паропроникнення огорожувальної конструкції на відстані χ від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.67}{43.58} \cdot 1.23 = 8.5$$

$$e_2 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.67}{43.58} \cdot 26.23 = 3.9$$

$$e_3 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.67}{43.58} \cdot 29.29 = 3.3$$

$$e_3 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.67}{43.58} \cdot 43.04 = 0.84$$

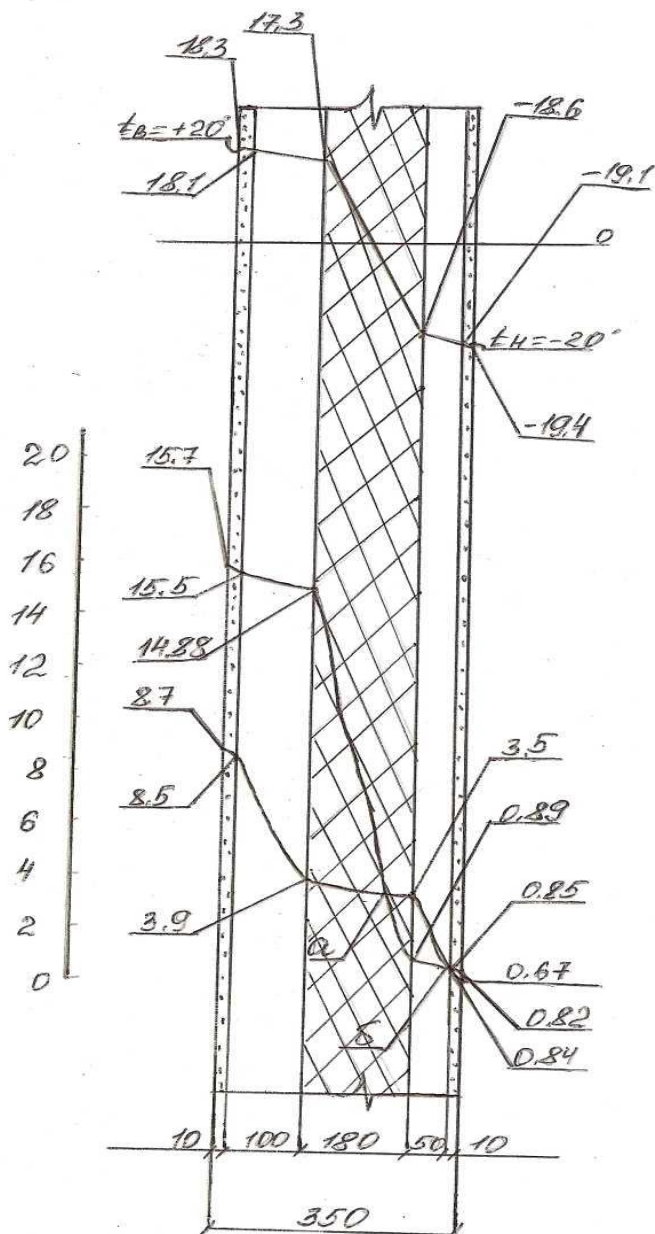


Рисунок 2.2 - Зміна температури і пружності
водяної пари в товщі панелі

2.3 Теплотехнічні характеристики монолітно-каркасних будівель

Розглянемо приклад навісної одношарової панелі :

- перший шар - внутрішній фактурний з вапняно-піщаного розчину ($\delta = 0.010\text{ м}$; $\lambda = 0.76 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.09\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.012\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- другий шар - комірчастий бетон ($\gamma = 700\text{ кг/м}^3$; $\delta = 0.29\text{ м}$; $\lambda = 0.24 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.16\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.021\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- третій шар - плита з пінополістиролу ($\delta = 0.08\text{ м}$; $\lambda = 0.04 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.05\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.006\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- четвертий шар - фасадне облицювання ($\delta = 0.02\text{ м}$; $\lambda = 0.96 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.06\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.008\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$).
- температура внутрішнього повітря $t_e = 20^\circ \text{ C}$
- вологість повітря $\varphi = 55\%$
- режим вологості приміщення - нормальний;
- умови експлуатації обгороджування - А.

Визначаємо термічний опір окремих шарів :

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.010}{0.76} = 0.013 \quad ; \quad R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0.08}{0.04} = 2;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.29}{0.24} = 1.42; \quad R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0.020}{0.96} = 0.01$$

де $\delta_{1,2,..,n}$ - товщина відповідного шару, м²;

$\lambda_{1,2,..,n}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шарів, залежний від природи матеріалів і їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури, Вт/ (м К).

Визначаємо загальний опір теплопередачі обгороджування :

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_g} + \sum_{i=1}^{n_i} R_j + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8.7} + 0.013 + 1.42 + 2.5 + 0.01 + \frac{1}{23} = 3.443$$

де α_e - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі внутрішньої поверхні конструкції, що захищає, Вт/ (м² К);

α_n - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/ (м²К).

$$R_{\Sigma} = 3.443 \text{ м}^2 \text{ К/Вт} > R_{q_{\min}} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова дотримується.

При потоці тепла, що встановився, розподіл температур усередині конструкції, що захищає, підкоряється певним закономірностям, і значення температури може бути легко вичислене для кожного шару конструкції.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожувальної конструкції:

$$t_{(x)} = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right)$$

Спершу визначимо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_e = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \frac{1}{\alpha_e} = 20 - \frac{20 - (-20)}{3.443} * \frac{1}{8.7} = 18.8^{\circ} \text{C}$$

$$t_1 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{3.443} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.013 \right) = 20 - (10.88 * 0.127) = 18.6^{\circ} \text{C}$$

$$t_2 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{3.443} * \left(\frac{1}{8.7} + 1.433 \right) = 20 - (10.88 * 1.127) = 7.7^{\circ} \text{C}$$

$$t_3 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{3.443} * \left(\frac{1}{8.7} + 3.513 \right) = 20 - (10.88 * 3.623) = -19.5^{\circ} \text{C}$$

Температура на зовнішній поверхні огорожувальної конструкції t_n буде рівна:

$$t_n = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{3.443} * \left(\frac{1}{8.7} + 3.583 \right) = 20 - (10.88 * 3.637) = -19.6^{\circ} \text{C}$$

Виходячи зі значень температури, визначимо максимальний парціальний тиск:

$$t_e = 18.8^{\circ}C \quad E = 16.3 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_1 = 18.6^{\circ}C \quad E = 16.1 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_2 = 7.7^{\circ}C \quad E = 7.9 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_3 = -19.5^{\circ}C \quad E = 0.87 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_n = -19.6^{\circ}C \quad E = 0.8 \text{ мм рт.ст}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_e - \frac{e_e - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_e = 0.01 \cdot \varphi_e \cdot E_e = 0.01 \cdot 55 \cdot 16.3 = 8.97$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.8 = 0.66$$

де e_e - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_e - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникнення огорожувальної конструкції, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.83 + 11.43 + 16.67 + 1.25 = 30.18$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0.010}{0.012} = 0.83$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0.29}{0.021} = 11.43$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0.08}{0.006} = 16.67$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.02}{0.008} = 1.25$$

R_{ex} - опір паропроникнення огорожувальної конструкції на відстані χ від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 8.97 - \frac{8.97 - 0.66}{30.18} \cdot 1.23 = 8.6$$

$$e_2 = 8.97 - \frac{8.97 - 0.66}{30.18} \cdot 12.66 = 5.5$$

$$e_3 = 8.97 - \frac{8.97 - 0.66}{30.18} \cdot 29.33 = 0.83$$

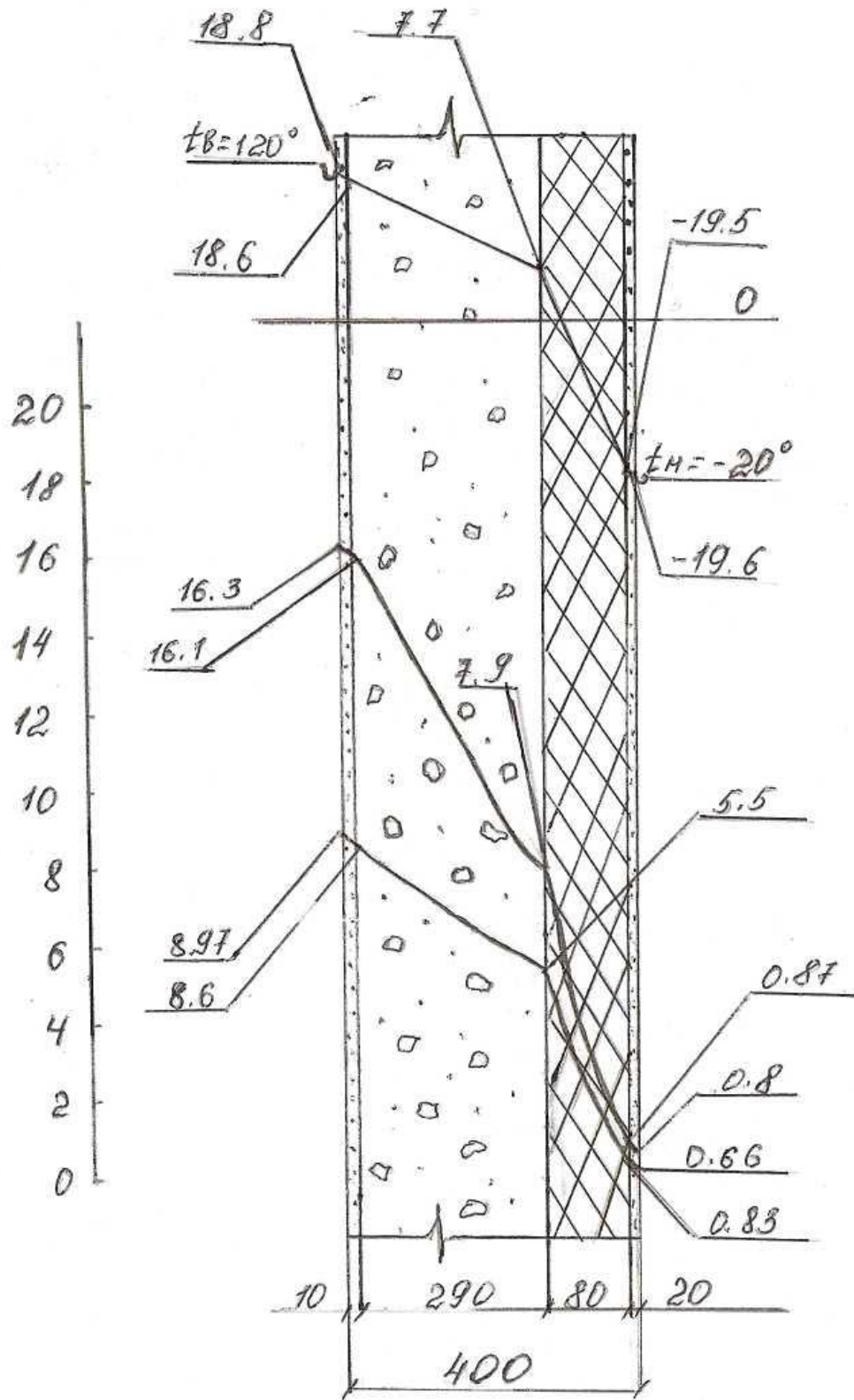


Рисунок 2.3 - Зміна температури і пружності водяної пари в товщі панельної стіни

Розглянемо приклад монолітно-каркасної будівлі, стіни якої виконані з газобетонних блоків :

- перший шар - внутрішній фактурний з вапняно-піщаного розчину ($\delta = 0.010\text{ м}$; $\lambda = 0.76 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.09\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.012\text{ Г/(м ч мм рт.ст)}$);

- другий шар - газобетон ($\delta = 0.300\text{ м}$; $\lambda = 0.44 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.098\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.012\text{ Г/(м ч мм рт.ст)}$);

- третій шар - плита з пінополістиролу ($\delta = 0.080\text{ м}$; $\lambda = 0.04 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.05\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.006\text{ Г/(м ч мм рт.ст)}$);

- четвертий шар - облицювальна цеглина ($\delta = 0.06\text{ м}$; $\lambda = 0.47 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.17\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.021\text{ Г/(м ч мм рт.ст)}$).

- температура внутрішнього повітря $t_e = 20^\circ \text{ C}$

- вологість повітря $\varphi = 55\%$

- режим вологості приміщення - нормальний;

- умови експлуатації обгороджування - А.

Визначаємо термічний опір окремих шарів :

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.01}{0.76} = 0.013;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0.08}{0.04} = 2;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.30}{0.44} = 0.68;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0.06}{0.47} = 0.13$$

де $\delta_{1,2,..,n}$ - товщина відповідного шару, м²;

$\lambda_{1,2,..,n}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шарів, залежний від природи матеріалів і їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури, Вт/ (м К).

Визначаємо загальний опір теплопередачі обгороджування :

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^n R_j + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8.7} + 0.013 + 0.68 + 2 + 0.13 + \frac{1}{23} = 2.823$$

де α_e - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі внутрішньої поверхні огорожувальні конструкції, Вт/ (м² К);

α_n – розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції, Вт/ (м² К).

$$R_{\Sigma} = 2.823 \text{ м}^2 \text{ К/Вт} > R_{q_{\min}} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова дотримується.

При потоці тепла, що встановився, розподіл температур усередині огорожувальної конструкції, підкоряється певним закономірностям, і значення температури може бути легко вичислене для кожного шару конструкції.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожувальної конструкції :

$$t_{(x)} = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right)$$

Спершу визначимо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_e = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \frac{1}{\alpha_e} = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.823} * \frac{1}{8.7} = 18.3^{\circ} \text{ C}$$

$$t_1 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.823} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.013 \right) = 20 - (14.68 * 0.134) = 18^{\circ} \text{ C}$$

$$t_2 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.823} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.51 \right) = 20 - (14.68 * 0.624) = 10.8^{\circ} \text{ C}$$

$$t_3 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.823} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.39 \right) = 20 - (14.68 * 2.504) = -16.8^{\circ} \text{ C}$$

Температура на зовнішній поверхні огорожувальної конструкції t_n буде рівна:

$$t_n = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.823} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.571 \right) = 20 - (14.68 * 2.685) = -19.4^{\circ} \text{ C}$$

Виходячи зі значень температури, визначимо максимальний парціальний тиск:

$$t_6 = 18.3^{\circ}\text{C} \quad E = 15.8 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_1 = 18^{\circ}\text{C} \quad E = 15.48 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_2 = 10.8^{\circ}\text{C} \quad E = 9.7 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_3 = -16.8^{\circ}\text{C} \quad E = 1.55 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_n = -19.4^{\circ}\text{C} \quad E = 0.82 \text{ мм рт.ст}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_6 - \frac{e_6 - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_6 = 0.01 \cdot \varphi_6 \cdot E_6 = 0.01 \cdot 55 \cdot 15.8 = 8.7$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.82 = 0.67$$

де e_6 - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_6 - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникнення огорожувальної конструкції, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.8 + 25 + 13.3 + 2.86 = 41.96$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0.010}{0.012} = 0.8;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0.300}{0.012} = 25 ;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0.08}{0.006} = 13.3 ;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.06}{0.021} = 2.86$$

R_{ex} - опір паропроникнення огорожувальної конструкції на відстані χ від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.67}{41.96} \cdot 1.65 = 8.4$$

$$e_2 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.67}{41.96} \cdot 28.08 = 3.01$$

$$e_3 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.67}{41.96} \cdot 30.53 = 1.52$$

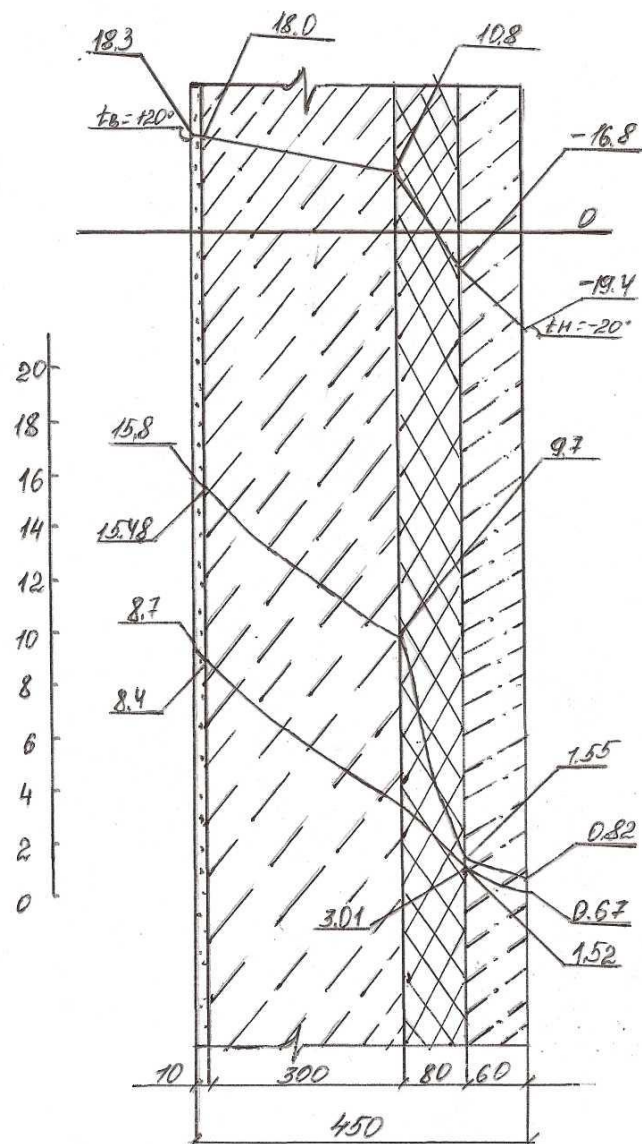


Рисунок 2.5 - Зміна температури і пружності водяної пари в товщі стіни з піногазобетона

2.4 Висновки по розділу :

З рисунків 2.1, 2.4, 2.5 витікає, що більше половини стіни експлуатується при плюсовій температурі. Так само в товщі досліджуваних огороджувальних конструкцій не спостерігається осідання конденсату, оскільки лінії максимальної пружності і пружності водяного, що проходять, не перетинаються. З цього виходить, що правильно підібрані варіант утеплення і утеплювач можуть значно збільшити опір теплопередачі, а також виключити появу конденсату в товщі огороджувальних конструкцій.

На малюнку 2.2 видно, що половина стіни експлуатується при негативній температурі, оскільки в холодний період року, при режимі експлуатації такої стіни, що встановився, температура в її товщі змінюється від позитивної до негативної температури зовнішньої поверхні. Так само в товщі тришарової панелі спостерігається осідання конденсату, оскільки лінії максимальної пружності і пружності, що проходять, водяного перетинаються в точках а і б.

РОЗДІЛ 3.

АНАЛІЗ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГРОЖДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ГРОМАДЯНСЬКИХ БУДІВЛЕЙ ЗГІДНО ДІЮЧИХ НОРМ З ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ

Значну частину усього житлового фонду м. Запоріжжя складають чотирьох-, п'яти- і дев'ятиповерхові житлові будинки, побудовані з цеглини, блоків і панелей по типових проектах першого покоління. Будівництво цих будинків велося в період з 1960 по 1980г. і складає 70 % від загальної кількості будинків.

У усіх побудованих до 1997 року цивільних будівель в м. Запоріжжя огрожджуючі конструкції проектувалися з розрахунку забезпечення термічного опору, який визначався у відповідність з діючими будівельними нормами і складав в середньому $0,9\text{м}^2\text{С}/\text{Вт}$.

А кліматичні умови, при яких ці будівлі зводили і експлуатуються, виглядають таким чином: літо тепле, зима помірно м'яка.

Вес снігового покриву $50\text{кгс}/\text{м}^2$ (СНиП II-6-74).

Кількість випаданих опадів - 516мм в рік.

Глибина промерзання ґрунтів - 80см

Розрахункова температура зовнішнього повітря зимового періоду згідно СНиП 2.01.01.-82 Будівельна кліматологія та геофізика:

- 34°C - мінімальна; у найхолодніший місяць середня температура - 8°C ; найбільш холодної доби - 25°C ; найбільш холодної п'ятиденки - 22°C .

У літній період - максимальна температура складає $+41^{\circ}\text{C}$, середня температура у липні $+23^{\circ}\text{C}$.

Відносна вологість повітря : взимку - 82%, влітку - 42%.

Взимку панують північно-східні вітри з максимальною швидкістю 5м/с.

В якості аналізованих об'єктів приймемо будівлі: з силікатної цеглини, блокові, одно-, двух- тришарові панельні огрожджуючих конструкції.

В основному в раніше побудованих будівлях м. Запоріжжя опір теплопередачі стін складає $0,9 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Прийняті нові нормативні вимоги збільшили значення опору теплопередачі : для стін $2,5 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Світовий досвід свідчить про можливість підвищення теплозахисту будівель шляхом утеплення огорожжючих конструкцій. З цією метою в Україні в 2007 році були введені нові підвищені нормативи опору теплопередачі огорожжючих конструкцій як для реконструкцій будівель так і для нового будівництва.

Найбільший резерв в зниженні тепловтрат у будівлях пов'язаний, передусім, з підвищенням термічного опору зовнішніх стін будівлі. Відповідно до нових нормативів опір теплопередачі стін будівель знаходиться в межах $2,5 \text{ м}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{Вт}$, що в 2-2,5 раз вище за термічний опір стін існуючих будівель.

Для здійснення підвищення термічного опору огорожжючих конструкцій може бути два: або збільшувати відповідно товщину стін в 1,5-2 рази з традиційно вживаних матеріалів (цеглина, легкобетонні панелі) або утепляти будівлю.

Утеплення огорожжючих конструкцій будівель має переваги по двох напрямках: перше - економічне. Знижуються енерговитрати на опалювання приміщень приблизно на 30%; друге - соціальне. Підвищується тепловий комфорт приміщення. При збільшенні термічного опору стін після утеплення покращуються комфорт усередині приміщень, що обігріваються, без підвищення температури повітря, тому що підвищується середньозважена температура усіх поверхонь. І, навпаки, у будівлях з низьким рівнем теплоізоляції зовнішніх стін середньозважена температура знижена. Тому, для збереження теплової комфортності доводиться надмірно підвищувати температуру повітря в приміщенні, що призводить до підвищеного споживання теплової енергії.

Також при підборі теплоізоляційних матеріалів для огорожжуваних конструкцій необхідно приділяти увагу технічним вимогам.

Фізико-технічні властивості використовуваних у будівництві теплоізоляційних матеріалів повинні робити визначальний вплив на теплотехнічну ефективність і експлуатаційну надійність конструкції, трудомісткість монтажу, можливість ремонту в процесі експлуатації і значною мірою визначати надійність, довговічність, безпеку для довкілля і населення вживаних варіантів теплоефективних конструкцій обгороджуваних будівель.

Теплоізоляційні матеріали в конструкціях утеплення будівель повинні відповідати вимогам пожежної безпеки.

А на довговічність і стабільність теплофізичних і фізико-механичних властивостей теплоізоляційних матеріалів в конструкціях утеплення будівель впливають багато експлуатаційних чинників:

- можливість капілярного і дифузійного зволоження теплоізоляційного матеріалу в конструкції;
- дія вітрових навантажень;
- дія атмосферних опадів;
- механічні навантаження від власної ваги в конструкціях стін і навантаження при переміщенні людей в конструкціях дахів і перекриттів.

Тому, враховуючи вищеперелічені чинники, теплоізоляційні матеріали для утеплення будівель повинні відповідати наступним основним вимогам:

- повинні забезпечувати необхідний опір теплопередачі при можливо мінімальній товщині конструкції, що досягається застосуванням матеріалів з розрахунковим коефіцієнтом теплопровідності в умовах експлуатації в межах $0,035-0,055 \text{ Вт/м} \cdot \text{°C}$;
- хорошими звукоізоляційними характеристиками, достатніми для обгороджування від шумових навантажень, що негативно впливають на стан здоров'я;

- паропроникність матеріалу повинна мати значення, що унеможливають накопичення вологи в конструкції в процесі її експлуатації;
- щільність теплоізоляційних матеріалів для утеплення будівель не повинна перевищувати 200-250 кг/м³, що визначається допустимими навантаженнями на несні конструкції;
- міцність на стискування при 10% -ної деформації в конструкціях утеплення дахів і перекриттів не менше 0,02 МПа;
- міцність на відрив шарів для волокнистих теплоізоляційних матеріалів в конструкції утеплення з штукатурним покриттям при жорсткому кріпленні теплоізоляційного шару має бути не менше 0,015 МПа;
- морозостійкість;
- гідрофобність;
- біостійкість і відсутність токсичних виділень при експлуатації (екологічна безпека, неалергенність, біологічна і хімічна стійкість);
- можливість монтажу круглий рік.

Для волокнистих теплоізоляційних матеріалів, вживаних в зовнішніх огорожжуваних конструкцій будівель особливо важливим є показник водостійкості. Враховуючи можливість періодичного зволоження теплоізоляційних матеріалів в конструкції, показник водостійкості значною мірою визначає їх довговічність.

Важливе значення має правильний вибір способу теплоізоляції стін - усередині приміщень або зовні.

Теплоізоляційний матеріал, підвищуючи опір теплопередачі стіни, робить великий вплив на режим вологості обгороджування. Неправильно встановлений утеплювач може привести до зниження санітарно-гігієнічних характеристик стіни і усього приміщення. Викликавши значне підвищення вологості.

3.1 Способи поліпшення теплозахисних якостей стіни при реконструкції цегляних будівель

Розглянемо перший варіант захисних конструкцій :

- перший шар - внутрішнє фактурне покриття з вапняно-піщаного розчину ($\delta = 0.010\text{ м}$; $\lambda = 0.76\text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.09\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.012\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);

- другий шар - з силікатної цеглини на цементно-піщаному розчині ($\delta = 0.510\text{ м}$; $\lambda = 0.76\text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.110\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.014\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);

- температура внутрішнього повітря $t_g = 20^\circ\text{ C}$

- вологість повітря $\varphi = 55\%$

- режим вологості приміщення - нормальний;

- умови експлуатації обгороджування - А.

Визначаємо термічний опір окремих шарів :

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.010}{0.76} = 0.013 ; \quad R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.17}{0.76} = 0.223$$

де $\delta_{1,2,..,n}$ - товщина відповідного шару, м;

$\lambda_{1,2,..,n}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шарів, залежний від природи матеріалів і їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури, Вт/ (м К).

Визначаємо загальний опір теплопередачі обгороджування :

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_g} + \sum_{i=1}^{n^i} R_j + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8.7} + 0.013 + 0.223 + 0.223 + 0.223 + \frac{1}{23} = 0.114 + 0.683 + 0.04 = 0.837$$

де α_g - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі внутрішньої поверхні огрожджуючих конструкцій, Вт/ (м² К);

α_n - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої поверхні огрожджуючих конструкцій, Вт/ (м² К).

$$R_\Sigma = 0.837\text{ м}^2\text{ К/Вт} < R_{q\text{min}} = 2.5\text{ м}^2\text{ К/Вт}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова не дотримується.

При потоці тепла, що встановився, розподіл температур усередині огорожжуваних конструкцій підкоряється певним закономірностям, і значення температури може бути легко вичислене для кожного шару конструкції.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожжуваних конструкцій :

$$t_{(x)} = t_g - \frac{t_g - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_x \right)$$

Визначаємо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_g = t_g - \frac{t_g - t_n}{R_\Sigma} * \frac{1}{\alpha_g} = 20 - \frac{20 - (-20)}{0,837} * \frac{1}{8,7} = 20 - (47,79 * 0,114) = 14,55^\circ C$$

Аналогічно знайдемо значення температури t_x шару, що граничить з приміщенням завтовшки 0,010м :

$$t_1 = t_g - \frac{t_g - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_1 \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{0,837} * \left(\frac{1}{8,7} + 0,013 \right) = 20 - (47,79 * 0,127) = 13,93^\circ C$$

де $R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0,010}{0,76} = 0,013 \text{ Bm}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ C)$ - термічний опір шару, що граничить з приміщенням.

$$t_2 = t_g - \frac{t_g - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_{2-3} \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{0,837} * \left(\frac{1}{8,7} + 0,237 \right) = 20 - (47,79 * 0,351) = 3,23^\circ C$$

де $R_{2-3} = \frac{0,17}{0,76} = 0,224 \text{ Bm}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ C)$

$$t_3 = t_g - \frac{t_g - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_3 \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{0,837} * \left(\frac{1}{8,7} + 0,461 \right) = 20 - (47,79 * 0,575) = -7,48^\circ C$$

Температура на зовнішній поверхні огорожжуваних конструкцій t_n буде рівна:

$$t_n = t_g - \frac{t_g - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{0,837} * \left(\frac{1}{8,7} + 0,685 \right) = 20 - (47,79 * 0,799) = -18,18^\circ C$$

Визначаємо максимальний парціальний тиск для існуючих температур:

$$\text{для } t_e = 14.55^{\circ}\text{C} \quad E = 12.43 \text{ мм рт.ст}$$

$$\text{для } t_1 = 13.93^{\circ}\text{C} \quad E = 11.94 \text{ мм рт.ст}$$

$$\text{для } t_2 = 3.23^{\circ}\text{C} \quad E = 5.78 \text{ мм рт.ст}$$

$$\text{для } t_3 = -7.48^{\circ}\text{C} \quad E = 2.43 \text{ мм рт.ст}$$

$$\text{для } t_n = -18.18^{\circ}\text{C} \quad E = 0.92 \text{ мм рт.ст}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_e - \frac{e_e - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_e = 0.01 \cdot \varphi_e \cdot E_e = 0.01 \cdot 55 \cdot 12.43 = 6.8$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.92 = 0.75$$

де e_e - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_e - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникнення огорожуючих конструкцій, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.83 + 12 + 12 + 12 = 36.83$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0,010}{0,012} = 0.83;$$

$$R_2 = \frac{\delta_{2-4}}{\mu_{2-4}} = \frac{0,17}{0,014} = 12$$

R_{ex} - опір паропроникнення огорожуючих конструкцій на відстані χ від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 6.8 - \frac{6.8 - 0.75}{36.83} \cdot 1.23 = 6.59$$

$$e_2 = 6.8 - \frac{6.8 - 0.75}{36.83} \cdot 13.23 = 4.63$$

$$e_3 = 6.8 - \frac{6.8 - 0.75}{36.83} \cdot 25.23 = 2.66$$

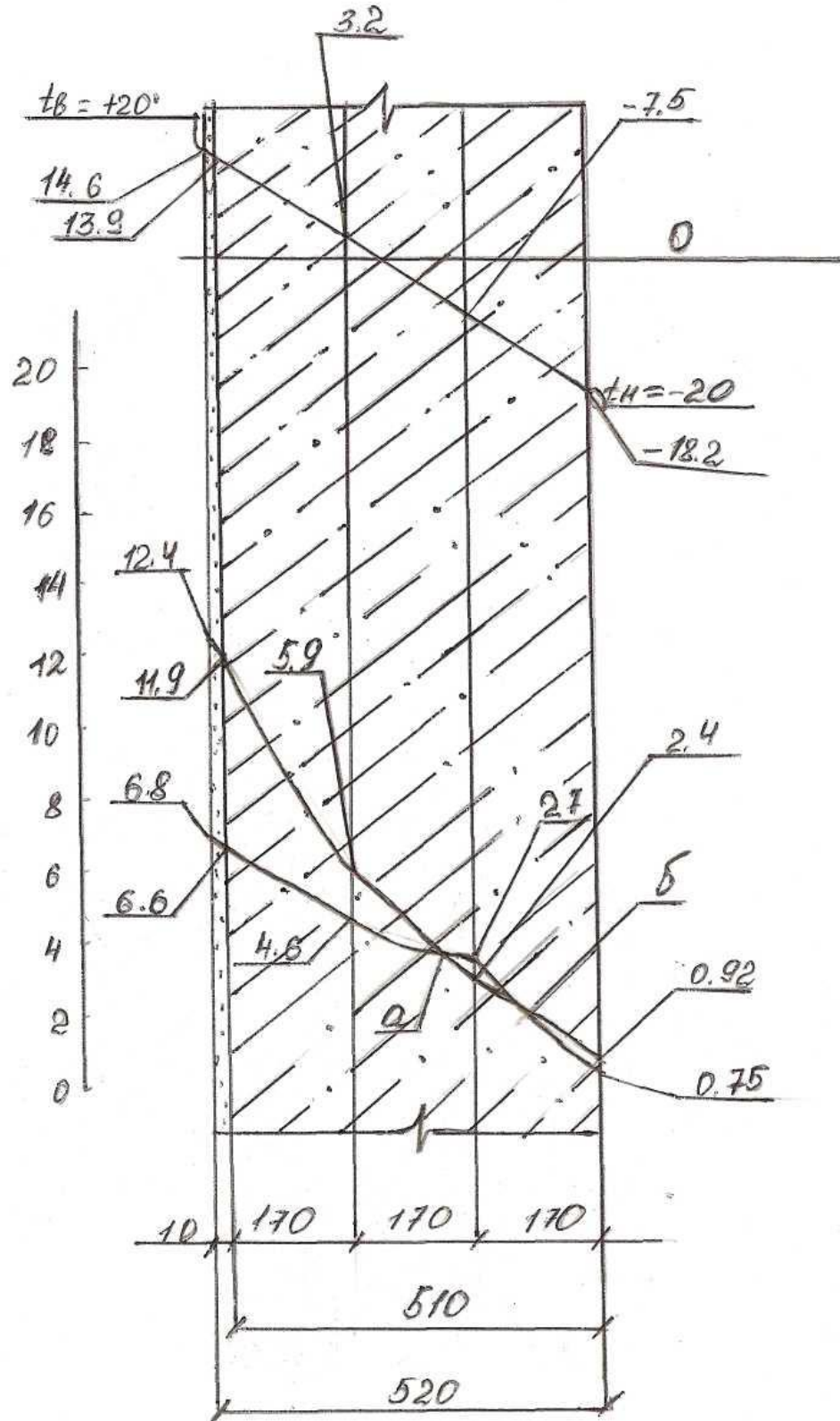


Рисунок 3.1 - Зміна температури і пружності водяної пари
в товщі цегляної стіни

Проаналізуємо режим температурної вологості огорожжувальних конструкцій із зовнішнім утепленням:

- перший шар - внутрішнє фактурне покриття з вапняно-піщаного розчину ($\delta = 0.015_m$; $\lambda = 0.76$ Вт/ м До; $\mu = 0.09$ мг/(м ч Па) або 0.012 г/(м ч мм рт.ст));

- другий шар - з силікатної цеглини на цементно-піщаному розчині ($\delta = 0.510_m$; $\lambda = 0.76$ Вт/ м К; $\mu = 0.110$ мг/(м ч Па) або 0.014 г/(м ч мм рт.ст));

- третій шар - утеплювач. В якості утеплювача візьмемо мінераловатні плити ($\gamma = 200$ кг/ м³; $\delta = 0.10_m$; $\lambda = 0.064$ Вт/ м К; $\mu = 0.37$ мг/(м ч Па) або 0.049 г/(м ч мм рт.ст));

- четвертий шар - облицювальна цеглина ($\delta = 0.09_m$; $\lambda = 0.45$ Вт/ м К; $\mu = 0.16$ мг/(м ч Па) або 0.021 г/(м ч мм рт.ст)).

Термічний опір усієї огорожжувальної конструкції визначимо з вираження:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + \sum_{i=1}^{n_i} R_j + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_n} =$$

$$= \frac{1}{8.7} + \frac{0.015}{0.76} + \frac{0.510}{0.76} + \frac{0.12}{0.064} + \frac{0.09}{0.45} + \frac{2}{23} =$$

$$0.114 + 0.020 + 0.67 + 1.56 + 0.20 + 0.04 = 2.6$$

де $\alpha_{\epsilon}, \alpha_n$ - розрахункові значення коефіцієнтів теплопередачі відповідно до внутрішньої і зовнішньої поверхні огорожжувальних конструкцій, Вт/ (м² К);

$\frac{\delta_{1,2,\dots,n}}{\lambda_{1,2,\dots,n}}$ - термічний опір окремих шарів, Вт/ (м² К).

$$R_{\Sigma} = 2.6 \text{ м}^2 \text{ К/Вт} > R_{q_{\min}} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова дотримується.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожжувальних конструкцій :

$$t_{(x)} = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right)$$

Визначаємо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_e = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_\Sigma} * \frac{1}{\alpha_e} = 20 - \frac{20 - (-20)}{2,6} * \frac{1}{8,7} = 18,2^0 C$$

Значення температури t_x на поверхні конструкції, що граничить з приміщенням завтовшки 0.015м, визначимо по формулі:

$$t_1 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_1 \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2,6} * \left(\frac{1}{8,7} + 0,020 \right) = 20 - (15,4 * 0,134) = 17,9^0 C$$

Визначимо значення температури t_x на поверхні конструкції завтовшки 0.510м:

$$t_2 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2,6} * \left(\frac{1}{8,7} + 0,690 \right) = 20 - (15,4 * 0,804) = 7,6^0 C$$

Аналогічно визначаємо значення температури t_x на поверхні конструкцій завтовшки 0.09м і 0.12м

$$t_3 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2,6} * \left(\frac{1}{8,7} + 0,940 \right) = 20 - (15,4 * 2,054) = -11,6^0 C$$

Температура на зовнішній поверхні огорожуючий конструкції t_n буде рівна:

$$t_n = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2,6} * \left(\frac{1}{8,7} + 2,340 \right) = 20 - (15,4 * 2,454) = -17,8^0 C$$

Виходячи зі значень температури, визначимо максимальний парціальний тиск:

$$t_e = 18,2^0 C \quad E = 15,68 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_1 = 17,9^0 C \quad E = 15,39 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_2 = 7,6^0 C \quad E = 7,83 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_3 = -11,6^0 C \quad E = 1,69 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_n = -17,8^0 C \quad E = 0,96 \text{ мм рт.ст}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_g - \frac{e_g - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_g = 0.01 \cdot \varphi_g \cdot E_g = 0.01 \cdot 55 \cdot 15.68 = 8.6$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.96 = 0.79$$

де e_g - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_g - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникнення огорожжувючих конструкцій, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 1.25 + 36.43 + 2.04 + 4.29 = 44.01$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0.015}{0.012} = 1.25 ;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0.10}{0.049} = 2.04 ;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0.510}{0.014} = 36.43 ;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.09}{0.021} = 4.29$$

R_{ex} - опір паропроникнення огорожжувючих конструкцій на відстані χ від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.79}{44.01} \cdot 1.65 = 8.3$$

$$e_2 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.79}{44.01} \cdot 38.08 = 1.8$$

$$e_3 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.79}{44.01} \cdot 40.12 = 1.5$$

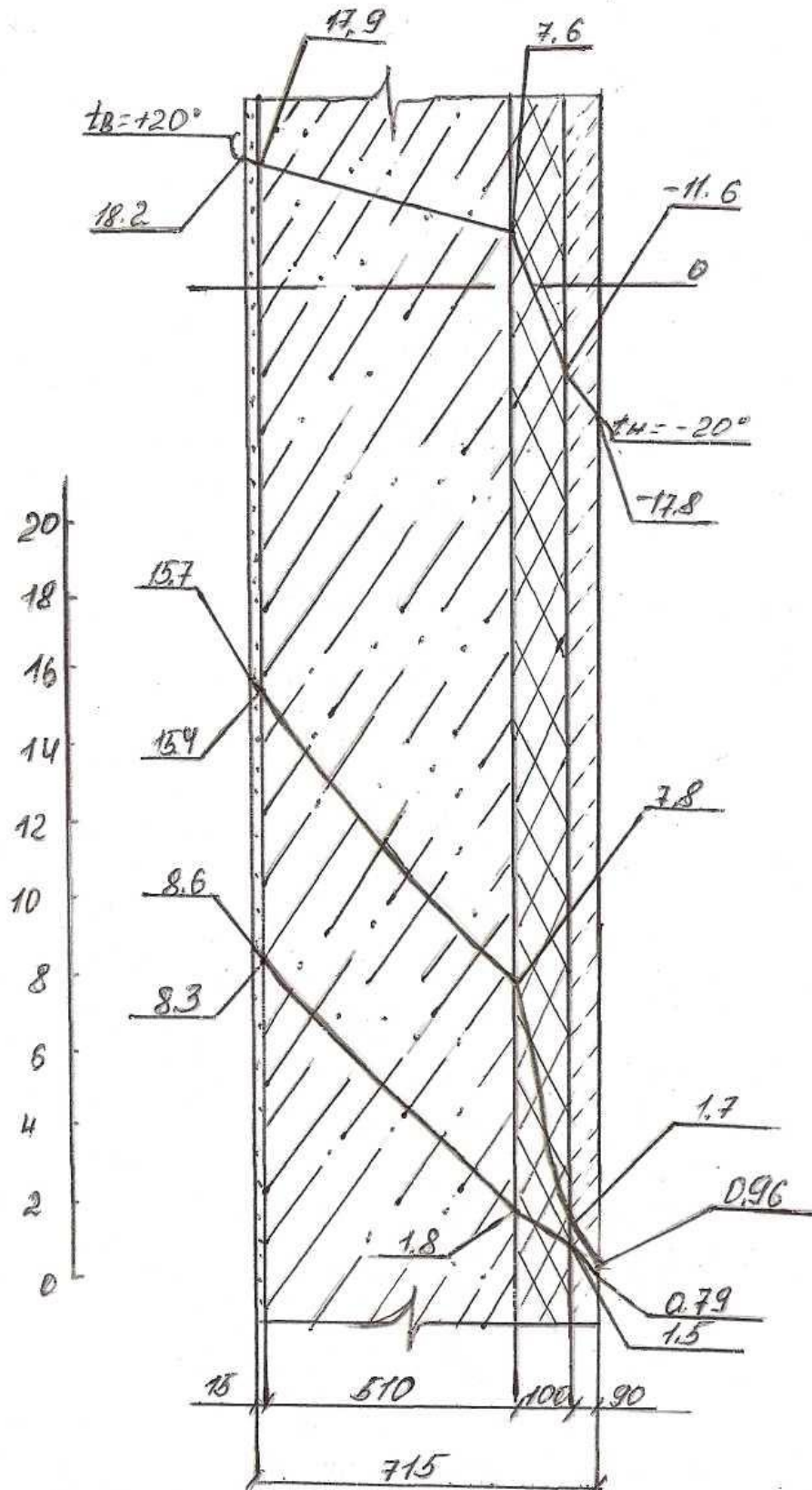


Рисунок 3.2 - Зміна температури і пружності водяної пари в товщі цегляної стіни

Аналогічно проаналізуємо режим температурної вологості огорожжючих конструкцій з внутрішнім утепленням:

- перший шар - шпаклівка ($\delta = 0.005\text{ м}$; $\lambda = 0.7 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.098\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.013\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);

- другий шар - гіпсокартонний лист ($\delta = 0.003\text{ м}$; $\lambda = 0.19 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.075\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.010\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);

- третій шар - ґрунтовка ($\delta = 0.001\text{ м}$; $\lambda = 0.65 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.098\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.013\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);

- четвертий шар - утеплювач. В якості утеплювача візьмемо пінопласт ПСБ-С 25 на монтажному клею ($\delta = 0.09\text{ м}$; $\lambda = 0.052 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.15\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.020\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);

- п'ятий шар - ґрунтовка ($\delta = 0.001\text{ м}$; $\lambda = 0.65 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.098\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.013\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);

- шостий шар - з силікатної цеглини на цементно-піщаному розчині ($\delta = 0.510\text{ м}$; $\lambda = 0.76 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.110\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.014\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$).

Визначимо термічний опір окремих шарів :

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.005}{0.7} = 0.007;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0.09}{0.052} = 1.73;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.003}{0.19} = 0.016;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{0.001}{0.65} = 0.002;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0.001}{0.65} = 0.002;$$

$$R_6 = \frac{\delta_6}{\lambda_6} = \frac{0.510}{0.76} = 0.67$$

де $\delta_{1,2,..,n}$ - товщина відповідного шару, м;

$\lambda_{1,2,..,n}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шарів, залежний від природи матеріалів і їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури, Вт/ (м К).

Визначаємо загальний опір теплопередачі обгороджування :

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^{n_i} R_j + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8.7} + 0.007 + 0.016 + 0.002 + 1.73 + 0.002 + 0.67 + \frac{1}{23} = 2.58$$

де α_e - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі внутрішньої поверхні конструкції, що захищає, Вт/(м² К);

α_n - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої поверхні конструкції, що захищає, Вт/(м² К).

$$R_{\Sigma} = 2.58 \text{ м}^2 \text{ К/Вт} > R_{q\text{min}} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова дотримується.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожжувачих конструкцій :

$$t_{(x)} = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right)$$

Визначаємо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_e = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \frac{1}{\alpha_e} = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.58} * \frac{1}{8.7} = 18.23^{\circ} \text{ C}$$

$$t_1 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.58} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.007 \right) = 20 - (15.5 * 0.121) = 18.12^{\circ} \text{ C}$$

$$t_2 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.58} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.023 \right) = 20 - (15.5 * 0.137) = 17.88^{\circ} \text{ C}$$

$$t_3 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.58} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.025 \right) = 20 - (15.5 * 0.139) = 17.85^{\circ} \text{ C}$$

$$t_4 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.58} * \left(\frac{1}{8.7} + 1.755 \right) = 20 - (15.5 * 1.869) = -8.97^{\circ} \text{ C}$$

$$t_5 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.58} * \left(\frac{1}{8.7} + 1.757 \right) = 20 - (15.5 * 1.871) = -9.0^{\circ} \text{ C}$$

Температура на зовнішній поверхні огорожжувачих конструкцій t_n буде рівна:

$$t_n = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.58} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.427 \right) = 20 - (15.5 * 2.541) = -19.39^{\circ} \text{ C}$$

Виходячи зі значень температури, визначимо максимальний парціальний тиск:

$$t_e = 18.23^{\circ}C \quad E = 15.71 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_1 = 18.12^{\circ}C \quad E = 15.6 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_2 = 17.88^{\circ}C \quad E = 15.35 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_3 = 17.85^{\circ}C \quad E = 15.32 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_4 = -8.97^{\circ}C \quad E = 2.14 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_5 = -9.0^{\circ}C \quad E = 2.13 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_n = -19.39^{\circ}C \quad E = 0.82 \text{ мм рт.ст}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_e - \frac{e_e - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_e = 0.01 \cdot \varphi_e \cdot E_e = 0.01 \cdot 55 \cdot 15.71 = 8.6$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.82 = 0.67$$

де e_e - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_e - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникнення огорожжючих конструкцій, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.38 + 0.3 + 0.08 + 4.5 + 0.1 + 4.6 = 9.96$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0.005}{0.013} = 0.38 ;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.09}{0.020} = 4.5 ;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0.003}{0.010} = 0.3 ;$$

$$R_5 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.001}{0.010} = 0.1 ;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0.001}{0.013} = 0.08 ;$$

$$R_6 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.510}{0.11} = 4.6$$

R_{ex} - опір паропроникнення огорожжючих конструкцій на відстані χ від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.67}{9.96} \cdot 0.78 = 7.97$$

$$e_2 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.67}{9.96} \cdot 1.08 = 7.7$$

$$e_3 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.67}{9.96} \cdot 1.16 = 7.67$$

$$e_4 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.67}{9.96} \cdot 5.66 = 4.09$$

$$e_5 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.67}{9.96} \cdot 5.76 = 4.01$$

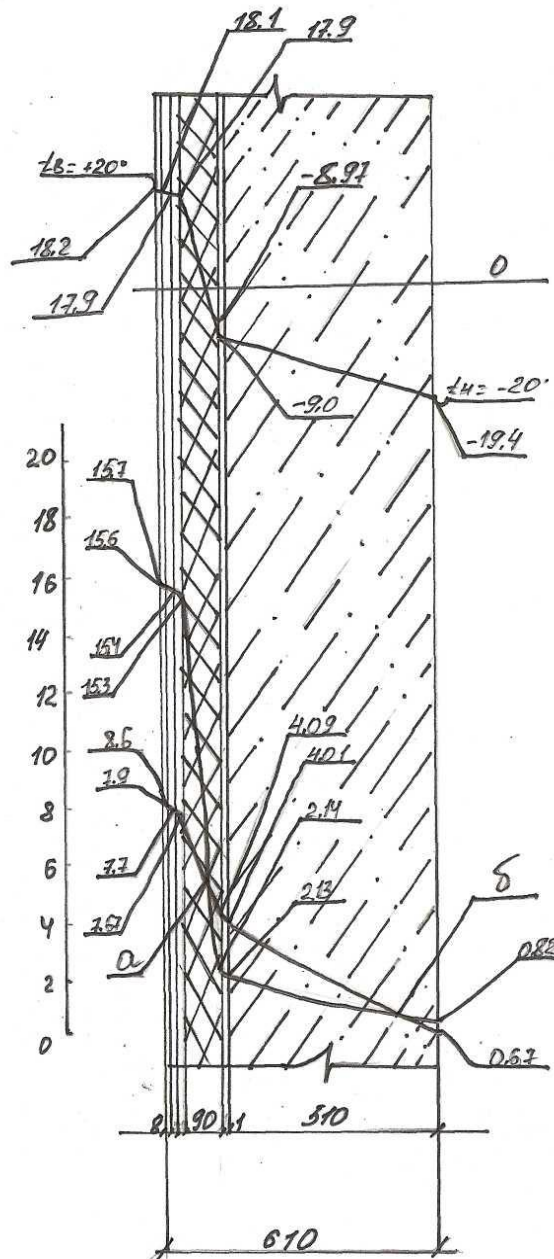


Рисунок 3.3 - Зміна температури і пружності водяної пари в товщі цегляної стіни

3.2 Способи поліпшення теплозахисних якостей стіни при економії будівель з великих бетонних блоків

Розглянемо варіант захисних конструкцій, з великих бетонних блоків:

- перший шар - внутрішній фактурний з вапняно-піщаного розчину ($\delta = 0.015\text{ м}; \lambda = 0.76 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.09\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.012\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);

- другий шар - керамзитобетон ($\gamma = 1400\text{ кг/м}^3; \delta = 0.36\text{ м}; \lambda = 0.56 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.098\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.013\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);

- третій шар - зовнішній фактурний шар з цементно-піщаного розчину ($\delta = 0.025\text{ м}; \lambda = 0.7 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.12\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.016\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$).

- температура внутрішнього повітря $t_e = 20^\circ \text{ C}$

- вологість повітря $\varphi = 55\%$

- режим вологості приміщення - нормальний;

- умови експлуатації обгороджування - А.

Визначаємо термічний опір окремих шарів :

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.015}{0.76} = 0.020; \quad R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0.025}{0.7} = 0.036$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.36}{0.56} = 0.64;$$

де $\delta_{1,2,..,n}$ - товщина відповідного шару, м²;

$\lambda_{1,2,..,n}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шарів, залежний від природи матеріалів і їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури, Вт/ (м К).

Визначаємо загальний опір теплопередачі обгороджування :

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^{n_i} R_j + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8.7} + 0.020 + 0.64 + 0.036 + \frac{1}{23} = 0.85$$

де α_e - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі внутрішньої поверхні конструкції, що захищає, Вт/ (м² К);

α_n – розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої поверхні конструкції, що захищає, Вт/(м² К).

$$R_{\Sigma} = 0.85 \text{ м}^2 \text{ К/Вт} < R_{q_{\min}} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова не дотримується.

При потоці тепла, що встановився, розподіл температур усередині конструкції, що захищає, підкоряється певним закономірностям, і значення температури може бути легко вчислене для кожного шару конструкції.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожуючих конструкцій :

$$t_{(x)} = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right)$$

Спершу визначимо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_e = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \frac{1}{\alpha_e} = 20 - \frac{20 - (-20)}{0.85} * \frac{1}{8.7} = 14.64^{\circ} \text{C}$$

$$t_1 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{0.85} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.02 \right) = 20 - (47.06 * 0.134) = 13.69^{\circ} \text{C}$$

$$t_2 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{0.85} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.341 \right) = 20 - (47.06 * 0.455) = -1.41^{\circ} \text{C}$$

$$t_3 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{0.85} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.662 \right) = 20 - (47.06 * 0.776) = -16.52^{\circ} \text{C}$$

Температура на зовнішній поверхні огорожуючий конструкції t_n буде рівна:

$$t_n = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{0.85} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.698 \right) = 20 - (47.06 * 0.812) = -18.21^{\circ} \text{C}$$

Виходячи зі значень температури, визначимо максимальний парціальний тиск:

$$t_e = 14.64^{\circ} \text{C} \quad E = 12.5 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_1 = 13.69^{\circ} \text{C} \quad E = 11 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_2 = -1.41^{\circ}C \quad E = 4.08 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_3 = -16.52^{\circ}C \quad E = 1.08 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_n = -18.21^{\circ}C \quad E = 0.92 \text{ мм рт.ст}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_e - \frac{e_e - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_e = 0.01 \cdot \varphi_e \cdot E_e = 0.01 \cdot 55 \cdot 12.5 = 6.9$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.92 = 0.75$$

де e_e - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_e - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникнення огорожуючих конструкцій, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 1.25 + 13.85 + 13.85 + 1.56 = 30.51$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0.015}{0.012} = 1.25;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.025}{0.016} = 1.56$$

$$R_{2-3} = \frac{\delta_{2-3}}{\mu_{2-3}} = \frac{0.18}{0.013} = 13.85;$$

R_{ex} - опір паропроникнення огорожуючих конструкцій на відстані χ від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 6.9 - \frac{6.9 - 0.75}{30.51} \cdot 1.65 = 6.6$$

$$e_2 = 6.9 - \frac{6.9 - 0.75}{30.51} \cdot 15.5 = 3.78$$

$$e_3 = 6.9 - \frac{6.9 - 0.75}{30.51} \cdot 29.35 = 0.98$$

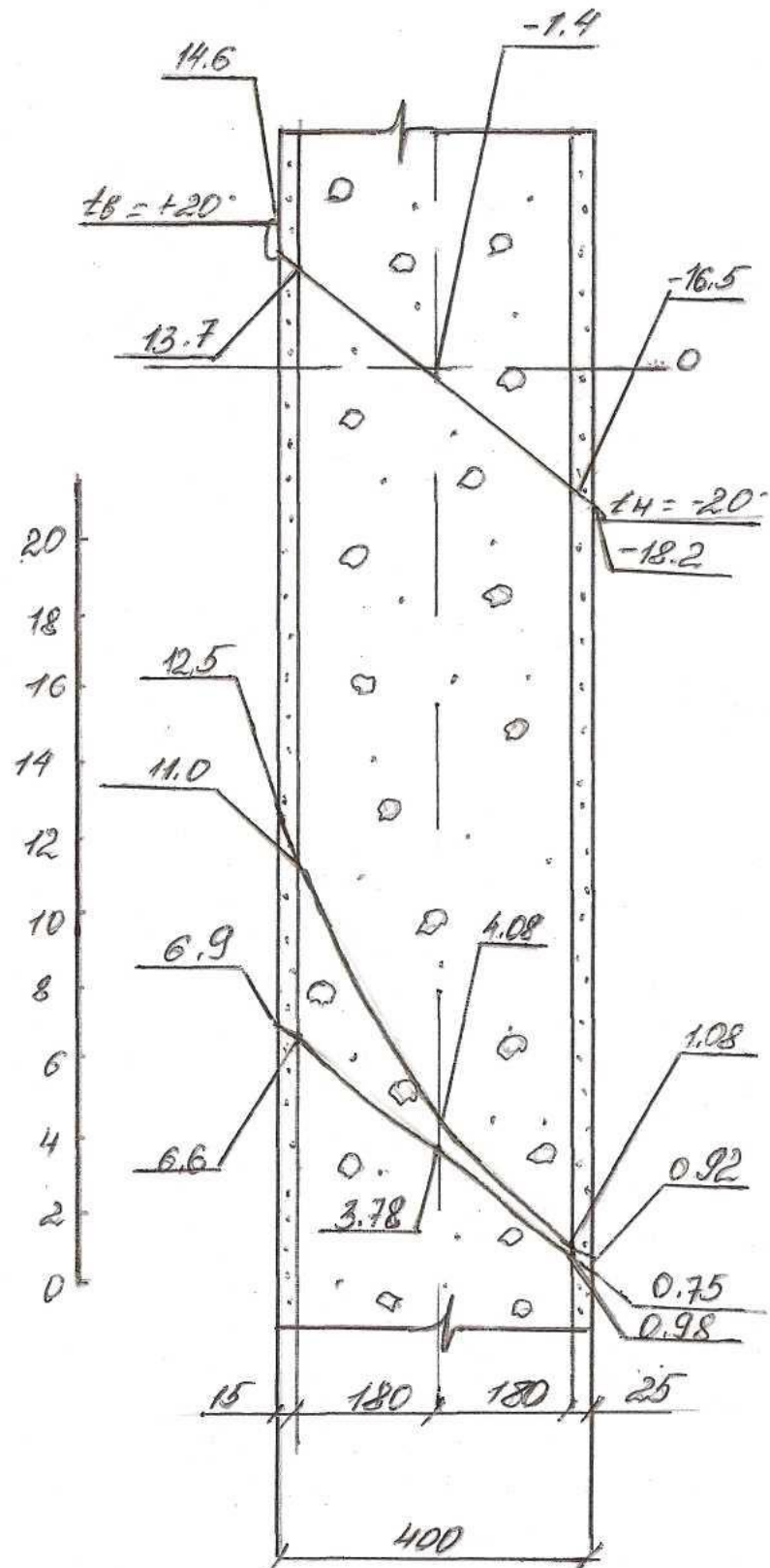


Рисунок 3.4 - Зміна температури і пружності водяної пари в товщі блоку

Проаналізуємо режим температурної вологості захисних конструкцій з внутрішньою ізоляцією:

- перший шар - шпаклівка під шпалери або забарвлення ($\delta = 0.003\text{ м}$; $\lambda = 0.7\text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.098\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.013\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);

- другий шар - гіпсокартонний лист ГКЛ ($\delta = 0.07\text{ м}$; $\lambda = 0.19\text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.075\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.010\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);

- третій шар - пінополістирол ($\delta = 0.07\text{ м}$; $\lambda = 0.040\text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.05\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.006\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);

- четвертий шар - керамзитобетон ($\gamma = 1400\text{ кг/м}^3$; $\delta = 0.36\text{ м}$; $\lambda = 0.56\text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.098\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.013\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);

- п'ятий шар - зовнішній фактурний шар з цементно-піщаного розчину ($\delta = 0.015\text{ м}$; $\lambda = 0.7\text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.12\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.016\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$).

- температура внутрішнього повітря $t_e = 20^\circ\text{ C}$

- вологість повітря $\varphi = 55\%$

- режим вологості приміщення - нормальний;

- умови експлуатації обгороджування - А.

Визначаємо термічний опір окремих шарів :

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.003}{0.7} = 0.004 ;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0.360}{0.56} = 0.64 ;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.008}{0.19} = 0.042 ;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{0.015}{0.7} = 0.021$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0.07}{0.040} = 1.75 ;$$

де $\delta_{1,2,..,n}$ - товщина відповідного шару, м²;

$\lambda_{1,2,..,n}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шарів, залежний від природи матеріалів і їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури, Вт/ (м К).

Визначаємо загальний опір теплопередачі обгороджування :

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^{n_i} R_j + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8.7} + 0.004 + 0.042 + 1.75 + 0.64 + 0.021 + \frac{1}{23} = 2.611$$

де α_e - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі внутрішньої поверхні конструкції, що захищає, Вт/(м² К);

α_n - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої поверхні огорожжувачих конструкцій Вт/(м² К).

$$R_{\Sigma} = 2.611 \text{ м}^2 \text{ К/Вт} > R_{q\text{min}} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова дотримується.

При потоці тепла, що встановився, розподіл температур усередині конструкції, що захищає, підкоряється певним закономірностям, і значення температури може бути легко вичислене для кожного шару конструкції.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожжувачих конструкцій :

$$t_{(x)} = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right)$$

Спершу визначимо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_e = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \frac{1}{\alpha_e} = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.611} * \frac{1}{8.7} = 18.3^{\circ} \text{C}$$

$$t_1 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.611} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.004 \right) = 20 - (15.32 * 0.118) = 18.2^{\circ} \text{C}$$

$$t_2 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.611} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.046 \right) = 20 - (15.32 * 0.16) = 17.5^{\circ} \text{C}$$

$$t_3 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.611} * \left(\frac{1}{8.7} + 1.796 \right) = 20 - (15.32 * 1.91) = -9.26^{\circ} \text{C}$$

$$t_4 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.611} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.436 \right) = 20 - (15.32 * 2.55) = -19.1^{\circ} \text{C}$$

Температура на зовнішній поверхні огорожжувачий конструкції t_n буде рівна:

$$t_n = \quad \quad \quad t_e -$$

$$\frac{t_e - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.611} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.457 \right) = 20 - (15.32 * 2.571) = -19.4^\circ C$$

Виходячи зі значень температури, визначимо максимальний парціальний тиск:

$$\begin{aligned} t_e &= 18.3^\circ C & E &= 15.78 \text{ мм рт.ст} \\ t_1 &= 18.2^\circ C & E &= 15.68 \text{ мм рт.ст} \\ t_2 &= 17.5^\circ C & E &= 15 \text{ мм рт.ст} \\ t_3 &= -9.26^\circ C & E &= 2.08 \text{ мм рт.ст} \\ t_4 &= -19.1^\circ C & E &= 0.84 \text{ мм рт.ст} \\ t_n &= -19.4^\circ C & E &= 0.82 \text{ мм рт.ст} \end{aligned}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_e - \frac{e_e - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_e = 0.01 \cdot \varphi_e \cdot E_e = 0.01 \cdot 55 \cdot 15.78 = 8.7$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.82 = 0.67$$

де e_e - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_e - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникнення огорожжючих конструкцій, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.23 + 0.8 + 11.67 + 30 + 0.94 = 43.64$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0.003}{0.013} = 0.23;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.36}{0.012} = 30 ;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0.008}{0.010} = 0.8 ;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\mu_5} = \frac{0.015}{0.016} = 0.94$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0.07}{0.006} = 11.67 ;$$

R_{ex} - опір паропроникнення огорожуючих конструкцій на відстані χ від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.67}{43.64} \cdot 0.63 = 8.6$$

$$e_2 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.67}{43.64} \cdot 1.43 = 8.4$$

$$e_3 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.67}{43.64} \cdot 13.1 = 6.3$$

$$e_4 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.67}{43.64} \cdot 43.1 = 0.77$$

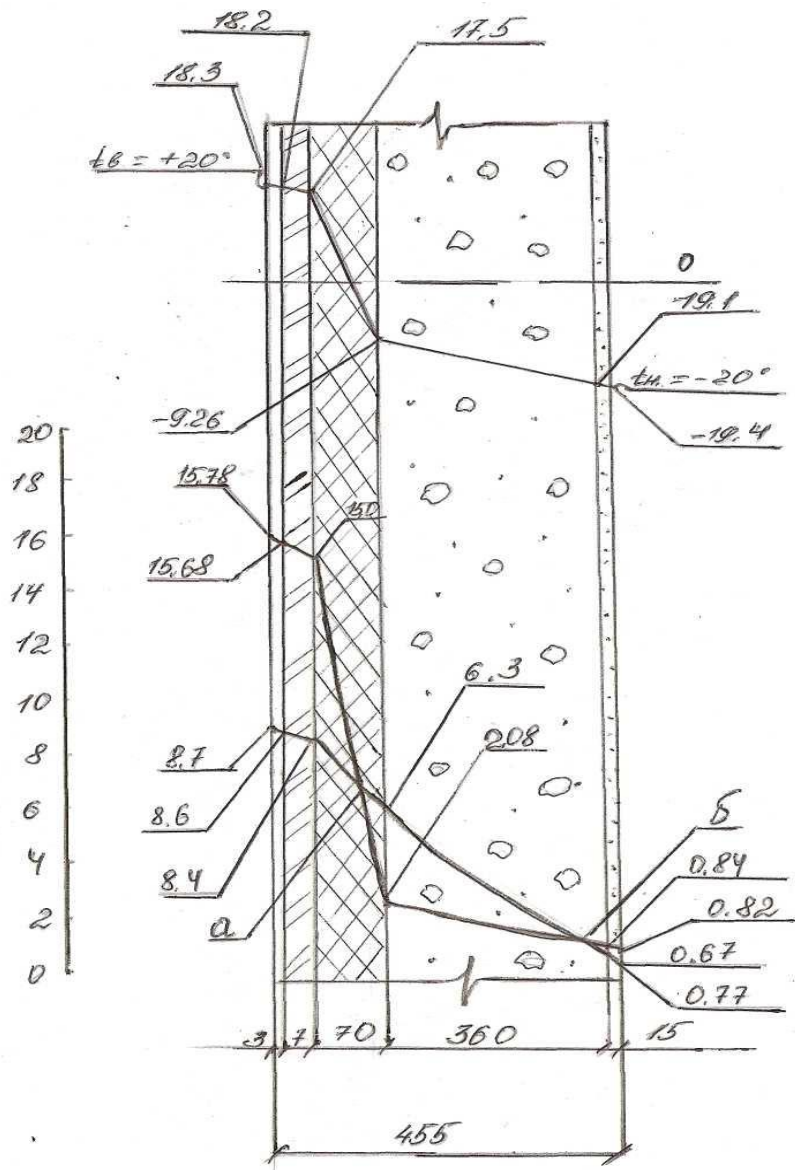


Рисунок 3.5 - Зміна температури і пружності водяної пари в товщі блоку

Проаналізуємо режим температурної вологості захисних конструкцій при зовнішній ізоляції:

- перший шар - внутрішній фактурний з вапняно-піщаного розчину ($\delta = 0.010\text{ м}; \lambda = 0.76 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.09\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.012\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- другий шар - керамзитобетон ($\gamma = 1400\text{ кг/м}^3; \delta = 0.36\text{ м}; \lambda = 0.56 \text{ Вт/ м До}; \mu = 0.09\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.012\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- третій шар - пінополіуретан на клею ($\gamma = 125\text{ кг/м}^3; \delta = 0.07\text{ м}; \lambda = 0.041 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.30\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.006\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- четвертий шар - склосітка SSA - 1363 - SM ($\delta = 0.001\text{ м}; \lambda = 0.044 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.60\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.08\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- п'ятий шар - мінеральна штукатурка ($\delta = 0.015\text{ м}; \lambda = 0.7 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.098\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.013\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$).
- температура внутрішнього повітря $t_e = 20^\circ \text{ C}$
- вологість повітря $\varphi = 55\%$
- режим вологості приміщення - нормальний;
- умови експлуатації обгороджування - А.

Визначаємо термічний опір окремих шарів :

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.010}{0.76} = 0.013;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0.001}{0.044} = 0.023;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.36}{0.56} = 0.64;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{0.015}{0.7} = 0.021$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0.07}{0.041} = 1.7;$$

де $\delta_{1,2,..,n}$ - товщина відповідного шару, м²;

$\lambda_{1,2,..,n}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шарів, залежний від природи матеріалів і їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури, Вт/ (м К).

Визначаємо загальний опір теплопередачі обгороджування :

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^{n^i} R_j + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8.7} + 0.013 + 0.64 + 1.7 + 0.023 + 0.021 + \frac{1}{23} = 2.55$$

де α_e - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі внутрішньої поверхні огорожуючої конструкції, Вт/(м² К);

α_n - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої поверхні огорожуючої конструкції, Вт/(м² К).

$$R_{\Sigma} = 2.55 \text{ м}^2 \text{ К/Вт} > R_{q\text{min}} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова дотримується.

При потоці тепла, що встановився, розподіл температур усередині конструкції, що захищає, підкоряється певним закономірностям, і значення температури може бути легко вчислене для кожного шару конструкції.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожуючих конструкцій є :

$$t_{(x)} = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right)$$

Спершу визначимо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_e = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \frac{1}{\alpha_e} = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.55} * \frac{1}{8.7} = 18.2^{\circ} \text{ C}$$

$$t_1 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.55} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.013 \right) = 20 - (15.67 * 0.127) = 18^{\circ} \text{ C}$$

$$t_2 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.55} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.653 \right) = 20 - (15.67 * 0.767) = 7.98^{\circ} \text{ C}$$

$$t_3 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.55} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.353 \right) = 20 - (15.67 * 2.467) = -18.7^{\circ} \text{ C}$$

$$t_4 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.55} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.375 \right) = 20 - (15.67 * 2.49) = -19^{\circ} \text{ C}$$

Температура на зовнішній поверхні огорожуючих конструкцій t_n буде рівна:

$$t_n = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.55} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.396 \right) = 20 - (15.67 * 2.51) = -19.3^{\circ}C$$

Виходячи зі значень температури, визначимо максимальний парціальний тиск:

$$t_e = 18.2^{\circ}C \quad E = 15.68 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_1 = 18^{\circ}C \quad E = 15.48 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_2 = 7.98^{\circ}C \quad E = 8.03 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_3 = -18.7^{\circ}C \quad E = 0.88 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_4 = -19^{\circ}C \quad E = 0.85 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_n = -19.3^{\circ}C \quad E = 0.83 \text{ мм рт.ст}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_e - \frac{e_e - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_e = 0.01 \cdot \varphi_e \cdot E_e = 0.01 \cdot 55 \cdot 15.68 = 8.6$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.83 = 0.68$$

де e_e - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_e - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - попір паропроникнення огорожжючих конструкцій, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.83 + 30 + 11.67 + 0.013 + 1.15 = 43.66$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0.010}{0.012} = 0.83;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\mu_5} = \frac{0.015}{0.013} = 1.15 ;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0.36}{0.012} = 30 ;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0.07}{0.006} = 11.67 ;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.001}{0.080} = 0.013$$

R_{ex} - опір паропроникнення огорожуючих конструкцій на відстані χ від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.68}{43.66} \cdot 1.65 = 8.3$$

$$e_2 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.68}{43.66} \cdot 31.65 = 2.9$$

$$e_3 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.68}{43.66} \cdot 42.9 = 0.82$$

$$e_4 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.68}{43.66} \cdot 42.91 = 0.82$$

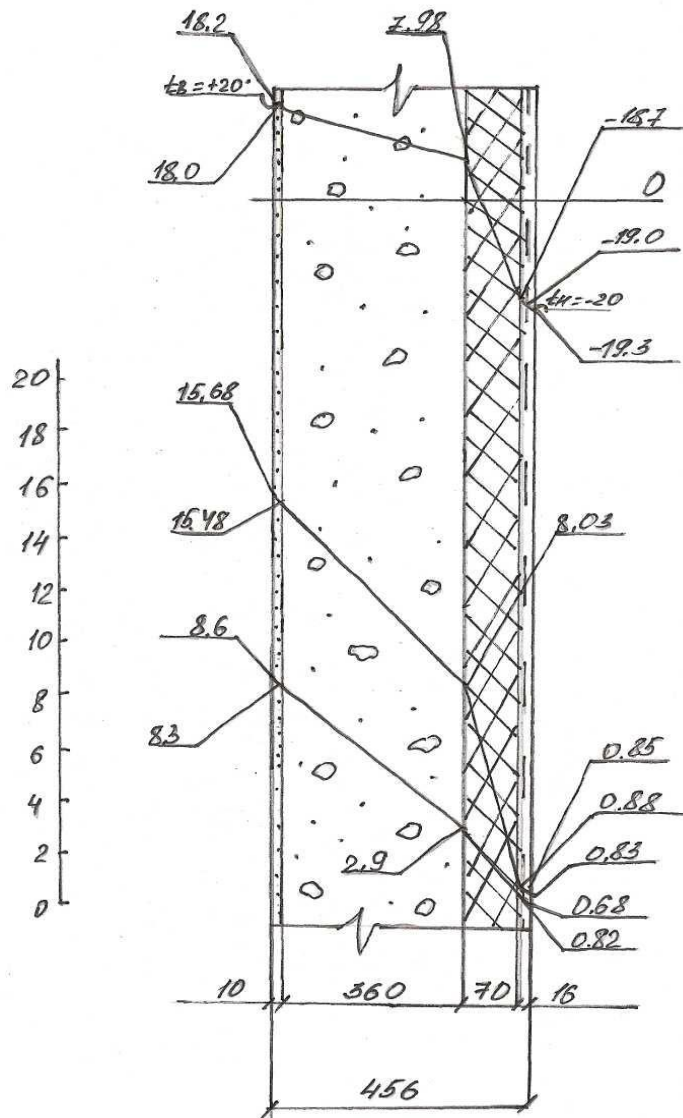


Рисунок 3.6 - Зміна температури і пружності водяної пари в товщі блоку

3.3 Способи поліпшення теплозахисних якостей стіни при реконструкції панельних будівель

Проаналізуємо режим температурної вологості одношарової панелі :

- перший шар - внутрішній фактурний з вапняно-піщаного розчину ($\delta = 0.010\text{ м}; \lambda = 0.76 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.09\text{ мг/ (м ч Па)}$ або $0.012\text{ г/ (м ч мм рт.ст)}$);

- другий шар - керамзитобетон ($\gamma = 1200 \text{ кг/м}^3; \delta = 0.315\text{ м}; \lambda = 0.44 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.11\text{ мг/ (м ч Па)}$ або $0.014\text{ г/ (м ч мм рт.ст)}$);

- третій шар - внутрішній фактурний з вапняно-піщаного розчину($\delta = 0.025\text{ м}; \lambda = 0.7 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.12\text{ мг/ (м ч Па)}$ або $0.016\text{ г/ (м ч мм рт.ст)}$);

- температура внутрішнього повітря $t_g = 20^\circ \text{ C}$

- вологість повітря $\varphi = 55\%$

- режим вологості приміщення - нормальний;

- умови експлуатації обгороджування - А.

Визначаємо термічний опір окремих шарів :

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.010}{0.76} = 0.013;$$

$$R_4 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0.025}{0.7} = 0.036$$

$$R_{2-3} = \frac{\delta_{2-3}}{\lambda_{2-3}} = \frac{0.158}{0.44} = 0.36;$$

де $\delta_{1,2,..,n}$ - товщина відповідного шару, м²;

$\lambda_{1,2,..,n}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шарів, залежний від природи матеріалів і їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури, Вт/ (м К).

Визначаємо загальний опір теплопередачі обгороджування :

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_g} + \sum_{i=1}^{n^i} R_j + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8.7} + 0.013 + 0.36 + 0.36 + 0.36 + \frac{1}{23} = 0.923$$

де α_g - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі внутрішньої поверхні огорожуючий конструкції, Вт/ (м² К);

α_n – розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої поверхні огорожжувачої конструкції, Вт/(м² К).

$$R_{\Sigma} = 0.923 \text{ м}^2 \text{ К/Вт} < R_{q\text{min}} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова не дотримується.

При потоці тепла, що встановився, розподіл температур усередині огорожжувачої конструкції, підкоряється певним закономірностям, і значення температури може бути легко вчислене для кожного шару конструкції.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожжувачої конструкції :

$$t_{(x)} = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right)$$

Спершу визначимо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_e = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \frac{1}{\alpha_e} = 20 - \frac{20 - (-20)}{0.923} * \frac{1}{8.7} = 15.06^{\circ} \text{ C}$$

$$t_1 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{0.923} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.013 \right) = 20 - (43.34 * 0.127) = 14.5^{\circ} \text{ C}$$

$$t_2 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{0.923} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.373 \right) = 20 - (43.34 * 0.487) = 1.11^{\circ} \text{ C}$$

$$t_3 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{0.923} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.733 \right) = 20 - (43.34 * 0.847) = -16.71^{\circ} \text{ C}$$

Температура на зовнішній поверхні огорожжувачої конструкції t_n буде рівна:

$$t_n = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{0.923} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.769 \right) = 20 - (43.34 * 0.883) = -18.27^{\circ} \text{ C}$$

Виходячи зі значень температури, визначимо максимальний парціональний тиск:

$$t_e = 15.06^{\circ} \text{ C} \quad E = 12.84 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_1 = 14.5^{\circ} \text{ C} \quad E = 12.39 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_2 = 1.11^{\circ}C \quad E = 4.97 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_3 = -16.71^{\circ}C \quad E = 1.06 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_n = -18.27^{\circ}C \quad E = 0.92 \text{ мм рт.ст}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_e - \frac{e_e - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_e = 0.01 \cdot \varphi_e \cdot E_e = 0.01 \cdot 55 \cdot 12.84 = 7.1$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.92 = 0.75$$

де e_e - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_e - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникнення огорожуючий конструкції, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.83 + 11.29 + 11.29 + 1.56 = 24.97$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0.010}{0.012} = 0.83;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.025}{0.016} = 1.56 ;$$

$$R_{2-3} = \frac{\delta_{2-3}}{\mu_{2-3}} = \frac{0.158}{0.014} = 11.29$$

R_{ex} - опір паропроникнення огорожуючий конструкції на відстані χ від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 7.7 - \frac{7.1 - 0.75}{24.97} \cdot 1.23 = 7.35$$

$$e_2 = 7.7 - \frac{7.1 - 0.75}{24.97} \cdot 12.52 = 7.0$$

$$e_3 = 7.7 - \frac{7.1 - 0.75}{24.97} \cdot 24.21 = 0.96$$

Проаналізуємо режим температурної вологості огорожуючий конструкції із зовнішнім утепленням:

- перший шар - внутрішній фактурний з вапняно-піщаного розчину ($\delta = 0.010\text{ м}; \lambda = 0.76 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.09\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.012\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- другий шар - керамзитобетон ($\gamma = 1200 \text{ кг/м}^3; \delta = 0.315\text{ м}; \lambda = 0.44 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.11\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.014\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- третій шар - плита теплоізоляційна з пінополістиролу на клею ($\delta = 0.07\text{ м}; \lambda = 0.04 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.05\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.007\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- четвертий шар - ґрунтовка ($\delta = 0.001\text{ м}; \lambda = 0.65 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.098\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.010\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- п'ятий шар - армуюча склосітка ($\delta = 0.001\text{ м}; \lambda = 0.044 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.60\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.079\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- шостий шар - декоративна штукатурка ($\delta = 0.013\text{ м}; \lambda = 0.7 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.098\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.013\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$).
- температура внутрішнього повітря $t_e = 20^\circ \text{ C}$
- вологість повітря $\varphi = 55\%$
- режим вологості приміщення - нормальний;
- умови експлуатації обгороджування - А.

Визначаємо термічний опір окремих шарів :

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.010}{0.76} = 0.013;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0.001}{0.65} = 0.002;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.315}{0.44} = 0.72;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{0.001}{0.044} = 0.023;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0.07}{0.040} = 1.75;$$

$$R_6 = \frac{\delta_6}{\lambda_6} = \frac{0.013}{0.7} = 0.019$$

де $\delta_{1,2,..,n}$ - товщина відповідного шару, м²;

$\lambda_{1,2,..,n}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шарів, залежний від природи матеріалів і їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури, Вт/ (м К).

Визначаємо загальний опір теплопередачі обгороджування :

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^n R_j + \frac{1}{\alpha_H} = \frac{1}{8.7} + 0.013 + 0.72 + 1.75 + 0.002 + 0.023 + 0.004 + \frac{1}{23} = 2.67$$

де α_B - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі внутрішньої поверхні огорожжувачої конструкції, Вт/(м² К);

α_H - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої поверхні огорожжувачої конструкції, Вт/(м² К).

$$R_{\Sigma} = 2.67 \text{ м}^2 \text{ К/Вт} > R_{qmin} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова дотримується.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожжувачої конструкції:

$$t_{(x)} = t_e - \frac{t_e - t_H}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right)$$

Спершу визначимо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_e = t_e - \frac{t_e - t_H}{R_{\Sigma}} * \frac{1}{\alpha_e} = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.67} * \frac{1}{8.7} = 18.29^{\circ} \text{C}$$

Аналогічно визначимо значення температури $t_{(x)}$ наступних шарів конструкції :

$$t_1 = t_e - \frac{t_e - t_H}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.67} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.013 \right) = 20 - (14.98 * 0.127) = 18.1^{\circ} \text{C}$$

$$t_2 = t_e - \frac{t_e - t_H}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.67} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.733 \right) = 20 - (14.98 * 0.847) = 7.3^{\circ} \text{C}$$

$$t_3 = t_e - \frac{t_e - t_H}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.67} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.483 \right) = 20 - (14.98 * 2.597) = -18.9^{\circ} \text{C}$$

$$t_4 = t_e - \frac{t_e - t_H}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.67} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.485 \right) = 20 - (14.98 * 2.599) = -18.93^{\circ} \text{C}$$

$$t_5 = t_e - \frac{t_e - t_H}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.67} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.508 \right) = 20 - (14.98 * 2.622) = -19.3^{\circ} \text{C}$$

Температура на зовнішній поверхні огорожжувачої конструкції t_H буде рівна:

$$t_n = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.67} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.512 \right) = 20 - (14.98 * 2.626) = -19.3^{\circ}C$$

Визначимо максимальний парціальний тиск:

$$t_e = 18.29^{\circ}C \quad E = 15.8 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_1 = 18.1^{\circ}C \quad E = 15.6 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_2 = 7.31^{\circ}C \quad E = 7.7 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_3 = -18.9^{\circ}C \quad E = 0.86 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_4 = -18.93^{\circ}C \quad E = 0.86 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_5 = -19.3^{\circ}C \quad E = 0.87 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_n = -19.3^{\circ}C \quad E = 0.87 \text{ мм рт.ст}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_e - \frac{e_e - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_e = 0.01 \cdot \varphi_e \cdot E_e = 0.01 \cdot 55 \cdot 15.8 = 8.7$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.87 = 0.71$$

де e_e - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_e - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникнення огорожуючий конструкції, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.83 + 22.5 + 8.57 + 0.10 + 0.013 + 0.23 = 32.24$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0.010}{0.012} = 0.83 ;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.001}{0.010} = 0.10 ;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0.315}{0.014} = 22.5 ;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\mu_5} = \frac{0.001}{0.079} = 0.013 ;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0.07}{0.007} = 8.57 ;$$

$$R_6 = \frac{\delta_6}{\mu_6} = \frac{0.013}{0.013} = 0.23$$

R_{ex} - опір паропроникнення огорожуючий конструкції на відстані χ від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.71}{32.24} \cdot 1.23 = 8.40$$

$$e_2 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.71}{32.24} \cdot 23.73 = 2.82$$

$$e_3 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.71}{32.24} \cdot 32.3 = 0.70$$

$$e_4 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.71}{32.24} \cdot 32.4 = 0.67$$

$$e_5 = 8.7 - \frac{8.7 - 0.71}{32.24} \cdot 32.41 = 0.67$$

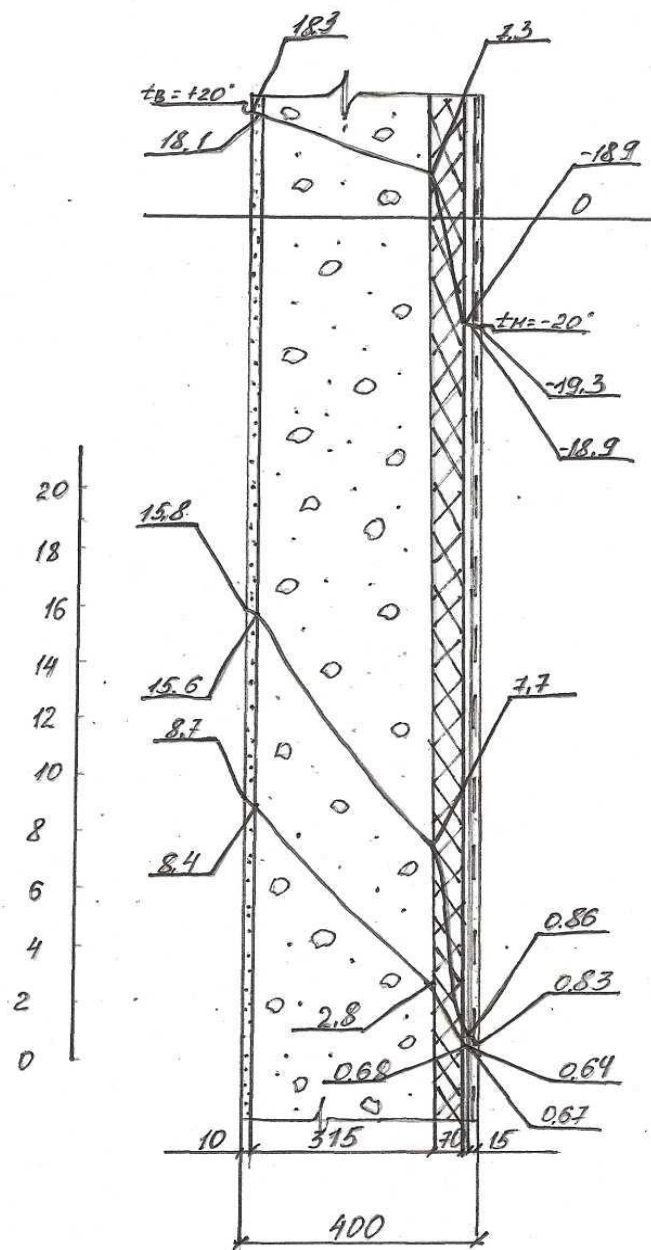


Рисунок 3.8 - Зміна температури і пружності водяної пари в товщі панелі

Проаналізуємо режим температурної вологості огорожуючий конструкції з внутрішнім утепленням:

- перший шар - шпаклівка ($\delta = 0.003\text{ м}$; $\lambda = 0.65 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.098\text{ мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.013\text{ г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);

- другий шар - гіпсокартонний лист ($\delta = 0.005\text{ м}$; $\lambda = 0.19\text{ Вт/м К}$; $\mu = 0.075\text{ мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.010\text{ г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);

- третій шар - вата листовая ($\delta = 0.10\text{ м}$; $\lambda = 0.064 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.30\text{ мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.04\text{ г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);

- четвертий шар - ґрунтовка ($\delta = 0.002\text{ м}$; $\lambda = 0.65 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.098\text{ мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.013\text{ г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);

- п'ятий шар - керамзитобетон ($\gamma = 1200 \text{ кг/м}^3$; $\delta = 0.315\text{ м}$; $\lambda = 0.44 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.11\text{ мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.014\text{ г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);

- шостий шар - зовнішній фактурний з цементно-піщаного розчину ($\delta = 0.025\text{ м}$; $\lambda = 0.7 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.12\text{ мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.014\text{ г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$).

- температура внутрішнього повітря $t_e = 20^\circ \text{ C}$

- вологість повітря $\varphi = 55\%$

- режим вологості приміщення - нормальний;

- умови експлуатації обгороджування - А.

Визначаємо термічний опір окремих шарів :

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.003}{0.65} = 0.005;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0.002}{0.65} = 0.002;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.005}{0.19} = 0.016;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{0.315}{0.44} = 0.72;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0.10}{0.064} = 1.56;$$

$$R_6 = \frac{\delta_6}{\lambda_6} = \frac{0.025}{0.7} = 0.036$$

де $\delta_{1,2,..,n}$ - товщина відповідного шару, м²;

$\lambda_{1,2,..,n}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шарів, залежний від природи матеріалів і їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури, Вт/ (м К).

Визначаємо загальний опір теплопередачі обгороджування :

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_B} + \sum_{i=1}^{n_i} R_j + \frac{1}{\alpha_H} = \frac{1}{8.7} + 0.005 + 0.016 + 1.56 + 0.002 + 0.72 + 0.036 + \frac{1}{23} = 2.5$$

де α_B – розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі внутрішньої поверхні конструкції, що захищає, Вт/(м² К);

α_H – розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої поверхні огорожуючої конструкції, Вт/(м² К).

$$R_{\Sigma} = 2.5 \text{ м}^2 R_{q \min} = 2.5 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова дотримується.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожуючої конструкції :

$$t_{(x)} = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right)$$

Спершу визначимо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_e = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \frac{1}{\alpha_e} = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \frac{1}{8.7} = 18.18^{\circ} \text{C}$$

Аналогічно визначимо значення температури $t_{(x)}$ наступних шарів конструкції :

$$t_1 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.005 \right) = 20 - (16 * 0.119) = 18.1^{\circ} \text{C}$$

$$t_2 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.021 \right) = 20 - (16 * 0.135) = 17.84^{\circ} \text{C}$$

$$t_3 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 1.581 \right) = 20 - (16 * 1.695) = -7.12^{\circ} \text{C}$$

$$t_4 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 1.583 \right) = 20 - (16 * 1.697) = -7.15^{\circ} \text{C}$$

$$t_5 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.303 \right) = 20 - (16 * 2.417) = -18.67^{\circ} \text{C}$$

Температура на зовнішній поверхні огорожуючої конструкції t_n буде рівна:

$$t_n = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.339 \right) = 20 - (16 * 2.453) = -19.24^{\circ}C$$

Визначимо максимальний парціальний тиск:

$$t_e = 18.18^{\circ}C \quad E = 15.7 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_1 = 18.1^{\circ}C \quad E = 15.6 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_2 = 17.84^{\circ}C \quad E = 15.3 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_3 = -7.12^{\circ}C \quad E = 2.5 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_4 = -7.15^{\circ}C \quad E = 2.5 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_5 = -18.67^{\circ}C \quad E = 0.86 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_n = -19.24^{\circ}C \quad E = 0.83 \text{ мм рт.ст}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_e - \frac{e_e - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_e = 0.01 \cdot \varphi_e \cdot E_e = 0.01 \cdot 55 \cdot 15.7 = 8.6$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.83 = 0.68$$

де e_e - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_e - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникнення огорожуючий конструкції, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.23 + 0.3 + 2.5 + 0.08 + 22.5 + 1.79 = 27.4$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0.003}{0.013} = 0.23;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.002}{0.013} = 0.08 ;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0.005}{0.010} = 0.3 ;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\mu_5} = \frac{0.315}{0.014} = 22.5 ;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0.010}{0.04} = 2.5 ;$$

$$R_6 = \frac{\delta_6}{\mu_6} = \frac{0.025}{0.014} = 1.79$$

R_{ex} - опір паропроникнення огорожуючий конструкції на відстані χ від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.68}{27.4} \cdot 0.63 = 8.40$$

$$e_2 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.68}{27.4} \cdot 1.33 = 8.2$$

$$e_3 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.68}{27.4} \cdot 3.43 = 7.6$$

$$e_4 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.68}{27.4} \cdot 3.51 = 7.59$$

$$e_5 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.68}{27.4} \cdot 26.01 = 1.1$$

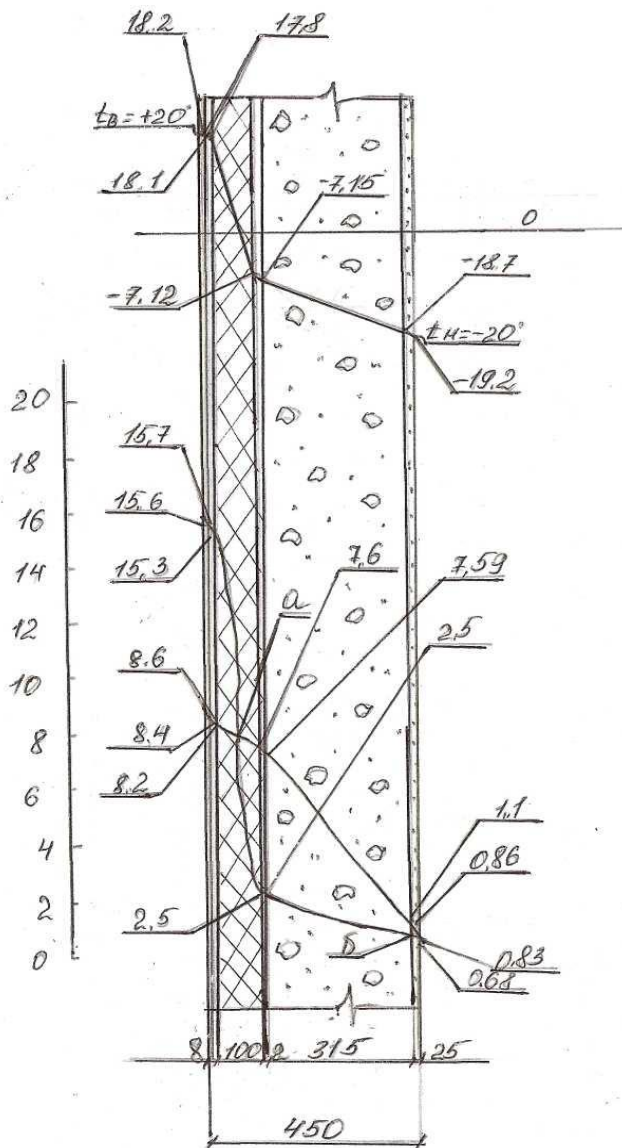


Рисунок 3.9 Зміна температури і пружності водяної пари в товщі панелі

Проаналізуємо режим температурної вологості двошарової панелі :

- перший шар - внутрішній фактурний з вапняно-піщаного розчину ($\delta = 0.010\text{ м}; \lambda = 0.76 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.09\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.012\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- другий шар - керамзитобетон ($\gamma = 1600 \text{ кг/м}^3; \delta = 0.100\text{ м}; \lambda = 0.67 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.09\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.012\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- третій шар - керамзитобетон ($\gamma = 800 \text{ кг/м}^3; \delta = 0.215\text{ м}; \lambda = 0.24 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.19\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.025\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- четвертий шар - зовнішній фактурний шар з цементно-піщаного розчину ($\delta = 0.025\text{ м}; \lambda = 0.7 \text{ Вт/ м До}; \mu = 0.12\text{ мг/(м ч Па)}$ або $0.016\text{ г/(м ч мм рт.ст)}$);
- температура внутрішнього повітря $t_e = 20^\circ \text{ C}$
- вологість повітря $\varphi = 55\%$
- режим вологості приміщення - нормальний;
- умови експлуатації обгороджування - А.

Визначаємо термічний опір окремих шарів :

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.010}{0.76} = 0.013;$$

$$R_{3-4} = \frac{\delta_{3-4}}{\lambda_{3-4}} = \frac{0.108}{0.24} = 0.45;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.100}{0.67} = 0.15;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{0.025}{0.7} = 0.036$$

де $\delta_{1,2,..,n}$ - товщина відповідного шару, м^2 ;

$\lambda_{1,2,..,n}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шарів, залежний від природи матеріалів і їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури, Вт/ (м К) .

Визначаємо загальний опір теплопередачі обгороджування :

$$R_\Sigma = \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^{n_i} R_j + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8.7} + 0.013 + 0.15 + 0.45 + 0.45 + 0.036 + \frac{1}{23} = 1.253$$

де α_e - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі внутрішньої поверхні конструкції, що захищає, $\text{Вт/ (м}^2 \text{ К)}$;

α_n – розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої поверхні конструкції, що захищає, Вт/(м² К).

$$R_{\Sigma} = 1.253 \text{ м}^2 \text{ К/Вт} < R_{q\text{min}} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова не дотримується.

При потоці тепла, що встановився, розподіл температур усередині огорожжувачої конструкції підкоряється певним закономірностям, і значення температури може бути легко вчислене для кожного шару конструкції.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожжувачої конструкції :

$$t_{(x)} = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right)$$

Спершу визначимо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_e = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \frac{1}{\alpha_e} = 20 - \frac{20 - (-20)}{1.253} * \frac{1}{8.7} = 16.36^{\circ} \text{ C}$$

$$t_1 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{1.253} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.013 \right) = 20 - (31.92 * 0.127) = 15.94^{\circ} \text{ C}$$

$$t_2 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{1.253} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.163 \right) = 20 - (31.92 * 0.277) = 11.16^{\circ} \text{ C}$$

$$t_3 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{1.253} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.613 \right) = 20 - (31.92 * 0.727) = -3.21^{\circ} \text{ C}$$

$$t_4 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{1.253} * \left(\frac{1}{8.7} + 1.063 \right) = 20 - (31.92 * 1.177) = -17.57^{\circ} \text{ C}$$

Температура на зовнішній поверхні огорожжувачої конструкції t_n буде рівна:

$$t_n = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{1.253} * \left(\frac{1}{8.7} + 1.099 \right) = 20 - (31.92 * 1.213) = -18.72^{\circ} \text{ C}$$

Виходячи зі значень температури, визначимо максимальний парціальний тиск:

$$t_e = 16.36^{\circ} \text{ C} \quad E = 13.95 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_1 = 15.94^{\circ}C \quad E = 13.58 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_2 = 11.16^{\circ}C \quad E = 9.95 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_3 = -3.21^{\circ}C \quad E = 3.5 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_4 = -17.57^{\circ}C \quad E = 0.98 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_n = -18.72^{\circ}C \quad E = 0.88 \text{ мм рт.ст}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_g - \frac{e_g - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_g = 0.01 \cdot \varphi_g \cdot E_g = 0.01 \cdot 55 \cdot 13.95 = 7.7$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.88 = 0.72$$

де e_g - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_g - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникнення огорожуючий конструкції, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.83 + 8.33 + 4.32 + 4.32 + 1.56 = 19.36$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0.010}{0.012} = 0.83;$$

$$R_{3-4} = \frac{\delta_{3-4}}{\mu_{3-4}} = \frac{0.108}{0.025} = 4.32;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0.10}{0.012} = 8.33;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\mu_5} = \frac{0.025}{0.016} = 1.56$$

R_{ex} - опір паропроникнення огорожуючий конструкції на відстані χ від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 7.7 - \frac{7.7 - 0.72}{19.36} \cdot 1.23 = 7.3$$

$$e_2 = 7.7 - \frac{7.7 - 0.72}{19.36} \cdot 9.56 = 4.3$$

$$e_3 = 7.7 - \frac{7.7 - 0.72}{19.36} \cdot 13.88 = 2.7$$

$$e_3 = 7.7 - \frac{7.7 - 0.72}{19.36} \cdot 18.2 = 1.1$$

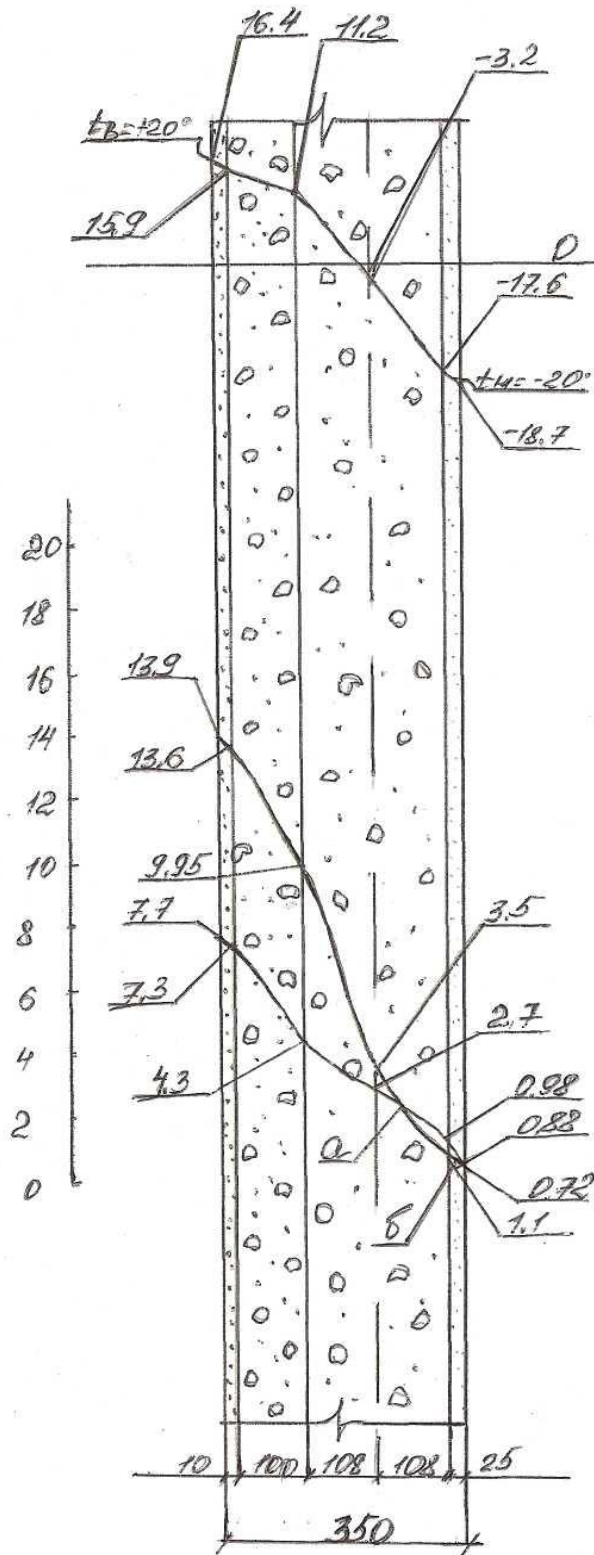


Рисунок 3.10 - Зміна температури і пружності водяної пари в товщі панелі

Тепер проаналізуємо режим температурної вологості для двошарової панелі із зовнішньою теплоізоляцією:

- перший шар - внутрішній фактурний з вапняно-піщаного розчину ($\delta = 0.010\text{ м}; \lambda = 0.76 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.09\text{ мг/ (м ч Па)}$ або $0.012\text{ г/ (м ч мм рт.ст)}$);
- другий шар - керамзитобетон ($\gamma = 1600 \text{ кг/м}^3; \delta = 0.100\text{ м}; \lambda = 0.67 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.09\text{ мг/ (м ч Па)}$ або $0.012\text{ г/ (м ч мм рт.ст)}$);
- третій шар - керамзитобетон ($\gamma = 800 \text{ кг/м}^3; \delta = 0.215\text{ м}; \lambda = 0.24 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.19\text{ мг/ (м ч Па)}$ або $0.025\text{ г/ (м ч мм рт.ст)}$);
- четвертий шар - ґрунтовка ($\delta = 0.001\text{ м}; \lambda = 0.65 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.098\text{ мг/ (м ч Па)}$ або $0.010\text{ г/ (м ч мм рт.ст)}$);
- п'ятий шар - мати прошивні з мінеральної вати ($\gamma = 125\text{ г/м}^3; \delta = 0.100\text{ м}; \lambda = 0.064 \text{ Вт/ м К}; \mu = 0.30\text{ мг/ (м ч Па)}$ або $0.040\text{ г/ (м ч мм рт.ст)}$);
- шостий шар - декоративна штукатурка ($\delta = 0.025\text{ м}; \lambda = 0.7\text{ Вт/ м К}; \mu = 0.098\text{ мг/ (м ч Па)}$ або $0.013\text{ г/ (м ч мм рт.ст)}$).
- температура внутрішнього повітря $t_e = 20^\circ \text{ C}$
- вологість повітря $\varphi = 55\%$
- режим вологості приміщення - нормальний;
- умови експлуатації обгороджування - А.

Визначаємо термічний опір окремих шарів :

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.010}{0.76} = 0.013;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0.001}{0.65} = 0.002;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.100}{0.67} = 0.15;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{0.10}{0.064} = 1.25;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0.215}{0.24} = 0.896;$$

$$R_6 = \frac{\delta_6}{\lambda_6} = \frac{0.025}{0.7} = 0.004$$

де $\delta_{1,2,..,n}$ - товщина відповідного шару, м^2 ;

$\lambda_{1,2,..,n}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шарів, залежний від природи матеріалів і їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури, Вт/(м К).

Визначаємо загальний опір теплопередачі обгороджування :

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_e} + \sum_{i=1}^{n_i} R_j + \frac{1}{\alpha_n} = \frac{1}{8.7} + 0.013 + 0.896 + 0.15 + 0.002 + 1.25 + 0.004 + 0.04 + \frac{1}{23} = 2.5$$

де α_e - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі внутрішньої поверхні огорожжувачої конструкції, Вт/(м² К);

α_n - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої поверхні огорожжувачої конструкції, Вт/(м² К).

$$R_{\Sigma} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт} = R_{q \text{ min}} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова дотримується.

При потоці тепла, що встановився, розподіл температур усередині огорожжувачої конструкції підкоряється певним закономірностям, і значення температури може бути легко вчислене для кожного шару конструкції.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожжувачої конструкції :

$$t_{(x)} = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right)$$

Спершу визначимо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_e = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \frac{1}{\alpha_e} = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \frac{1}{8.7} = 18.18^{\circ} \text{ C}$$

$$t_1 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.013 \right) = 20 - (16 * 0.127) = 17.96^{\circ} \text{ C}$$

$$t_2 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.163 \right) = 20 - (16 * 0.277) = 15.6^{\circ} \text{ C}$$

$$t_3 = t_e - \frac{t_e - t_n}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_e} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 1.063 \right) = 20 - (16 * 1.177) = 1.2^{\circ} \text{ C}$$

$$t_4 = t_6 - \frac{t_6 - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_6} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 1.065 \right) = 20 - (16 * 1.179) = -1.1^0 C$$

$$t_5 = t_6 - \frac{t_6 - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_6} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.315 \right) = 20 - (16 * 2.429) = -18.9^0 C$$

Температура на зовнішній поверхні огорожжувачої конструкції t_n буде рівна:

$$t_n = t_6 - \frac{t_6 - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_6} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.319 \right) = 20 - (16 * 2.433) = -18.9^0 C$$

Виходячи зі значень температури, визначимо максимальний парціальний тиск:

$$t_6 = 18.18^0 C \quad E = 15.7 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_1 = 17.96^0 C \quad E = 15.4 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_2 = 15.6^0 C \quad E = 13.3 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_3 = 1.2^0 C \quad E = 5.0 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_4 = 1.1^0 C \quad E = 5.0 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_5 = -18.9^0 C \quad E = 0.86 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_n = -18.9^0 C \quad E = 0.86 \text{ мм рт.ст}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_6 - \frac{e_6 - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_6 = 0.01 \cdot \varphi_6 \cdot E_6 = 0.01 \cdot 55 \cdot 15.7 = 8.6$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.86 = 0.71$$

де e_6 - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_6 - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникнення огорожжувачої конструкції, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.83 + 8.6 + 8.33 + 0.1 + 2.0 + 0.23 = 20.06$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0.010}{0.012} = 0.83;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.001}{0.010} = 0.1;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0.100}{0.012} = 8.33;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\mu_5} = \frac{0.10}{0.040} = 2.0;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0.215}{0.025} = 8.6;$$

$$R_6 = \frac{\delta_6}{\mu_6} = \frac{0.025}{0.013} = 0.23$$

R_{ex} - опір паропроникнення огорожжучий конструкції на відстані x від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.71}{20.06} \cdot 1.23 = 8.1$$

$$e_2 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.71}{20.06} \cdot 9.56 = 4.8$$

$$e_3 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.71}{20.06} \cdot 18.16 = 1.5$$

$$e_4 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.71}{20.06} \cdot 18.26 = 1.4$$

$$e_5 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.71}{20.06} \cdot 20.26 = 0.63$$

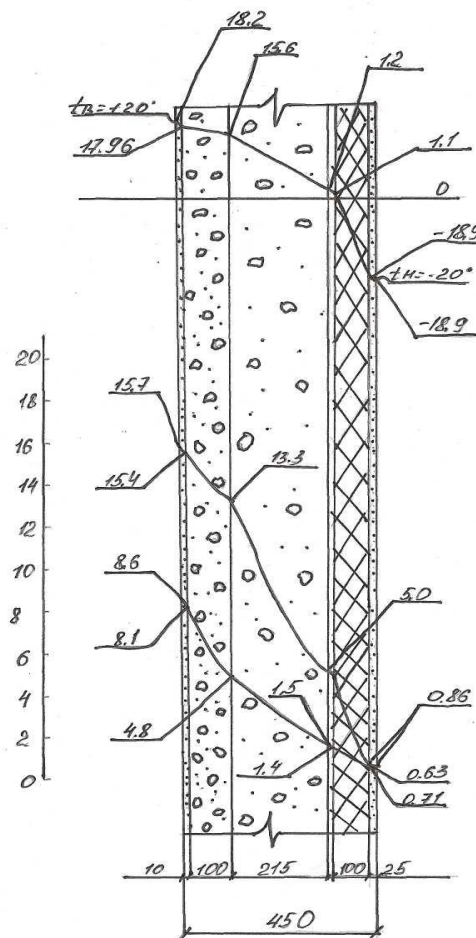


Рисунок 3.11 - Зміна температури і пружності водяної пари в товщі панелі

Тепер проаналізуємо режим температурної вологості для двошарової панелі з внутрішньою ізоляцією:

- перший шар - шпаклівка ($\delta = 0.018\text{ м}$; $\lambda = 0.7 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.098\text{ мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.013\text{ г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);

- другий шар - гіпсокартонний лист ГКЛ ($\delta = 0.010\text{ м}$; $\lambda = 0.19\text{ Вт/м К}$; $\mu = 0.075\text{ мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.010\text{ г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);

- третій шар - ґрунтовка ($\delta = 0.002\text{ м}$; $\lambda = 0.65 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.098\text{ мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.013\text{ г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);

- четвертий шар - пінополиуретан на клею ($\delta = 0.08\text{ м}$; $\lambda = 0.50 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.05\text{ мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.007\text{ г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);

- п'ятий шар - керамзитобетон ($\gamma = 1600 \text{ кг/м}^3$; $\delta = 0.100\text{ м}$; $\lambda = 0.67 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.09\text{ мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.012\text{ г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);

- шостий шар - керамзитобетон ($\gamma = 800 \text{ кг/м}^3$; $\delta = 0.215\text{ м}$; $\lambda = 0.24 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.19\text{ мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.025\text{ г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$);

- сьомий шар - зовнішній фактурний з цементно-піщаного розчину ($\delta = 0.025\text{ м}$; $\lambda = 0.7 \text{ Вт/ м К}$; $\mu = 0.12\text{ мг}/(\text{м ч Па})$ або $0.014\text{ г}/(\text{ м ч мм рт.ст})$).

- температура внутрішнього повітря $t_e = 20^\circ \text{ C}$

- вологість повітря $\varphi = 55\%$

- режим вологості приміщення - нормальний;

- умови експлуатації обгороджування - А.

Визначаємо термічний опір окремих шарів :

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\lambda_1} = \frac{0.018}{0.7} = 0.004;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\lambda_5} = \frac{0.100}{0.67} = 0.15;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\lambda_2} = \frac{0.010}{0.19} = 0.05;$$

$$R_6 = \frac{\delta_6}{\lambda_6} = \frac{0.215}{0.24} = 0.896;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\lambda_3} = \frac{0.002}{0.65} = 0.002;$$

$$R_7 = \frac{\delta_7}{\lambda_7} = \frac{0.025}{0.7} = 0.036$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\lambda_4} = \frac{0.08}{0.050} = 1.2;$$

де $\delta_{1,2,..,n}$ - товщина відповідного шару, м²;

$\lambda_{1,2,..,n}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу шарів, залежний від природи матеріалів і їх хімічного складу і особливостей кристалічної структури, Вт/(м К).

Визначаємо загальний опір теплопередачі обгороджування :

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + \sum_{i=1}^{n_i} R_j + \frac{1}{\alpha_{\eta}} = \frac{1}{8.7} + 0.004 + 0.05 + 0.002 + 1.2 + 0.15 + 0.896 + 0.036 + \frac{1}{23} = 2.5$$

де α_{ϵ} - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі внутрішньої поверхні огорожжувачої конструкції, Вт/(м² К);

α_{η} - розрахункове значення коефіцієнта теплопередачі зовнішньої поверхні огорожжувачої конструкції, Вт/(м² К).

$$R_{\Sigma} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт} = R_{q \min} = 2.5 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$$

З порівняння виходить, що необхідна умова дотримується.

При потоці тепла, що встановився, розподіл температур усередині огорожжувачої конструкції підкоряється певним закономірностям, і значення температури може бути легко вчислене для кожного шару конструкції.

Визначимо значення температури для кожного шару огорожжувачої конструкції:

$$t_{(x)} = t_{\epsilon} - \frac{t_{\epsilon} - t_{\eta}}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + R_x \right)$$

Спершу визначимо значення температури на поверхні конструкції, оберненої в приміщення :

$$t_{\epsilon} = t_{\epsilon} - \frac{t_{\epsilon} - t_{\eta}}{R_{\Sigma}} * \frac{1}{\alpha_{\epsilon}} = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \frac{1}{8.7} = 18.18^{\circ} \text{ C}$$

$$t_1 = t_{\epsilon} - \frac{t_{\epsilon} - t_{\eta}}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.004 \right) = 20 - (16 * 0.118) = 18.11^{\circ} \text{ C}$$

$$t_2 = t_{\epsilon} - \frac{t_{\epsilon} - t_{\eta}}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.054 \right) = 20 - (16 * 0.168) = 17.31^{\circ} \text{ C}$$

$$t_3 = t_{\epsilon} - \frac{t_{\epsilon} - t_{\eta}}{R_{\Sigma}} * \left(\frac{1}{\alpha_{\epsilon}} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 0.056 \right) = 20 - (16 * 0.170) = 17.28^{\circ} \text{ C}$$

$$t_4 = t_6 - \frac{t_6 - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 1.256 \right) = 20 - (16 * 1.370) = -1.92^0 C$$

$$t_5 = t_6 - \frac{t_6 - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 1.406 \right) = 20 - (16 * 1.520) = -4.32^0 C$$

$$t_6 = t_6 - \frac{t_6 - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.302 \right) = 20 - (16 * 2.416) = -18.66^0 C$$

Температура на зовнішній поверхні огорожжувачої конструкції t_n буде рівна:

$$t_n = t_6 - \frac{t_6 - t_n}{R_\Sigma} * \left(\frac{1}{\alpha_g} + R_x \right) = 20 - \frac{20 - (-20)}{2.5} * \left(\frac{1}{8.7} + 2.338 \right) = 20 - (16 * 2.452) = -19.23^0 C$$

Виходячи зі значень температури, визначимо максимальний парціальний тиск:

$$t_6 = 18.18^0 C \quad E = 15.7 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_1 = 18.11^0 C \quad E = 15.6 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_2 = 17.31^0 C \quad E = 14.8 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_3 = 17.28^0 C \quad E = 14.8 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_4 = -1.92^0 C \quad E = 3.9 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_5 = -4.32^0 C \quad E = 3.2 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_6 = -18.66^0 C \quad E = 0.88 \text{ мм рт.ст}$$

$$t_n = -19.23^0 C \quad E = 0.83 \text{ мм рт.ст}$$

Визначаємо парціальний тиск водяної пари в довільному перерізі:

$$e_x = e_g - \frac{e_g - e_n}{R_{e\Sigma}} * R_{ex}$$

$$e_g = 0.01 \cdot \varphi_g \cdot E_g = 0.01 \cdot 55 \cdot 15.7 = 8.6$$

$$e_n = 0.01 \cdot \varphi_n \cdot E_n = 0.01 \cdot 82 \cdot 0.83 = 0.68$$

де e_g - парціальний тиск пари внутрішнього повітря, мм рт.ст (Па);

e_n - парціальний тиск пари зовнішнього повітря, мм рт.ст (Па);

E_g - максимальний тиск водяної пари, мм рт.ст (Па);

$R_{e\Sigma}$ - опір паропроникнення огорожжувачої конструкції, Вт/(м² °С);

$$R_{e\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\mu_i} = 0.23 + 1.0 + 0.08 + 8.57 + 8.3 + 8.6 + 1.56 = 28.34$$

$$R_1 = \frac{\delta_1}{\mu_1} = \frac{0.018}{0.013} = 0.23;$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{\mu_2} = \frac{0.010}{0.010} = 1.0;$$

$$R_3 = \frac{\delta_3}{\mu_3} = \frac{0.002}{0.013} = 0.08;$$

$$R_4 = \frac{\delta_4}{\mu_4} = \frac{0.08}{0.007} = 8.57;$$

$$R_5 = \frac{\delta_5}{\mu_5} = \frac{0.100}{0.012} = 8.3;$$

$$R_6 = \frac{\delta_6}{\mu_6} = \frac{0.215}{0.025} = 8.6;$$

$$R_7 = \frac{\delta_7}{\mu_7} = \frac{0.025}{0.016} = 1.56$$

R_{ex} - опір паропроникнення огорожуючий конструкції на відстані χ від внутрішньої поверхні, Вт/(м² °С);

$$e_1 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.68}{28.34} \cdot 0.63 = 8.4$$

$$e_2 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.68}{28.34} \cdot 1.63 = 8.1$$

$$e_3 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.68}{28.34} \cdot 1.71 = 8.1$$

$$e_4 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.68}{28.34} \cdot 10.28 = 5.7$$

$$e_5 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.68}{28.34} \cdot 18.58 = 3.4$$

$$e_6 = 8.6 - \frac{8.6 - 0.68}{28.34} \cdot 27.18 = 1.1$$

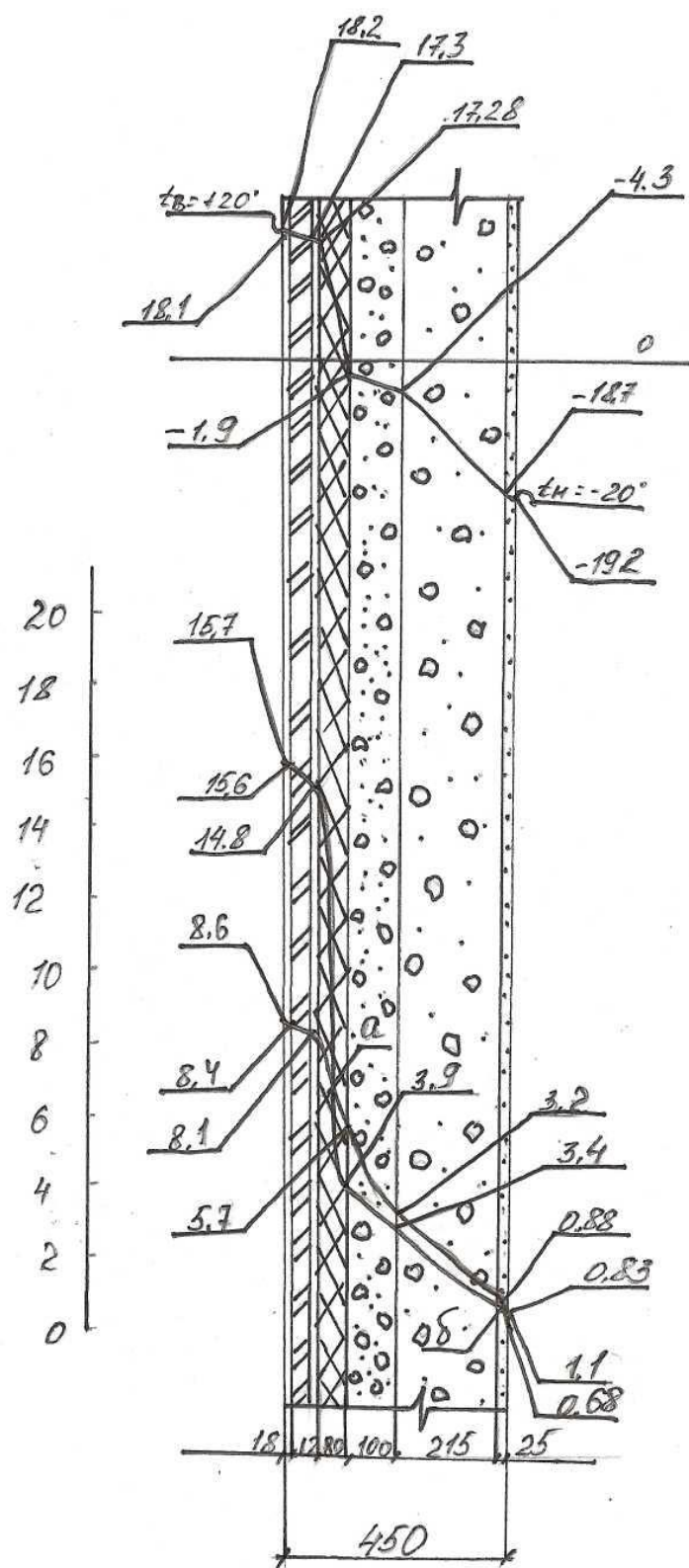


Рисунок 3.12 - Зміна температури і пружності водяної пари в товщі панелі

3.4 Висновки по розділу

З рисунків 3.7, 3.9, 3.10, 3.12 витікає, що більше половини стіни експлуатується при негативній температурі, оскільки в холодний період року, при режимі експлуатації такої стіни, що встановився, температура в її товщі змінюється від позитивної до негативної температури зовнішньої поверхні.

Так само в товщі досліджуваних огорожжуваних конструкцій, спостерігається осідання конденсату, оскільки лінії максимальної пружності і пружності, що проходять, водяного перетинаються в точках а і б.

ВИСНОВКИ

1. В результаті аналізу режиму температурної вологості огороджувальних конструкцій стало відомо, що додаткова теплоізоляція із зовнішнього боку будівлі :

- захищає стіни від змінного промерзання і інших атмосферних дій;
- вирівнює температурні коливання основного масиву стіни, завдяки чому виключається поява в ній внаслідок нерівномірних температурних деформацій, що особливо актуально для зовнішніх стін з великих панелей;
- виключає можливість перезволоження внутрішньої частини стіни;
- створюється сприятливий режим роботи стіни за умовами її паропроницаємості, що виключає необхідність облаштування спеціальної пароізоляції, у тому числі і на віконних укосах, що вимагається у разі внутрішньої теплоізоляції;
- формується сприятливіший клімат приміщення;
- високі гідрофобні властивості стін (чи значне обмеження абсорбції вологи через зовнішню поверхню системи);
- багат шарові зовнішні стіни з використанням ефективного теплоізоляційного матеріалу мають перевагу в підвищенні теплозахисних якостей будівлі в порівнянні з одношаровими зовнішніми стінами;
- у багат шарових конструкціях доцільно розташовувати з теплового боку матеріал з великим коефіцієнтом теплопровідності, що забезпечує більш високу температуру кута;
- забезпечення високого рівня енергозбереження. Зниження витрат на опалювання будівлі до 60%;

2. При установці на стіні теплоізоляційного шару з внутрішньої сторони відбувається зміна її режиму температурної вологості. Теплоізоляція затримує вступ теплоти з приміщення в обгороджування, викликаючи пониження температури усередині стіни. Тому підвищується вологість стіни при

одночасному пониженні її температури, що сприяє утворенню конденсату на невеликій глибині від внутрішньої поверхні.

3. При розташуванні теплоізоляційного шару із зовнішнього боку стіна стає більше теплостійкою. Паропроницаемий утеплювач не дає скупчуватися волозі, забезпечуючи природну сушку обгороджування. Завдяки розташуванню ізоляції зовні обгороджування стіна акумулює теплоту, оскільки утеплювач затримує її в обгороджуванні, ізолюючи від холодного зовнішнього повітря і підвищуючи температуру в товщі стіни. Природна дифузія водяної пари і підвищена температура обгороджування позитивно позначається на теплотехнічних характеристиках обгороджування.

4. При розташуванні теплоізоляційного шару із зовнішнього боку рекомендується пристрій поверх утеплювача додаткового шару з міцного паропроницаемого матеріалу, що дозволяє значно зменшити негативну дію атмосфери.

5. Шар пароізоляції на внутрішній поверхні стіни зменшує кількість водяної пари, що поступає в обгороджування з приміщення, а у ряді випадків повністю захищає від проникнення вологи і утворення внутрішнього конденсату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. А.М. Протасович, В. В. Лешкевич. Вплив захисного шару в легких системах зовнішньої теплоізоляції на режим вологості стін будівель. /Житлове будівництво 2006, № 8 - з 5-9.
2. А.М. Протасевич. Теплоізоляція зовнішніх стін будівель по системі «Вентилюваний фасад». /Житлове будівництво. - 2006. - № 2. - с.8- 13.
3. А.Н. Стеблинин, И.Э. Миневич, А.Л. Григорьев, А.В. Ісакова. Підвищення теплового опору і екологічної чистоти конструкцій, що захищають. /Житлове будівництво 2006. - №9. - с. 11-12.
4. Архітектура цивільних і промислових будівель. - Т. 2: Основи проектування / Під ред. Предтеченського В. М. - М.: Стройиздат, 1976. - 406 с.
5. Архітектурні конструкції цивільних будівель. Стіни і перегородки. Дехтяр С. Би. - До., «Будівельник», 1978. - 88 с.
6. Архітектура будівель і споруд. Методичні вказівки до виконання практичних вправ по конструкціям цивільних будівель для студентів ЗДІА спеціальностей 6.092101 «Промислове та цивільне будівництво», 6.092103 «Міське будівництво і господарство» /Укл.: В. О. Савін - Запоріжжя, 2005. - 56 с.
7. Ариєвич Э.М., Вавуло Н.М. Підвищення теплотехнічних якостей повнозбірних житлових будівель. - М.: Стройиздат, 1985. - 192 с. мул. (економія палива і електроенергії).
8. Беляєв В. С., Хохлова Л.П. Проектування енергоекономічних і енергоактивних цивільних будівель.: Навчальний посібник для студентів внз по спец. «Пром. і гражд. будівництва». - М.: Высш. Шк., 1991. - 255 с.
9. Беляєв В. С. Шляхи підвищення теплової ефективності житлових будівель. - В кн.: Економія паливно-енергетичних і матеріальних ресурсів в житлових будівлях. - М.: ЦНИИЭП жилья, 1985. - 83 с.
10. Богословський В. Н. Тепловий режим будівлі. - М.: Стройиздат, 1972. - 248 с.

11. Бутовский И.Н., Худошина О. В. Вдосконалення конструктивних рішень теплозахисту зовнішніх стін будівель. - М.: ВНИИТПИ, 1990. - 67 с.
12. Гусев Н.М. Основи будівельної фізики. - М.: Стройиздат, 1975. - 45 с.
13. ДБН В. 2.6-31:2006 Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель. - До.: Мінбуд, 2006. - 72 с.
14. Дехтяр С. Би., Терновский Г. С., Терновская Н.А. Архітектурні конструкції цивільних задній. - Київ: Будівельник, 1980.- 82 с.
15. Дроздов В. А. Шляхи підвищення теплотехнічних якостей зовнішніх стін цегляних будівель. /Житлове будівництво 1983. - № 11. - с.8- 10.
16. Житлові будівлі. Оглядова інформація. Випуск 1. Житлові будівлі, підвищення теплової ефективності. Москва, 1986. - 51 с.
17. Захист сполучень панельних стін будівель від атмосферних дій. - Л.: Стройиздат. Ленінградське відділення, 1988. - 101 с.
18. Лабораторний практикум по будівельній фізиці: Навчань. Посібник для студентів вnz / Об'їдків В. А., Соловійов А.К., Кондратенков А.Н. та ін. - М.: Высш. школа, 1979. - 221 з
19. Легкі конструкції будівель, що захищають, з утепленням на основі мінеральних волокон /ВНИИТПИ - М., 1991. - 56 с.
20. Могилат А.Н. Проектування теплозахисту покриттів цивільних будівель. - Київ: Будівельник, 1982. - 215 с.
21. Монастырев П. В. Технологія облаштування додаткового теплозахисту стін житлових будівель : Навчальний посібник - М.: АСВ, 2002. - 160 с.
22. Москалев В. І. Легкі конструкції, що захищають, в архітектурі фасадів будівель. - М.: Знання, 1989. - 64 с.
23. Рекомендації по підвищенню теплозахисних властивостей експлуатації повнозбірних житлових будівель. - М.: Стройиздат, 1987. - 25 с.
24. Керівництво за теплотехнічним розрахунком і проектуванням конструкцій будівель /НДІ, що захищають, лади. фізики. - М.: Стройиздат, 1985. - 30 с.
25. Керівництво за розрахунком режиму вологості конструкцій будівель /НДІ, що захищають, лад. фізики. М.: Стройиздат, 1984. - 35 с.

26. С. До. Есенгабулов. Дослідження конструкцій зовнішніх стін. /Житлове будівництво 2005. - № 9. - с.22- 23.
27. СНиП 2.01.01.-82. Будівельна кліматологія і геофізика. Держбуд СРСР. - М.: Стройиздат, 1982. - 85 с.
28. Вдосконалення конструктивних рішень теплозахисту зовнішніх стін будівель /ВНИИНТПИ. - М., 1990. - 68 с.: мул - /Стр-во і архітектура. Світовий рівень розвитку будує. Науки і техніка. Сер. «Будує. конструкції»; Вып.3
29. Довідник по теплозахисту будівель / Хоменко В. П., Г. Г. Фаренюк - До.: Будівельник, 1986. - 216 с.
30. Довідник проектувальника промислових, житлових і громадських будівель і споруд. Т. 1, Т. 2 / Під ред. А.А. Уманського. - М.: Госстройиздат, 1972. - 38 с.
31. Табунників Ю.А. Тепловий захист конструкцій житлових і громадських будівель, що захищають. - М.: Стройиздат, 1978. - 325 с.
32. Теплозахисні характеристики енергоефективності індивідуальних будівель /ВНИИНТПИ. - М., 1992. - 110 с.
33. Теплозахисні характеристики конструкцій житлових і громадських будівель, що захищають. /Збірка наукових статей під ред. к.т.н. Г. До. Авдєєва. Москва, 1986. - 69 с.
34. Теплофізичні властивості речовин і матеріалів. (Збірка статей)- М., Вид-во стандартів, 1973. - 180 с.
35. Умняков П. М. Теплоізоляція конструкцій житлових і громадських будівель, що захищають. - М.: Стройиздат, 1978. - 305 с.
36. Фокін К.Ф. Будівельна теплотехніка частин будівель, що захищають. - М.: Стройиздат, 1973. - 287 с.
37. Хлевчук В. Р. Теплотехнічні і звукоізоляційні якості конструкцій будинків підвищеної поверховості, що захищають. - М.: Стройиздат, 1978. - 329 с.
38. Хоменко В. П. Поліпшення теплофізичних властивостей і підвищення довговічності будівельних конструкцій. До., 1983. - 158 с.

39. Чернышов Е.М., Акулова И.И. Кухтин Ю.А. Энергоэффективность застосування комірчастого бетону в житловому будівництві. / Промислове і цивільне будівництво. - 2002. - №3. - с.29- 32.
40. Шерстюк В. Г. Підвищення теплової ефективності пром. і гражд. Будівель в УРСР - До., 1984. - 32 с. - (огляд. информ./ Укр НИИНТИ. Сер. 41.5. Орг. технологія і механізація стр-ва. Загальні питання стр-ва).
41. Матеріали I всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково- технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України». ІННІ ЗНУ. -2021р. -527с.

ВІДГУК

керівника кваліфікаційної роботи

здобувача рівня вищої освіти «магістр»

Ель Маріні Алаєддін
(П.І.Б.)

Кваліфікаційна робота на тему: «Проектування температурно- вологісного режиму огорожуючих конструкцій багатоповерхових громадських будівель».

Викона згідно до завдання, відповідає темі, містить 32 листа
(не) згідно (не) відповідає
графічного матеріалу і пояснювальну записку з 110 сторінок, підписана консультантами і має рецензію.

1. Актуальність теми, наявність замовлення роботи підприємством (організацією)
Актуальність обраної теми обумовлена тим що ще нещодавно ідеї економії теплової енергії були для більшості людей в Україні абстрактним поняттям. Проте, об'єктивні процеси постійного зростання цін на енергоресурси, зміна політики держави в області комунальних послуг, а також трансформація поглядів суспільства на охорону природи переводять проблему енергозбереження в практичну площину.

2. Глибина обґрунтувань прийнятих рішень (повнота розрахунків, наявність багато-варіантності)

У кваліфікаційній роботі розглядаються природно-кліматичні умови експлуатації конструкцій цивільних будівель, огорожувальних конструкцій і їх конструктивні виконання, згідно з діючими нормативами по тепловій ізоляції.

3. Загальний рівень підготовки та ерудиції здобувача ступеня вищої освіти «магістр»
відповідає прийнятим вимогам

4. Творчий потенціал і ступінь самостійності студента у вирішенні поставлених задач на достатньому професійному рівні

5. Науковий рівень (для робіт дослідницького характеру) та глибина експериментальних досліджень виконано у повному обсязі та відповідає вимогам

6. Застосування сучасних системних та інформаційних технологій, фізичного або математичного моделювання, наявність обґрунтування вибору типу ЕОМ, застосування стандартних та оригінальних програм, наявність аналізу результатів та їх використання у

роботі кваліфікаційна робота магістра виконана за допомогою сучасних комп'ютерних технологій та сучасних нормативних документів

7. Відповідність оформлення до вимог діючих стандартів оформлено згідно норм та стандартів

8. Дотримання студентом графіка виконання роботи дотримано

9. Наукова цінність роботи, практична значимість _____

Наукова цінність роботи одержаних результатів полягає в наступному: проаналізован режим температурної вологості стін цивільних будівель різних конструктивних рішень.

Практичне значення одержаних результатів полягає: виконан теплотехнічний розрахунок огорожувальних конструкцій цивільних будівель різних конструктивних рішень.

10. У кваліфікаційній роботі магістра можна відмітити такі недоліки: _____

Як побажання слід висловити наступне: бажано було б більш детально розглянути теплотехнічні характеристики цегляних стін цивільних будівель, але приведені зауваження не впливає на якість виконання роботи.

Кваліфікаційна робота магістра у цілому виконана на відповідальному рівні і при відповідному захисті заслуговує на оцінку:

кількість балів 95 національною Відмінно ЄКТС A

Керівник

К.Т.Н., доцент
(посада, науковий ступінь)


(підпис)

Банах А.В.
(ПІБ)

Рецензія

здобувача рівня вищої освіти «магістр»

Ель Маріні Алаєєддін
(П.І.Б.)

Кваліфікаційна робота на тему: «Проектування температурно- вологісного режиму огорожувальних конструкцій багатоповерхових громадських будівель».

Кваліфікаційна робота магістра виконана згідно до завдання відповідає темі,
(не) згідно не (відповідає)

містить мультимедійну репрезентацію листів графічного матеріалу і пояснювальну записку з 110 сторінок.

1. Актуальність теми (повнота постановки проблеми, формування проблеми та її значимість, постановка завдань досліджень) Тема магістерської роботи є актуальною тому що головним напрямом технічної політики в області будівництва є енергозбереження і ресурсозберігання. Значне місце у вирішенні цієї проблеми відводиться не лише новому будівництву, але і експлуатованому фонду житлових і громадських будівель, теплотехнічні характеристики яких не задовольняють сучасним вимогам. Підвищення теплотехнічних характеристик огорожувальних конструкцій сприяє зниженню енергоспоживання експлуатованих будівель.

2. Ступінь науковості роботи (широта вивчення результатів досліджень за проблемою, методика дослідження, наявність елементів наукової новизни та ступінь їх розробки)

У кваліфікаційній роботі наведено природно-кліматичні умови експлуатації конструкцій цивільних будівель, огорожувальних конструкцій і їх конструктивні виконання, згідно з діючими нормативами по тепловій ізоляції.

Наукова цінність роботи одержаних результатів полягає в наступному: був проаналізований режим температурної вологості стін цивільних будівель різних конструктивних рішень.

3. Якість подачі матеріалу роботи (ступінь взаємозв'язку розділів роботи, застосування комп'ютерних технологій, чіткість і технічна грамотність оформлення роботи, науковий стиль викладення матеріалу)

Магістерська робота виконана за допомогою сучасних комп'ютерних технологій. Усі розділи магістерської роботи оформлені згідно норм та відповідають вимогам, що висуваються до магістерських робіт. Розділи взаємозв'язані один з одним, чітко та технічно грамотно оформлені. Науковий стиль викладення матеріалу – виконано у повному обсязі та відповідає вимогам, що висуваються до магістерської роботи.

4. Практична значимість результатів роботи (рівень реальності результатів та пропозицій, техніко - економічні показники запропонованих рішень, наявність публікацій за темою роботи) _____

Практичне значення одержаних результатів полягає в виконанні теплотехнічного розрахунок огорожувальних конструкцій цивільних будівель різних конструктивних рішень.

5. Недоліки кваліфікаційної роботи магістра: в роботі потрібно більш детально розглянути теплотехнічні характеристики стін панельних будівель. Приведене зауваження не впливає на якість виконання роботи.

6. Кваліфікаційна робота магістра у цілому виконана (ний) на відповідальному рівні і заслуговує оцінки:

кількість балів 95

за національною шкалою Відмінно

за шкалою ЄКТС A

Рецензент доцент кафедри міського будівництва і архітектури


Запорізького національного університету

(посада, місце роботи)


(підпис)

Савін В.О.
(П.І.Б.)



 Директор ІННТ ім. Ю.М.Ромбана ЗНУ
М.Т. Мегелешко