МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проєкт)

магістр
(рівень вищої освіти)

на тему Аеродинамічний розрахунок конвективних потоків у багатоквартирному житловому будинку

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1924-мбг
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
(код і назва спеціальності)
освітньої програми Міське будівництво та господарство
(назва освітньої програми)
Литвиненко В.В.
(ініціали та прізвище)

Керівник доц.,к.т.н, Банах А. В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)
Рецензент проф., д.т.н, Банах В.А.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
імені Ю.М. ПОТЕБНІ

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
«01» 06 2025 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Литвиненко Вікторії Віталіївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи (проєкту) Аеродинамічний розрахунок конвективних потоків у багатоквартирному житловому будинку

керівник роботи доц.,к.т.н, Банах А. В.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом ЗНУ від «19» 09 2025 року № 1303-с.

1 Строк подання студентом роботи 01.12.2025

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

3 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналіз нормативної бази та існуючих методів визначення теплового опору (лабораторні та натурні випробування). Огляд методик відбору зразків та вимог до вимірювального обладнання (тепломіри, термодатчики). Аналіз похибок вимірювань та методів обробки результатів при визначенні теплових потоків. Розрахунок температурних полів та визначення додаткових тепловтрат через теплопровідні включення у вузлах

з'єднання стінових панелей.Аналіз полів швидкостей, температур
виявлення застійних зон у приміщенні для різних поверхів будівлі.
4 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язк
креслень) Презентація із результатами аналітичних обґрунтувань науков
напряму досліджень, результатами експериментальних дослідж
результати розрахунків із застосуванням сучасних інформаційних мето
досліджень

5 Консультанти розділів роботи

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

6 Дата видачі завдання 01.09.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Приміт
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) Литвиненко В.В. (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) _____ (підпис) Банах А.В. (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ (підпис) Гребенюк І.В. (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Литвиненко Вікторія Віталіївна. Аеродинамічний розрахунок конвективних потоків у багатоквартирному житловому будинку.

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, 2025.

У магістерській роботі проведено комплексне дослідження теплових та аеродинамічних процесів у кутовому житловому приміщенні багатоквартирного будинку серії 134. Виконано розрахунок температурних полів вузлів огороджувальних конструкцій, який показав, що попри відповідність загального опору теплопередачі нормативам, температура внутрішньої поверхні в кутових зонах при низьких зовнішніх температурах опускається нижче допустимих санітарних норм.

За допомогою програмного комплексу Star-CCM+ створено модель та проведено CFD-моделювання руху повітря, в результаті якого виявлено специфічні конвективні вихори та застійні зони, що сприяють підвищенню вологості. Обґрунтовано рекомендації щодо усунення застійних зон шляхом корегування розташування опалювальних приладів для покращення мікроклімату та енергоефективності приміщення.

Ключові слова: ОГОРОДЖУВАЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ, ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК, ТЕМПЕРАТУРНІ ПОЛЯ, CFD-МОДЕЛЮВАННЯ, КОНВЕКТИВНІ ПОТОКИ, ЗАСТІЙНІ ЗОНИ, МІКРОКЛІМАТ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

ABSTRACT

Lytvynenko Viktoriia Vitaliivna. Aerodynamic Calculation of Convective Flows in Multi-Storey Apartment Building.

Master’s qualification paper for the degree of Master in specialty 192 – Construction and Civil Engineering, supervisor A.V. Banakh. Yu.M. Potebnia Engineering Educational and Scientific Institute of ZNU, Department of Urban Construction and Architecture, 2025.

The master's thesis presents a complex study of thermal and aerodynamic processes in a corner residential room of a multi-storey building of the 134 series. A calculation of the temperature fields of the building envelope nodes was performed, which demonstrated that, despite the compliance of the general heat transfer resistance with regulatory standards, the inner surface temperature in corner zones drops below permissible sanitary norms at low external temperatures.

Using the Star-CCM+ software package, a model was created and CFD modeling of air movement was conducted. As a result, specific convective vortices and stagnant zones contributing to increased humidity were identified. Recommendations for eliminating stagnant zones by adjusting the placement of heating appliances to improve the microclimate and energy efficiency of the room are substantiated.

Keywords: BUILDING ENVELOPES, THERMAL CALCULATION, TEMPERATURE FIELDS, CFD MODELING, CONVECTIVE FLOWS, STAGNANT ZONES, MICROCLIMATE, ENERGY EFFICIENCY.

ЗМІСТ

	ВСТУП	7
Розділ 1	АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ	11
1.1	Методи визначення теплового опору огороджувальної конструкції	11
1.2	Метод відбору зразків для визначення опору теплопередачі	12
1.3	Експериментальні випробування теплозахисних характеристик	18
1.4	Обробка результатів, отриманих при визначенні теплових потоків і термічних опорів огороджувальних конструкцій	26
1.5	Аналіз результатів, отриманих в натурних умовах	30
1.6	Висновки за розділом 1	39
Розділ 2	ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВУЗЛА ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ КУТОВОЇ СПАЛЬНІ БАГАТОКВАРТИРНОГО БУДИНКУ	41
2.1	Вихідні дані	41
2.2	Методика обробки результатів розрахунку температурних полів та визначення додаткової щільності теплового потоку	44
2.3	Аналіз температурного поля стінових панелей та визначення додаткової щільності теплового потоку	47
2.4	Висновки за розділом 2	72
Розділ 3	ВИЗНАЧЕННЯ КОНВЕКТИВНИХ ПОТОКІВ У ПРИМІЩЕННІ, ЩО ПРИЛЯГАЄ ДО ОСЕЙ В-10	74
3.1	Розрахункові області	74
3.2	Розрахункові сітки	78
3.3	Рівняння математичної моделі. Фізичні властивості повітря та матеріалу стін	83
3.4	Граничні умови	84
3.5	Параметри розв'язувача	88
3.6	Аналіз результатів моделювання	89
ВИСНОВКИ		102
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		103

ВСТУП

Актуальність дослідження. Сьогодні проєкти багатоквартирних багатоповерхових будинків намагаються робити максимально індивідуалізованими, використовуючи сучасні технології, архітектурні прийоми та планувальні рішення. Відмова від масового використання типових серій, що дозволяли тиражувати типові проєкти багатоповерхових будинків, прив'язуючи їх відповідно до характеру будівельного майданчика та особливостей існуючої архітектури, позитивно позначається на зовнішньому вигляді сучасних мікрорайонів та ділянок, що забудовуються. Проте, з урахуванням економічних реалій сьогодення, для забезпечення населення так званим житлом економ-класу, широко застосовують типові проєкти, особливо при забудові житлових комплексів, але при цьому приділяється значно більша увага забезпеченню індивідуального вигляду окремих будівель та гармонійному поєднанню однотипних за конструкцією будівель в оригінальний архітектурний ансамбль. Якщо раніше, за зовнішнім виглядом багатоквартирного будинку можна було передбачити, як розташовуються квартири на майданчику, скільки в кожній з них кімнат і які планувальні рішення використовуються, то сьогодні це зробити досить важко. У зв'язку з цим гостро постає питання про підготовку всебічно обґрунтованого проєкту будинку, з урахуванням сучасних вимог, у т.ч. і вимог щодо енергозбереження. Сучасні ДСТУ, ДБН, Державні санітарні норми та правила, закони, що діють на території України, стосуються всіх етапів проєктування будівлі. Встановлено вимоги до мінімального класу енергетичної ефективності багатоквартирних будинків. Разом з тим, великим каменем спотикання при проєктуванні багатоквартирних будинків, що задовольняють вищевикладеним вимогам, є інженерні комунікаційні системи [3]. Для забезпечення даних вимог проєктувальники користуються різними інноваційними рішеннями, як у галузі проєктування, так і в галузі використання сучасних енергозберігаючих матеріалів. Однак у сучасних

законах відсутні, наприклад, вимоги до застійних зон у житловій зоні багатоквартирного будинку, тому на стадії проєктування не враховуються особливості руху повітряних потоків у квартирі, а проводиться лише теплотехнічний розрахунок конструкцій. Такий підхід до проєкту не дозволяє повною мірою забезпечити комфортне середовище для проживання людини, що знижує тривалість життя, і як наслідок цінність проєкту [4, 5]. У даній роботі проведено теплотехнічний розрахунок вузлів та дослідження конвективних потоків для типового проєкту другої будівельної кутової спальні 4 блок-секції 134 серії біля осі В-10. Ця задача вирішена в ході чисельного моделювання руху внутрішнього та зовнішнього повітря, а також теплообмінних процесів на основі методу скінченних об'ємів з використанням програмного комплексу Simcenter Simcenter STAR-CCM+ 2022.1, а також у процесі теплотехнічного розрахунку в програмному продукті ELCUT 6.6.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є визначення параметрів мікроклімату та енергоефективності кутової житлової кімнати шляхом аналізу теплозахисних характеристик огороджувальних конструкцій та комп’ютерного моделювання внутрішніх аеродинамічних процесів.

Завдання дослідження :

1. Розглянути та проаналізувати існуючі методи визначення теплового опору та теплозахисних характеристик огороджувальних конструкцій (лабораторні та натурні випробування);
2. Виконати теплотехнічний розрахунок вузла огороджувальної конструкції для визначення температурних полів, додаткових тепловтрат через теплопровідні включення та перевірки відповідності нормативним вимогам ДБН;
3. Проаналізувати об'ємну математичну модель та провести чисельне моделювання конвективних потоків у приміщенні для виявлення застійних зон та оцінки ризику утворення конденсату/плісняви.

Об'єкт дослідження. Об'єктом дослідження є теплові та аеродинамічні процеси, що протікають у кутовому житловому приміщенні

багатоквартирного будинку.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є розподіл температурних полів в огороджувальних конструкціях, параметри конвективних потоків повітря та зони аеродинамічного застою в досліджуваному приміщенні.

Методи дослідження. При вирішенні поставлених завдань використовувалися: аналіз нормативної бази та теоретичних основ теплофізики; метод розрахунку температурних полів для оцінки теплопровідних включень; метод скінченних об'ємів (CFD-моделювання у програмному комплексі STAR-CCM+) для розрахунку полів швидкостей, температур та тиску повітряного середовища.

Наукова новизна одержаних результатів. Наукова новизна полягає у встановленні взаємозв'язку між конструктивними особливостями вузлів з'єднання панелей та формуванням специфічних конвективних вихорів і застійних зон, які не регламентуються чинними нормами, але суттєво впливають на санітарно-гігієнічний стан приміщення.

Практичне значення одержаних результатів. Практична значущість роботи полягає у визначенні критичних ділянок огороджувальних конструкцій, де температура поверхні опускається нижче нормативної, та наданні рекомендацій щодо усунення застійних зон шляхом корегування розташування опалювальних приладів для покращення мікроклімату.

Особистий вклад дослідника. Виконано розрахунок приведеного опору теплопередачі складних вузлів стінових панелей, побудовано 3D-модель кутової спальні та проведено симуляцію руху повітряних мас для різних поверхів будівлі.

Апробація результатів роботи. Результати роботи доповідалися на XVIII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2025» з доповіддю «Метод відбору зразків для визначення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій»[55].

Структура та обсяг магістерської роботи. Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, основних висновків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 107 сторінок, вона містить 54 рисунки, 11 таблиць та список використаних джерел із 55 найменувань.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Методи визначення теплового опору огороджувальної конструкції

Одна з основних функцій зовнішнього огородження будівлі чи споруди (або огородження, що розділяє приміщення з різною температурою внутрішнього повітря) — це його здатність чинити опір тепловому потоку, що проходить крізь нього. Ця здатність кількісно характеризується опором теплопередачі R_0, м²·°С/Вт.

Метод визначення опору теплопередачі (або коефіцієнта теплопередачі) огороджувальної конструкції полягає в тому, що на поверхнях і в прилеглих повітряних середовищах випробуваного огородження, яке знаходиться в експлуатаційних умовах (в опалюваній будівлі у холодну пору року) або в кліматичній камері, де температурно-вологісні умови підтримуються за допомогою спеціального обладнання, встановлюють датчики температур (наприклад, термопари). Вони фіксують значення цих теплових характеристик протягом певного часу, бажано за стаціонарних умов. Опір теплопередачі огородження визначається як відношення різниці усереднених за період випробувань температур внутрішнього та зовнішнього повітря до усередненої щільності теплового потоку, що пройшов через огородження.

Наведений опір теплопередачі R_0 визначають для огороджувальних конструкцій, що мають неоднорідні ділянки (теплопровідні включення, укоси прорізів, стики, примикання внутрішніх огороджень і зовнішніх огороджень, розташованих під кутом до випробуваної ділянки), а також відповідні їм нерівномірності розподілу температур і теплових потоків по поверхні.

Таким чином, метод визначення опору теплопередачі та інших подібних характеристик ґрунтується на створенні в огороджувальній конструкції умов стаціонарного теплообміну та вимірюванні температур внутрішнього та

зовнішнього повітря, температур поверхонь огороджувальної конструкції, а також щільності теплового потоку, що проходить через неї. За цими даними обчислюють значення відповідних величин за формулами (1.4)–(1.8).

Теплозахисні характеристики огороджувальної конструкції визначають під час випробувань у кліматичних камерах, де по обидва боки випробуваного фрагмента створюють температурно-вологісний режим, близький до розрахункових зимових умов експлуатації, або в натурних умовах експлуатації будівель і споруд у зимовий період.

1.2. Метод відбору зразків для визначення опору теплопередачі

Опір теплопередачі в лабораторних умовах визначають на зразках, якими є цілі елементи огороджувальних конструкцій заводського виготовлення або їхні фрагменти.

Довжина та ширина випробуваного фрагмента огороджувальної конструкції мають щонайменше в чотири рази перевищувати його товщину і становити не менше 1500 мм і 1000 мм відповідно.

Порядок відбору зразків для випробувань та їхня кількість встановлюються в стандартах або технічних умовах для конкретних огороджувальних конструкцій. Якщо в цих документах немає вказівок щодо кількості, для випробувань відбирають не менше двох однотипних зразків.

Під час випробувань у кліматичних камерах стики, примикання та інші види з'єднання елементів огороджувальних конструкцій або їхніх фрагментів між собою повинні бути виконані відповідно до проєктного рішення.

Опір теплопередачі в натурних умовах визначають на зразках, якими є огороджувальні конструкції будівель і споруд, що експлуатуються або повністю підготовлені до здачі в експлуатацію, або спеціально збудованих павільйонів.

При натурних випробуваннях зовнішніх стін обирають стіни в кутовій кімнаті на першому поверсі, орієнтовані на північ, північний схід, північний

захід, а також, відповідно до поставлених завдань, на інші сторони горизонту, які є найнесприятливішими для даної місцевості (переважні вітри, косі дощі тощо), і на іншому поверсі.

Для випробувань вибирають не менше двох однотипних огороджувальних конструкцій, з внутрішньої сторони яких у приміщеннях підтримують однакові температурно-вологісні умови.

Для визначення теплозахисних характеристик огороджувальних конструкцій у лабораторних умовах застосовують теплоізольовану кліматичну камеру, що складається з теплого та холодного відсіків, розділених випробуваною конструкцією.

Для комплектації кліматичної камери використовують таку апаратуру та обладнання:

- холодильне обладнання [6, 7] або компресорно-конденсаторні агрегати холодильних машин [10], що встановлюються поза камерою;
- нагрівальні електроприлади [11], електротепловентилятори [12] та електрозволожувачі повітря для нагріву та зволоження повітря в теплому відсіку камери;
- автоматичні прилади стежного врівноваження [13] або сигналізатори температури [14] для автоматичної підтримки заданої температури та вологості повітря у відсіках камери.

Допускається використовувати кліматичну камеру, що складається з холодного відсіку, в отвір якого монтується випробуваний фрагмент, і приставного теплового відсіку, а також інше обладнання, за умови забезпечення ним стаціонарного режиму в холодному та теплому відсіках камери, що відповідає розрахунковим зимовим умовам експлуатації огороджувальної конструкції.

Для визначення термічних характеристик огородження в натурних умовах експлуатації будівель використовують той температурний перепад, який встановився на огороджувальній конструкції внаслідок різниці температур зовнішнього та внутрішнього повітря. Для підтримки постійної

температури повітря всередині приміщення використовують різне обладнання та засоби.

Температуру повітря контролюють за допомогою скляних термометрів розширення [15] (нижня межа мінус 70 °С). Для безперервної реєстрації характеру зміни температури повітря всередині приміщення використовують термографи [16].

Швидкість вітру в натурних умовах визначають ручним анемометром. Для вимірювання атмосферного тиску застосовують барометри або барографи [19]. Для вимірювання відносної вологості повітря використовують аспіраційні психрометри.

Для вимірювання щільності теплових потоків, що проходять через огороджувальну конструкцію, використовують перетворювач теплового потоку, званий тепломіром. Він являє собою тонку термостійку пластину, в тілі якої розміщені послідовно з'єднані термоелектричні датчики (термопари), спаї кожного з яких розташовані паралельно тепловому потоку, що проходить через пластину, наклеєну на поверхню огороджувальної конструкції (див. рисунок 1.1).

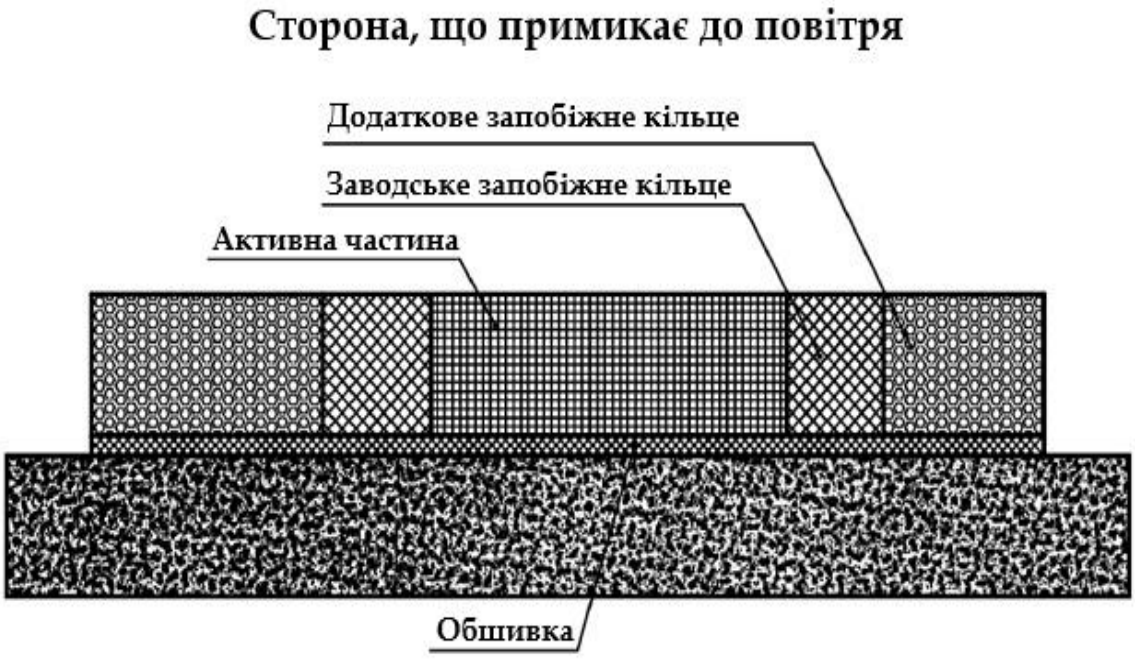


Рисунок 1.1 - Розріз стаціонарного тепломіра, встановленого на випробувану конструкцию

Щільність теплового потоку визначається за шкалою спеціалізованого приладу, до складу якого входить перетворювач теплового потоку, або розраховується за результатами вимірювання ЕРС на попередньо відградуйованих перетворювачах теплового потоку з термічним опором (до 0,025–0,06 м²·°С/Вт), що мінімізує спотворення теплового потоку, спричинені тепломіром. До тепломіра висуваються такі вимоги:

- матеріал пластини повинен зберігати свої фізико-механічні властивості при температурі навколишнього повітря від мінус 30 °С до плюс 50 °С;
- матеріал тепломіра не повинен змочуватися та зволожуватися водою у рідкій та пароподібній фазах;
- тепломір повинен мати досить високу чутливість термоелектричного сигналу, що забезпечує вимірювання найнижчих значень теплового потоку, при цьому сигнал повинен бути монотонною функцією вимірюваної величини теплового потоку;
- під час тарування тепломіра необхідно враховувати залежність сигналу від теплопровідності матеріалу, на якому встановлений тепломір, температури тепломіра та таких фізичних величин, як напруга, електромагнітне випромінювання тощо;
- відношення діаметра тепломіра до його товщини має бути не менше 10;
- перетворювач теплового потоку повинен мати охоронну зону, розташовану навколо батареї термопар, ширина якої має становити не менше 30 % радіуса або не менше половини лінійного розміру перетворювача;
- для захисту від пошкоджень та підвищення надійності вимірювань тепломір може бути обшитий пластинами з металевого листа або фольги, що вирівнюють температуру, але їх слід розташовувати так, щоб результати вимірювань не залежали від теплофізичних властивостей випробуваних фрагментів.

Приклад пристрою тепломіра представлений на рисунку 1.2.

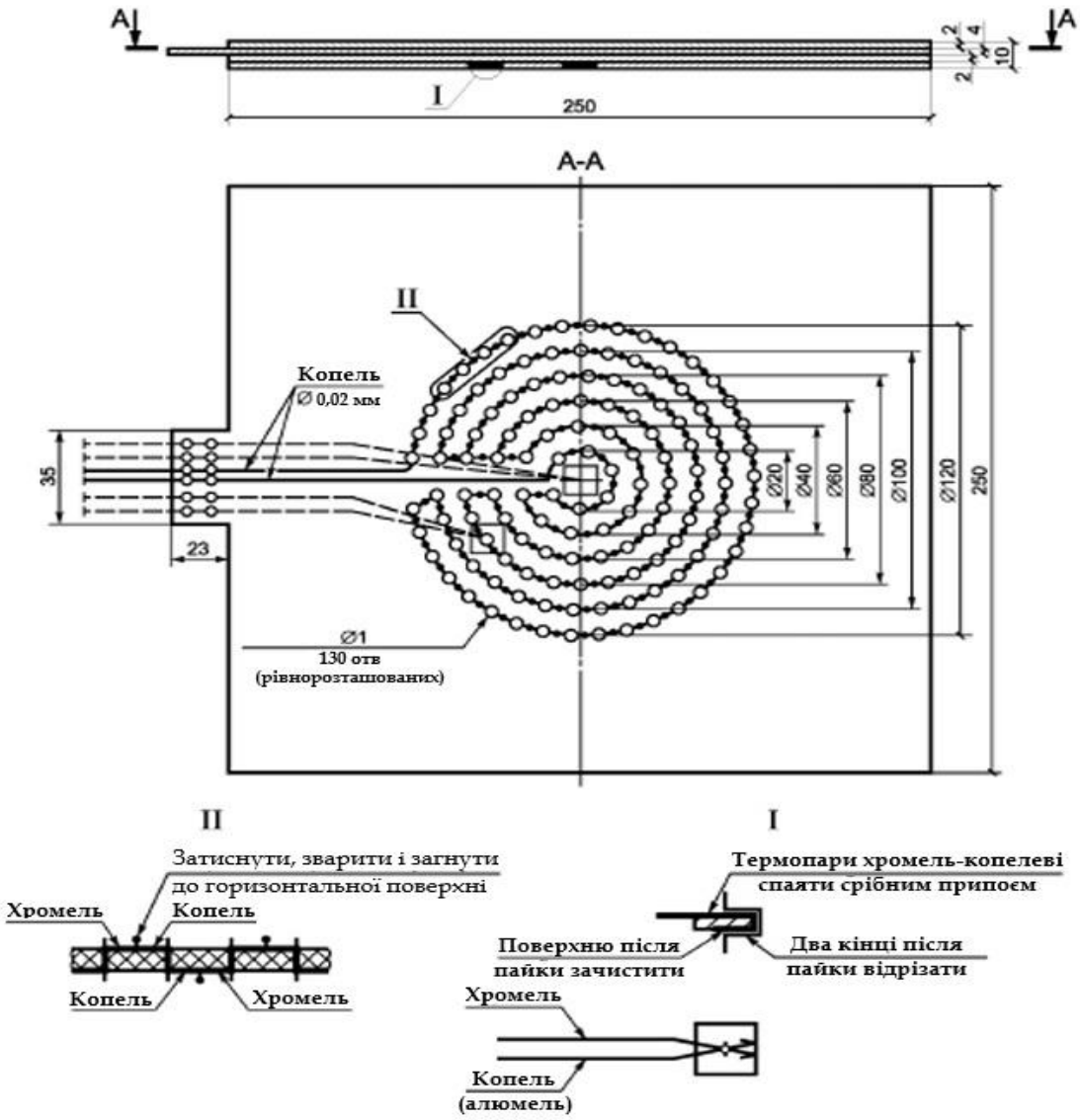


Рисунок 1.2 - Приклад виконання тепломіра та закріплених на ньому термопар

Для вимірювання щільності теплового потоку під час випробувань необхідне калібрування тепломіра — як після його виготовлення, так і при тривалому використанні.

Для дослідження теплотехнічних властивостей огороджувальних конструкцій у лабораторних (кліматичні камери) та натурних умовах рекомендується використовувати вимірювачі теплового потоку та температури [20].

Для вимірювання температур як первинні перетворювачі застосовують

термоелектричні перетворювачі (температурні датчики) з проводами зі сплавів хромель, копель і алюмель (термопари), мідні термоперетворювачі опору (термометри опору).

Температурні датчики — це перетворювачі, які видають електричний сигнал, що кількісно є монотонно змінюваною функцією їхньої температури. Застосовують не менше двох температурних датчиків, по одному з кожного боку випробуваного фрагмента конструкції.

Сучасні температурні датчики мають таку точність, за якої температурні похибки малі порівняно з різницею температур, що вимірюється по перерізу конструкції. Під час калібрування температурних датчиків слід враховувати вплив теплового потоку, що проходить через датчик, на такі фізичні величини, як напруга, електромагнітне випромінювання тощо.

Для вимірювання поверхневих температур застосовують тонкі термопари та плоскі термометри опору. Ці ж датчики можна використовувати для вимірювання температури в зоні контакту тепломіра з поверхнею випробуваної конструкції.

Для вимірювання температури навколишнього середовища застосовують повітряні датчики, які вибирають відповідно до вимірюваної температури. Ці датчики, що використовуються для визначення опору теплопередачі або коефіцієнта теплопередачі, захищають екраном від сонячного та теплового випромінювання і забезпечують їх вентилювання під час випробувань. Для інших цілей датчики можуть вимірювати температуру під впливом сонячного випромінювання, комфортну температуру тощо.

Як вторинні вимірювальні прилади, що працюють з термоелектричними термометрами та перетворювачами теплових потоків, застосовують потенціометри постійного струму, мілівольтметри [25, 26]. Термометри опору підключають до вимірювальних мостів постійного струму [27].

Для оперативного вимірювання температурного поля поверхонь огороджувальної конструкції використовують термощупи, терморадіометри, тепловізори.

1.3 Експериментальні випробування теплозахисних характеристик

Підготовку до експериментального визначення теплозахисних характеристик огороджувальної конструкції розпочинають зі складання програми випробувань та схеми розміщення первинних перетворювачів температур і теплових потоків. У програмі випробувань визначають їх вид (лабораторні, павільйонні, натурні), об'єкти, район, орієнтовні терміни, обсяг випробувань, види огороджувальних конструкцій, контрольовані перерізи та інші дані, необхідні для проведення експериментального визначення.

Схему розміщення первинних перетворювачів температур і теплових потоків складають на основі проєктного рішення конструкції або за попередньо встановленим температурним полем поверхні випробуваної огороджувальної конструкції. Для цього під час випробувань у кліматичних камерах або павільйонах повністю змонтовану огороджувальну конструкцію піддають попередньому тепловому впливу за допомогою обладнання, зазначеного в 1.2. Після цього, не чекаючи встановлення стаціонарного режиму, з метою виявлення теплопровідних включень і термічно однорідних зон, їх конфігурації та розмірів, знімають температурне поле за допомогою тепловізора за методикою згідно з [28], терморадіометра або термощупа. Контури основних температурних зон за результатами термографування наносять на поверхню огороджувальної конструкції.

При натурних випробуваннях одразу приступають до вимірювання температур поверхонь і встановлюють термічно однорідні зони та місця розташування теплопровідних включень.

Тепловізор встановлюють так, щоб у поле зору потрапила по можливості вся конструкція. Отримані на моніторі термограми фіксують за допомогою фотоапарата або відеомагнітофона. Допускається отримання зображення всієї площі випробуваного фрагмента огороджувальної конструкції послідовним термографуванням ділянок.

При вимірюванні температур термощупом внутрішню та зовнішню

поверхні огороджувальної конструкції розбивають на квадрати зі сторонами не більше 500 мм. Зони з теплопровідними включеннями розбивають на дрібніші квадрати відповідно до конструктивних особливостей обраних зон. Температуру поверхні вимірюють у вершинах цих квадратів і безпосередньо навпроти теплопровідних включень. Значення температур наносять на ескіз огороджувальної конструкції. Точки з різними температурами з'єднують ізотермами, визначають конфігурацію і розміри ізотермічних зон. Для виявлення термічно однорідних ділянок допускається обмежуватися вимірюванням температур внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції в разі, якщо виміряти температуру із зовнішнього боку неможливо.

Первинні перетворювачі температур і теплових потоків розташовують відповідно до схеми розміщення термопар по перерізу і на поверхні огороджувальної конструкції та підключення їх до вимірювальної апаратури.

За необхідності схему розміщення первинних датчиків уточнюють за результатами термографування поверхні випробуваної огороджувальної конструкції.

Для визначення теплотехнічних характеристик (R_0, k_{tr}, R_k, k_k) частини огороджувальної конструкції, рівномірної за температурою поверхні, перетворювачі температур і теплових потоків встановлюють не менше ніж у двох характерних перерізах з однаковим проєктним рішенням.

Для визначення R_0 термодатчики розташовують у центрі термічно однорідних зон фрагментів огороджувальної конструкції (панелей, плит, блоків, монолітних і цегляних частин будівель, дверей) і додатково в місцях з теплопровідними включеннями, в кутах, стиках.

Тепломіри не слід встановлювати в безпосередній близькості від зон теплотехнічної неоднорідності, тріщин, щілин, опалювальних і охолоджувальних пристроїв, вентиляційних отворів. Зовнішню поверхню випробуваного фрагмента в натурних умовах слід захищати, наприклад, за допомогою екранів від дощу, снігу, прямого попадання сонячних променів. Під час встановлення тепломірів на певній ділянці випробуваного фрагмента

перевіряють надійність роботи тепломіра (розрахунком за передбачуваною теплопровідністю теплоізоляції фрагмента), щоб упевнитися, що вихідний сигнал тепломіра відповідає середньому значенню щільності теплового потоку, що проходить через фрагмент. Якщо температурний датчик не становить одне ціле з тепломіром, то при дослідженні внутрішньої поверхні його слід встановлювати під тепломіром або в безпосередній близькості від нього.

Для вимірювання термічного опору окремих шарів огороджувальної конструкції чутливі елементи термодатчиків монтують у товщі фрагмента огороджувальної конструкції при його виготовленні з кроком 50–70 мм і для багатошарових конструкцій додатково — на межах шарів.

За наявності в огороджувальних конструкціях вентильованих прошарків чутливі елементи термодатчиків встановлюють із кроком не менше 500 мм на поверхнях у центрі прошарку.

Перетворювачі теплових потоків закріплюють на внутрішній і зовнішній поверхнях випробуваного огородження не менше ніж по два на кожній поверхні із забезпеченням теплового контакту по площі датчика.

Для вимірювання температур внутрішнього повітря чутливі елементи термодатчиків встановлюють по вертикалі в центрі приміщення на відстані 100, 250, 750 і 1500 мм від підлоги і 100 і 250 мм від стелі. Для приміщень висотою понад 5000 мм термодатчики встановлюють по вертикалі додатково з кроком 1000 мм.

Для вимірювання температур внутрішнього і зовнішнього повітря поблизу огороджувальної конструкції термодатчики встановлюють на відстані 100 мм від внутрішньої поверхні кожної характерної зони і на відстані 100 мм від зовнішньої поверхні не менше ніж двох характерних зон.

Чутливі елементи термодатчиків щільно прикріплюють до поверхні випробуваної конструкції.

При використанні термопар допускається закріплювати їх на поверхні огороджувальної конструкції за допомогою клейових сумішей: контактів

термічної пасти, гіпсу або пластиліну, товщина яких повинна бути не більше 2 мм. Ступінь чорноти використовуваних клейових матеріалів має бути близький до ступеня чорноти поверхні огороджувальної конструкції.

При цьому термометричний провід від місця закріплення чутливого елемента відводять по поверхні огороджувальної конструкції в напрямку ізотерм або мінімального градієнта температур на довжину не менше 50 діаметрів проводу. Опір електричної ізоляції між ланцюгом термоперетворювача і зовнішньою металевою арматурою має бути не менше 20 МОм при температурі (25 +10) °С і відносній вологості повітря від 30 % до 80 %.

Вільні кінці термопар поміщають у термостат з температурою 0 °С. Допускається використовувати як термостат посудину Дьюара. При цьому в ній мають бути одночасно пара, вода і лід дистильованої води.

Термопари підключають до вторинного вимірювального приладу через проміжний багатоточковий перемикач.

Для вимірювання щільності теплового потоку, що проходить через огороджувальну конструкцію, на її внутрішній поверхні встановлюють по одному перетворювачу теплового потоку в кожній характерній зоні (див. рисунок 1.3). Перетворювачі теплового потоку на поверхні огороджувальної конструкції закріплюють відповідно до [29].

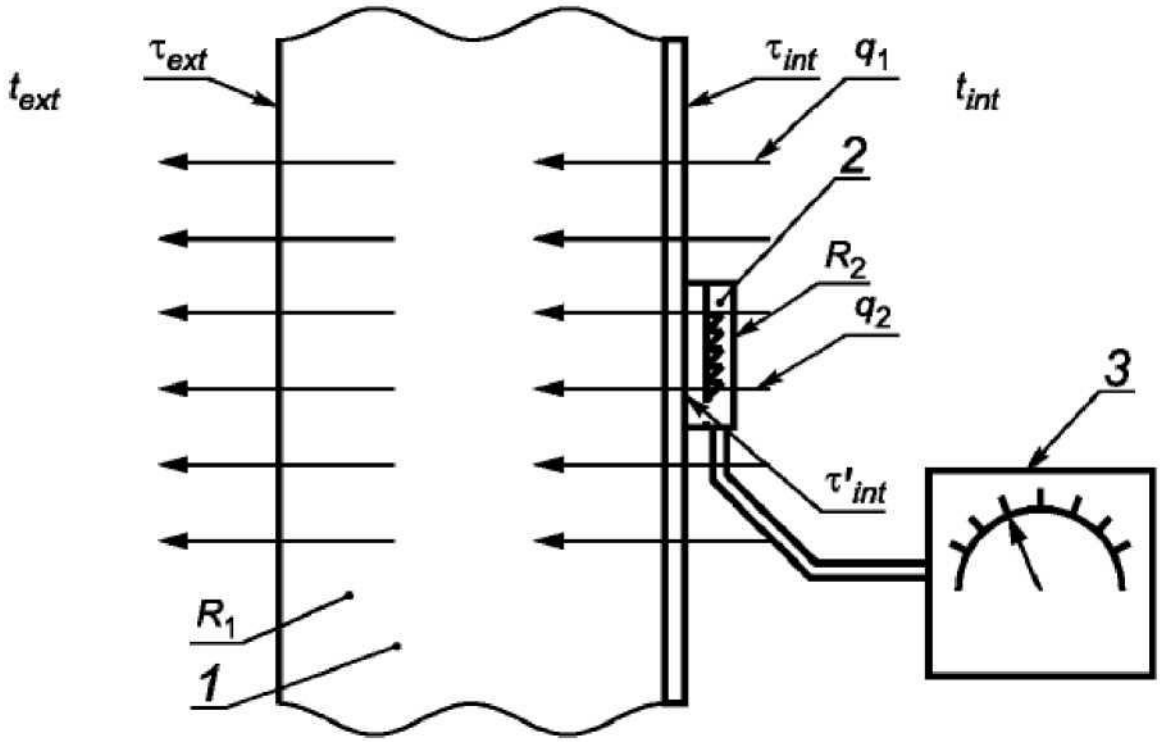


Рисунок 1.3 - Схема вимірювання щільності теплового потоку

1 — огороджувальна конструкція ; 2 — перетворювач теплового потоку; 3 — вимірювач ЕРС (електрорушійної сили); t_{int}, t_{gxt} — температура внутрішнього та зовнішнього повітря; T_{ext},T_{int},$T_{int'}$ — температура зовнішньої, внутрішньої поверхонь огороджувальної конструкції та під перетворювачем відповідно; R_1,R_2 — термічний опір огороджувальної конструкції та перетворювача теплового потоку відповідно; q_1,q_2 — щільність теплового потоку до і після закріплення перетворювача

Для вимірювання різниці тиску повітря кінці шлангів від мікроманометра розташовують по обидва боки випробуваної конструкції на рівні 1000 мм від підлоги.

Гігрографи, гігрометри, аспіраційні психрометри та термографи, призначені для контролю та регулювання температури і відносної вологості повітря, встановлюють у центрі приміщення або відсіку кліматичної камери на висоті 1500 мм від підлоги.

Підготовка до випробувань у кліматичній камері.

При випробуваннях у кліматичній камері після перевірки готовності

обладнання та вимірювальних засобів теплий і холодний відсіки за допомогою герметичних дверей ізолюють від зовнішнього повітря. На регулюючій апаратурі встановлюють задані температуру і вологість повітря в кожному відсіку та вмикають холодильне, нагрівальне та зволожувальне обладнання камери.

При проведенні випробувань у лабораторних умовах температуру та відносну вологість повітря у відсіках кліматичної камери підтримують автоматично з точністю ±1 °С і ±5 %.

Температуру і щільність теплових потоків вимірюють після досягнення в огороджувальній конструкції стаціонарного або близького до нього режиму, настання якого визначають за контрольними вимірами температур на поверхні і всередині конструкції.

Після встановлення в кліматичній камері заданої температури повітря вимірювання проводять:

- для конструкцій з тепловою інерцією не більше 1,5 — не менше ніж через 1,5 доби;
- з тепловою інерцією від 1,5 до 4 — через 4 доби;
- з тепловою інерцією від 4 до 7 — через 7 діб;
- з тепловою інерцією понад 7 — через 7,5 доби.

Значення теплової інерції D огороджувальних конструкцій визначають за формулою:

$$D=R_1S_1+R_2S_2+\ldots+R_nS_n \qquad (1.1)$$

де $R_1,R_2,...,R_n$ — термічні опори окремих шарів огороджувальної конструкції, м²°С/Вт, що визначаються за формулою:

$$R_i=\delta_i/\lambda_i \qquad (1.2)$$

де δ_i — товщина і-го шару, м; λ_i — розрахунковий коефіцієнт

теплопровідності і-го шару, Вт/(м·°С);

$S_1,S_2,...,S_n$ — розрахункові коефіцієнти теплозасвоєння матеріалів окремих шарів огороджувальної конструкції, Вт/(м²·°С), при відсутності даних на матеріал огородження s визначають за формулою:

$$S=0.27\sqrt{\lambda\rho 0(c0+0.0419\omega)} \quad (1.3)$$

де λ — розрахунковий коефіцієнт теплопровідності матеріалу, Вт/(м·°С);

ρ_0 — щільність матеріалу в сухому стані, кг/м³, визначають за [30];

c_0 — питома теплоємність матеріалу в сухому стані, кДж/(кг·°С), визначають за [31];

ω — розрахунковий коефіцієнт масового відношення вологи в матеріалі, %, визначають за [30, 32].

Кількість вимірювань при стаціонарному режимі повинна бути не менше 10 при загальній тривалості вимірювань не менше 1 доби.

Випробування в натурних умовах

Випробування в натурних умовах проводять у періоди, коли різниця середньодобових температур зовнішнього і внутрішнього повітря та відповідний тепловий потік забезпечують отримання результату з похибкою не більше +15 %.

Тривалість вимірювань у натурних умовах визначають за результатами попередньої обробки даних вимірювань, при якій враховують стабільність температури зовнішнього повітря в період випробувань і попередні дні, та теплову інерцію огороджувальної конструкції.

Контрольний запис температури і вологості внутрішнього повітря за допомогою термографа ведуть безперервно.

За відсутності системи автоматизованого збору досвідчених даних температури і щільності теплових потоків вимірюють цілодобово через кожні 3 години (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21 год). Вологість повітря в приміщенні або

відсіку кліматичної камери вимірюють через кожні 6 годин (0, 6, 12, 18 год).

Для встановлення відповідності експериментальних значень опору теплопередачі нормованим вимогам визначають стан огороджувальної конструкції (товщину і вологість матеріалів шарів, повітропроникність стиків) та умови випробувань (різницю тисків внутрішнього і зовнішнього повітря, швидкість вітру).

Вологість матеріалів випробуваних огороджувальних конструкцій визначають після закінчення теплотехнічних випробувань. Проби беруть шлямбуром зі стін на висоті 1,0-1,5 м від рівня підлоги, з покриттів — у термічно однорідних зонах. М'які утеплювачі вирізають ножем або витягують металевим гачком. Проби збирають у бюкси та зважують на аналітичних вагах у день їх взяття. Висушування проб до постійної маси, зважування їх і розрахунок вологості матеріалів проводять відповідно до [32].

Для бетонних огороджувальних конструкцій ці вимірювання проводять відповідно до [33].

Повітропроникність огороджувальної конструкції в лабораторних і натурних умовах визначають до початку або після завершення теплотехнічних випробувань.

Різницю тисків внутрішнього і зовнішнього повітря вимірюють під час випробувань у лабораторних умовах один раз на добу, а в натурних умовах — через три години, і результати заносять в окремий журнал.

Швидкість і напрямок вітру вимірюють на території випробуваної будівлі чотири рази на добу (0, 6, 12, 18 год) на відстані від півтора до двох висот будівлі і на відстані однієї висоти для будівель у дев'ять і більше поверхів. Допускається приймати швидкість і напрямок вітру за даними найближчої метеостанції.

При наявності системи автоматизованого збору та комп'ютерної обробки дослідних даних електричні дані тепломіра і температурних датчиків слід реєструвати безперервно або через певні інтервали протягом декількох повних днів. Максимальний період часу між двома записами і мінімальна

тривалість випробувань залежить від:

- властивостей випробуваного фрагмента (важкий, легкий, всередині або зовні теплоізоляції);
- температури приміщення і зовнішньої температури (середньої і відхилень до і під час вимірювання);
- застосування методу аналізу.

Інтервали записів залежать від застосовуваного методу. Типові інтервали становлять зазвичай від 0,5 до 1 години для методу усереднення і можуть бути меншими для динамічного методу.

1.4 Обробка результатів, отриманих при визначенні теплових потоків і термічних опорів огороджувальних конструкцій

Опір теплопередачі R_0 для термічно однорідної зони огороджувальної конструкції обчислюють за формулою:

$$R_0 = Rs_i + R_k + R_{se} = (t_{int} - \tau_{int})/q_f + (\tau_{int} - \tau_{ext})/q_f + (\tau_{ext} - t_{ext})/q_f = (t_{int} - t_{ext})/q_f \quad (1.4)$$

де:

R_{si}, Rs_e — опори теплопередачі відповідно внутрішньої та зовнішньої поверхонь огороджувальної конструкції, м²·°С/Вт;

R_k — термічний опір однорідної зони огороджувальної конструкції, м²·°С/Вт;

t_{int} і t_{ext} — середні за розрахунковий період вимірювань значення температур відповідно внутрішнього і зовнішнього повітря, °С;

τ_{int} і τ_{ext} — середні за розрахунковий період вимірювань значення температур відповідно внутрішньої та зовнішньої поверхонь огороджувальної конструкції, °С;

q_f — середня за розрахунковий період вимірювання фактична щільність теплового потоку, Вт/м², що визначається за формулами (1.8) або (1.9).

Наведений опір теплопередачі R_0 огороджувальної конструкції, що має нерівномірність температур поверхонь, обчислюють за формулою:

$$R_0^r = A / \sum A_i / R_{0i} \quad (1.5)$$

де: A — площа випробуваної огороджувальної конструкції, м²;

A_i — площа характерної ізотермічної зони, що визначається планіметруванням, м²;

R_{0i} — опір теплопередачі характерної зони, м²·°С/Вт.

Коефіцієнт теплопередачі k_{tr} термічно однорідної зони огороджувальної конструкції обчислюють за формулою:

$$k_{tr} = q_f / (t_{int} - t_{ext}) \quad (1.6)$$

Термічний опір R_k і коефіцієнт теплопропускання k_k термічно однорідної огороджувальної конструкції обчислюють за формулами:

$$R_k = (\tau_{int} - \tau_{ext}) / q_f \quad (1.7)$$

$$k_k = q_f / (\tau_{int} - \tau_{ext}) \quad (1.8)$$

1.4.1 Аналіз результатів за відсутності системи автоматизованого збору даних

Середню за період вимірювань фактичну щільність теплового потоку q_f визначають за формулами:

$$q_f = [q(t_{int}-t_{ext})] / [(t_{int}-te_{xt})-q(R_t+R_{a.t.})] = [q(\tau_{int}-\tau_{ext})] / [(\tau_{t,i}-\tau_{ext}) - q(R_t+R_{a.t.})] \quad (1.9)$$

Для огороджувальної конструкції із замкнутим повітряним прошарком,

що прилягає до внутрішнього тонкого шару, на якому встановлено перетворювач теплового потоку:

$$q_f = q\,[1+ (R_{si}+R_t) / (0{,}5R_{a.l} +R_I+R_{a.t})] \quad (1.10)$$

де:

q — середня за розрахунковий період виміряна щільність теплового потоку, Вт/м²;

R_t — термічний опір перетворювача теплового потоку, що визначається за його паспортними даними, м²·°С/Вт;

R_{at} — термічний опір шару, що прикріплює перетворювач теплового потоку, м²·°С/Вт, що визначається розрахунком;

R_{si} — опір теплообміну внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції, м²·°С/Вт, що визначається розрахунковим шляхом за середніми значеннями t_{int}, τ_{int} і q. Допускається в першому наближенні приймати його рівним нормованому значенню 0,115 м²·°С/Вт;

R_I — термічний опір шару огороджувальної конструкції між внутрішньою поверхнею і повітряним прошарком, м²·°С/Вт, що визначається розрахунком;

$\tau_{t,i}$ — температура поверхні перетворювача теплового потоку, звернена всередину приміщення, °С, виміряна під час випробувань;

$R_{a,l}$ — термічний опір замкнутого повітряного прошарку, м²·°С/Вт [35].

Для вентильованого прошарку $R_{a,l}$ визначають за формулою:

$$R_{a,l} = 0{,}86 / (\alpha_k + \alpha_e) \quad (1.11)$$

де α_k =5,5+5,7v;

- v — швидкість руху повітря в прошарку, що визначається за досвідченими даними або розрахунком, м/с;

- α_e — коефіцієнт променистого теплообміну, що визначається розрахунковим шляхом, Вт/(м²·ºС).

Термічний опір окремих шарів огороджувальної конструкції визначають за формулою:

$$R_i = \Delta t / q_f , \quad (1.12)$$

де Δt — різниця температур на межах шару, °С.

З метою зіставлення фактичних значень теплопровідності матеріалів, використаних у конструкції, з проєктними значеннями теплопровідність матеріалу шару λ_i, визначають за формулою:

$$\lambda_i = \delta_i / R_i, \quad (1.13)$$

де δ_i — товщина шару, м.

При обробці результатів випробувань у лабораторних умовах у кліматичних камерах з автоматичним регулюванням температурно-вологісних режимів для розрахунку опору теплопередачі для кожного перерізу беруть значення температур і щільності теплових потоків, середні за весь період випробувань.

При обробці результатів натурних випробувань будують графіки зміни в часі характерних температур і щільності теплових потоків, за якими вибирають періоди з найбільш сталим режимом з відхиленням середньодобової температури зовнішнього повітря від середнього значення за цей період в межах ±1,5°С і обчислюють середні значення опору теплопередачі для кожного періоду.

Загальна тривалість цих розрахункових періодів повинна становити не менше 1 доби для огороджувальних конструкцій з тепловою інерцією не більше 1,5 і не менше 3 діб — для конструкцій з більшою тепловою інерцією.

Довірчий інтервал визначення значень опору теплопередачі $R_{0,i}$

обчислюють за формулою:

$$\overline{R_{0,\iota}} = \overline{R_0} + \Delta R_0 \quad (1.14)$$

де: $\overline{R_0}$ — середній опір теплопередачі, визначений при випробуваннях огороджувальної конструкції, м²·°С/Вт;

ΔR_0 — сумарна абсолютна похибка результату випробування, м²·°С/Вт.

Відносна похибка визначення опору теплопередачі огороджувальної конструкції даним методом не повинна перевищувати 15 %.

Отримані в результаті випробувань значення опору теплопередачі R_0 і R_0^r повинні бути не менше значень, зазначених у стандартах, ДСТУ на огороджувальні конструкції або проєктних значень.

Коефіцієнт теплотехнічної однорідності огороджувальної конструкції r $= R_0^r / R_0$, що враховує вплив стиків, обрамляючих ребер та інших теплопровідних включень, повинен бути не нижчим за значення, наведені в [35].

Для встановлення відповідності досвідчених значень температур внутрішньої поверхні нормованим значенням, отримані в результаті випробувань, температури внутрішньої поверхні огородження перераховують на розрахункові температури зовнішнього і внутрішнього повітря t_{ext} і t_{int}, що приймаються для конкретного виду будівлі і кліматичного району відповідно до [36] і проєкту.

1.5. Аналіз результатів, отриманих в натурних умовах

Відповідно до вимог [37] можливі два методи аналізу натурних даних:

1. так званий «метод усереднення», який підвищує критерій якості вимірювання і може скоротити тривалість випробувань для фрагментів із середньою та великою тепловою інерцією при різних внутрішніх і зовнішніх температурах;

2. динамічний метод.

1.5.1 Збір даних натурних вимірювань

Електричні дані тепломіра та температурних датчиків слід реєструвати безперервно або через певні інтервали часу протягом декількох повних днів. Максимальний період часу між двома записами і мінімальна тривалість випробувань залежать від:

- природних властивостей елемента (важкий, легкий елемент, всередині або зовні ізоляції);
- температури приміщення і зовнішньої температури (середньої та відхилень до і під час вимірювання);
- застосовуваного методу аналізу.

Мінімальна тривалість випробувань — 72 години (три дні), якщо температура навколишнього середовища, в якій встановлено тепломір, є стабільною. В іншому випадку цей період може бути більше семи днів. Однак дійсну тривалість випробування слід визначати, застосовуючи критерії до значень, отриманих протягом циклу випробування. Ці значення слід визначати, не перериваючи процес збору даних.

Корисно реєструвати дані так, щоб їх можна було використовувати для комп'ютерних аналізів. Рекомендується проводити реєстрацію через певні інтервали часу, що є середніми значеннями декількох вимірювань, проведених у більш короткі проміжки часу.

Інтервали записів залежать від застосовуваного методу аналізу. Типові інтервали становлять зазвичай від півгодини до однієї години для усередненого і можуть бути меншими — для динамічного методу. Інтервал вибіркових вимірювань повинен бути менше половини найменшої постійної часу датчиків.

1.5.2 Метод усереднення

Цей метод передбачає, що характеристики теплопровідності, значення коефіцієнта теплопровідності k_k і коефіцієнта теплопередачі k_{tr} можна отримати діленням середнього значення питомої витрати теплового потоку на середню різницю температур, причому середнє значення отримують за достатньо тривалий період часу. Якщо індекс j є порядковим номером конкретних вимірювань, то значення теплотехнічних характеристик фрагмента отримують з наступних рівнянь:

- опір теплопередачі

$$R_0 = \sum_{j=1}^{n} (t_{intj} - t_{extj}) / \sum_{j=1}^{n} q_j \quad (1.15)$$

- термічний опір

$$R_k = \sum_{j=1}^{n} (t_{intj} - t_{extj}) / \sum_{j=1}^{n} q_j \quad (1.16)$$

- коефіцієнт теплопропускання

$$k_k = \sum_{j=1}^{n} q_j / \sum_{j=1}^{n} (t_{intj} - t_{extj}) \quad (1.17)$$

- коефіцієнт теплопередачі

$$k_{tr} = \sum_{j=1}^{n} q_j / \sum_{j=1}^{n} (t_{intj} - t_{extj}) \quad (1.18)$$

Якщо цей результат підраховують після кожного вимірювання, то отримані результати асимптотично наближаються до реального значення теплотехнічної характеристики. Асимптотичне значення близьке до реального, якщо виконуються такі умови:

а) теплоємність елемента є однаковою в кінці і на початку вимірювання,

ті ж температури і однаковий розподіл вологи;

б) тепломір не піддається прямому сонячному опроміненню. Слід зазначити, що можна отримати спотворений результат, якщо сонце освітлює зовнішню поверхню фрагмента. Для вимірювання значень R_k і k_k емісійна здатність датчика температури поверхні буде в цілому відрізнятися від тієї ж характеристики для захищеної поверхні, даючи спотворене показання. Зовнішня температура навколишнього середовища при вимірюванні значення k_{tr} зазвичай не враховує вплив сонячних променів на зовнішню поверхню фрагмента;

в) теплопровідність фрагмента під час випробування повинна бути постійною.

Якщо ці умови не виконуються, можна отримати невірні результати. Для легких елементів, питома теплоємність яких на одиницю площі менше 20 кДж/(м²·°С), рекомендується проводити цей аналіз тільки з використанням даних, отриманих вночі (через одну годину після заходу сонця до сходу), щоб уникнути впливу сонячних променів.

Випробування можна припинити, якщо результати після нічних періодів трьох послідовних діб не відрізняються більш ніж на +5 %. В іншому випадку випробування слід продовжити.

Для більш важких елементів з тепловою інерцією D>4 аналіз проводять протягом періоду, кратного 24 год. Випробування завершують після виконання наступних умов:

- тривалість випробувань перевищує 72 год;
- значення R_k, отримане в процесі випробування, відрізняється не більше ніж на +5 % від значення, отриманого на 24 год раніше.

1.5.3 Порівняння розрахункових і виміряних значень

Розрахункове значення, засноване на конструкції фрагмента і отримане за [35], можна порівняти з виміряним.

Значні відмінності (більше 20 %) між розрахунковим значенням і виміряним значенням R_0 або k_{tr} можуть бути викликані поєднанням будь-яких наступних факторів:

- значення, прийняті для теплопровідності, не є істинними внаслідок неправильної ідентифікації матеріалів, особливо ізоляційних, через відмінності між дійсними властивостями матеріалу і прийнятими значеннями або впливів вологості;
- прийняті значення опору теплообміну поверхні також не є істинними значеннями. Це джерело похибки зазвичай важливе тільки для погано ізольованих елементів;
- точні товщини шарів, особливо ізоляційних матеріалів, неправильно виміряні;
- вимірювання R_0 або k_{tr} неправильно проведені або проводилися при незадовільних температурних умовах;
- дослідження фрагмента і вимірювання R_0 або k_{tr} проводилися не в одному і тому ж місці в неоднорідній конструкції;
- лінії теплового потоку при вимірюванні не були прямолінійними і перпендикулярними до елемента;
- наявність конвективних потоків повітря в елементі, що впливають на вимірювання R_0 або k_{tr}, але не врахованих при розрахунку;
- наявність фазових змін, таких як замерзання, відтавання або випаровування води або вологи;
- значення температури навколишнього середовища, використані при розрахунку k_t, не є виміряними.

Всі ці джерела похибки слід враховувати при інтерпретації порівняння результатів, представлених розрахунком і вимірюванням.

1.5.4. Корекції похибок експлуатації

Тепломір збільшує термічний опір шару вимірюваного фрагмента. Якби площа цього тонкого шару була нескінченно великою, то корекцією можна було б знехтувати. Якщо ж шар великий, але має кінцеву товщину, корекцію легко встановити, якщо відомий термічний опір тепломіра R_t. Для такої одновимірної корекції розглядають три випадки:

а) температуру внутрішньої поверхні вимірюють під тепломіром. У цьому випадку не потрібна ніяка корекція термічного опору або коефіцієнта теплопропускання;

б) температуру внутрішньої поверхні вимірюють на поверхні елемента поруч з тепломіром. У першому наближенні термічний опір R визначають за формулою

$$R=\delta T / q - R_t \qquad (1.19)$$

де q — виміряна щільність теплового потоку;

δT — виміряна різниця між температурами поверхонь;

в) виміряно значення k_{tr}. Якщо тепломір дуже великий, правильний результат визначають за формулою

$$k_{tr} = q / (\delta T - R_t \cdot q) \qquad (1.20)$$

де δT — різниця між температурами обох навколишніх середовищ.

У більшості випадків тепломір має кінцеву поверхню, і тому ізотерми змінюються в районі його установки (див.рисунок 1.4), що змінює тепловий потік, що проходить через тепломір, і необхідно вводити корекцію на результати вимірювання. Похибку, викликану такою зміною, називають «похибкою експлуатації».

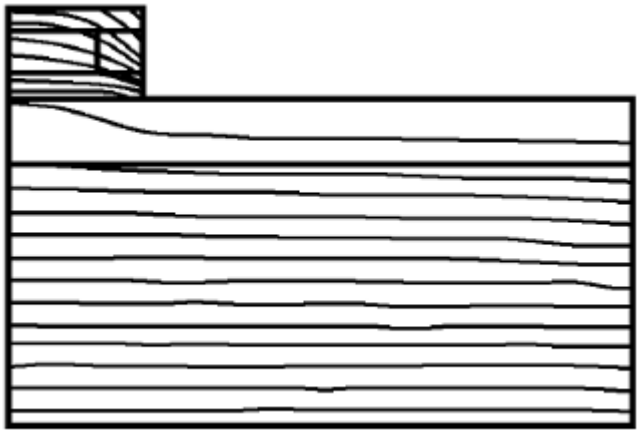


Рисунок 1.4 - Ізотерми (S_0=0,05°C) для встановленого на стіні тепломіра, обшитого та захищеного (циліндричний переріз).

Якщо q — виміряна щільність теплового потоку, а q′ — щільність теплового потоку через фрагмент без тепломіра, то похибку експлуатації e можна визначити як

$$e = (q-q') / q' \quad (1.21)$$

Якщо похибка експлуатації відома, то скориговані R_0' і k_{tr}' дорівнюють

$$R_0' = (1+e)R_0; \quad (1.22)$$

$$k_{tr}' = k_{tr} / 1+e; \quad (1.23)$$

Ця корекція залежить від наступних параметрів:

- опір теплообміну поверхні над тепломіром;
- теплопровідність і товщини шару матеріалу, розташованого під тепломіром (без урахування таких шарів, як фарба або папір);
- розміри, конструкції і теплові властивості тепломіра, запобіжного кільця, облицювальних і закріплювальних матеріалів, таких як клей, термічна контактна паста, липка стрічка і т. п.

Коефіцієнти корекції отримують, вирішуючи теплове рівняння за

допомогою методу кінцевих елементів або методом кінцевих різниць, враховуючи властивості вимірювача теплового потоку, відповідний опір теплообміну поверхні і теплопровідність першого шару. При квадратній формі тепломіра можна застосовувати двовимірну модель з циліндричною симетрією замість тривимірної, таким чином спрощуючи розрахунок без зменшення точності. У цьому випадку площа розрахункового тепломіра дискової форми повинна дорівнювати дійсній площі тепломіра квадратної форми.

Корекція, розрахована таким чином, враховує вплив термічного опору тепломіра; цю корекцію не слід додавати до термічного опору стіни, як зазвичай.

В цілому можна уникнути великих похибок експлуатації, враховуючи вплив збурення і беручи до уваги, що:

- похибка експлуатації головним чином викликана загальним спотворенням теплового поля під тепломіром. Вплив місцевого збурення біля краю тепломіра істотно важливий тільки для таких тепломірів, відношення ширини до товщини яких менше 10. Отже, збурення квадратного і дискового тепломірів є однаковими за умови, що їх площі рівні;
- похибка експлуатації є зростаючою функцією теплопровідності матеріалу першого шару під тепломіром і поверхневого коефіцієнта теплообміну. Малі похибки передбачаються при вимірах на теплоізоляційних матеріалах, розташованих з боку внутрішнього навколишнього середовища, в той час як великі похибки очікуються при вимірах на металевих шарах, розташованих з боку зовнішнього огороджувального середовища;
- похибка експлуатації є спадною функцією термічного опору тепломіра;
- рекомендуються тепломіри з великими відношеннями ширини до товщини, оскільки похибка експлуатації в таких випадках дорівнює одновимірній похибці. Корекцію розраховують за рівнянням (19) або (20). Ця корекція дійсна і на металах;

- щоб уникнути залежності калібрувального коефіцієнта від теплопровідності матеріалу стіни необхідно нанесення тонкого покриття на з'єднання термопари тепломіра. Якщо тепломір облицьований таким чином, його слід калібрувати разом з облицюванням.

Якщо коефіцієнт теплообміну поверхні менше 10 Вт/(м²·°С), то для тепломірів з відношенням діаметр/товщина більше 20, встановлених на звичайних будівельних матеріалах [теплопровідність менше 3 Вт/(м²·°С)], коефіцієнт корекції повинен бути менше 0,1 Вт/(м²·°С).

1.5.5 Точність

Точність вимірювання теплотехнічних характеристик залежить від:

- точності калібрування тепломіра і температурних датчиків. Похибка становить близько 5 %, якщо ці прилади добре відкалібровані;
- точності системи реєстрації даних;
- випадкових відхилень, викликаних невеликими відмінностями в тепловому контакті між датчиками і поверхнею. Це відхилення становить близько 5 % середнього значення, якщо датчики встановлені правильно. Цю частину загальної похибки можна зменшити, використовуючи кілька тепломірів;
- похибок експлуатації тепломіра, зумовлених змінами ізотерм, викликаних присутністю тепломіра. Якщо похибка експлуатації оцінена відповідним методом, наприклад, аналізом за кінцевими елементами, і проведена корекція даних, то залишкова неточність складе приблизно від 2 % до 3 %;
- похибок, викликаних коливаннями температур і теплового потоку в часі. Такі похибки можуть бути дуже великі, але, якщо критерії, описані вище, задоволені, то їх можна зменшити до менш ніж ±10 % виміряного значення. Цю частину похибки також можна зменшити, реєструючи дані протягом тривалого періоду часу, зводячи зміну кімнатної температури до

мінімуму і застосовуючи метод динамічної інтерпретації;

- змін значення k_{tr}, температурних коливань у просторі та розмірностей між температурою повітря і радіаційною температурою.

Якщо описані вище умови виконані, то сумарну неточність можна визначити, як таку, що знаходиться між квадратичною і арифметичною сумою, тобто між 14% і 28%.

Якщо описані вище умови не виконані, випробування залишається дійсним в межах вимог цього стандарту за умови, що встановлена велика неточність, розрахована відповідно до обставин випробування.

Імовірність отримання великої похибки зростає, якщо:

- температура (зокрема, температура приміщення) показує великі коливання (до або під час випробування) порівняно з різницею температур по обидві сторони огородження;
- фрагмент огородження важкий, а тривалість випробування занадто коротка;
- фрагмент огородження піддається впливу сонячної радіації або іншим сильним тепловим впливам;
- відсутня оцінка похибки експлуатації тепломіра (яка за деяких обставин може досягати 30 %).

Точність вимірювання значення k_{tr} залежить від визначення температур навколишнього середовища, прийнятих для визначення значень k_{tr} та їх вимірювання.

1.6 Висновки за розділом 1

Сучасні ДБН, ДСТУ, різні Постанови, Закони та Укази, що діють на території України, стосуються всіх етапів проектування будівлі.

Виявлено встановлені вимоги до мінімального класу енергетичної ефективності багатоквартирних будинків. Водночас великим каменем спотикання при проєктуванні багатоквартирних будинків, що відповідають

встановленим вимогам, є інженерні комунікаційні системи.

Визначено вимоги до термічного опору огороджувальних конструкцій та їхніх температурних режимів роботи.

Для забезпечення цих вимог проєктувальники користуються різними інноваційними рішеннями, як у сфері проєктування, так і у сфері використання сучасних енергозберігаючих матеріалів. Однак у сучасних законах відсутні вимоги до застійних зон у житловій зоні багатоквартирного будинку, тому на стадії проєктування не враховуються особливості руху повітряних потоків у квартирі, а проводиться лише теплотехнічний розрахунок конструкцій. Такий підхід до проєкту не дозволяє повною мірою забезпечити комфортне середовище для проживання людини, що знижує тривалість життя, і, як наслідок, цінність проєкту.

РОЗДІЛ 2
ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ВУЗЛА ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ КУТОВОЇ СПАЛЬНІ БАГАТОКВАРТИРНОГО БУДИНКУ

2.1 Вихідні дані

Для цієї роботи було обрано проект будинку 41/01 у м. Київ. План першого поверху 4 блок-секції 134 серії представлений рисунку 2.1.

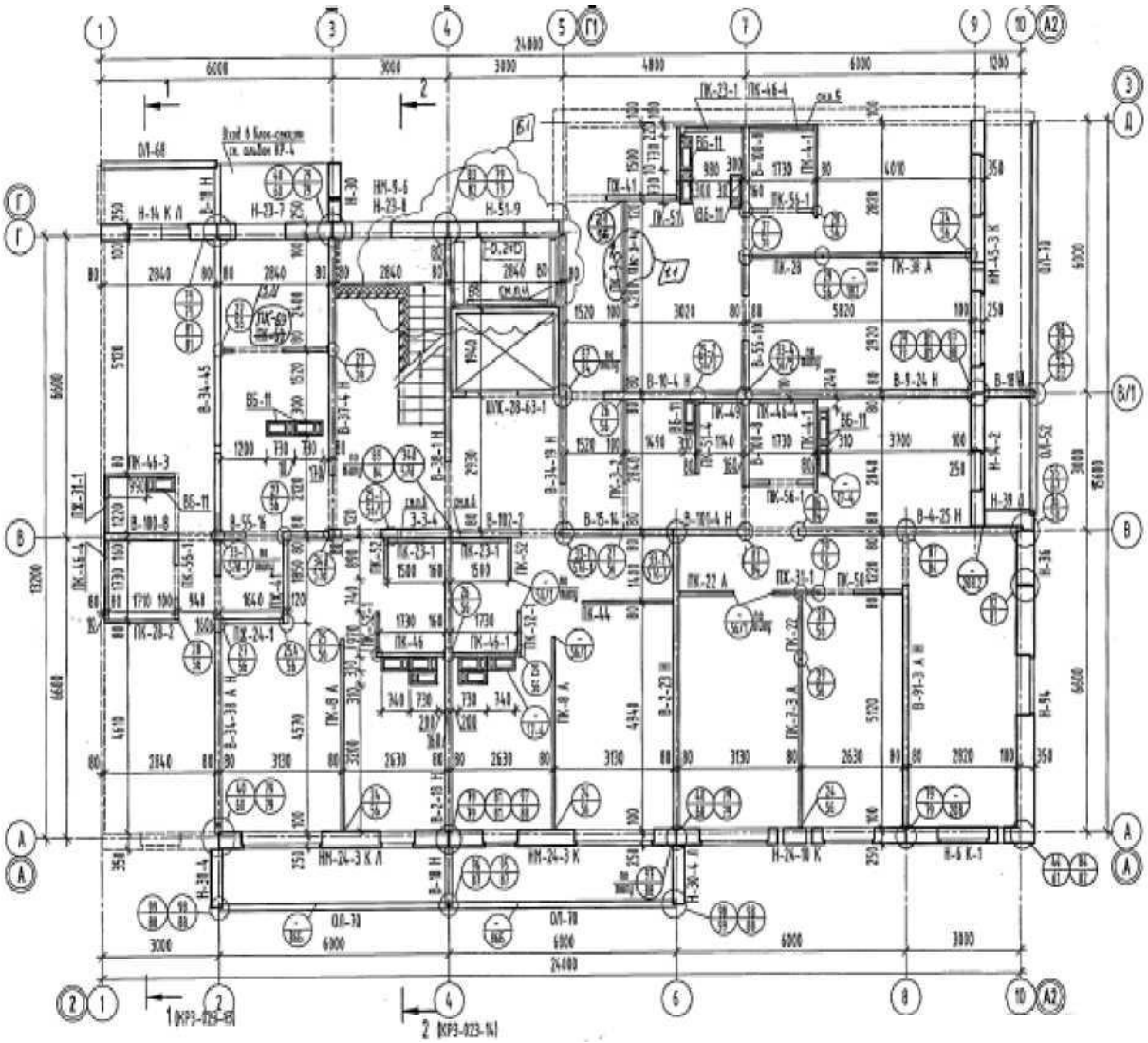


Рисунок 2.1 - Схема розташування стін першого поверху 4 блок-секції 134 серії

План розташування стін інших поверхів відображено на рисунку 2.2.

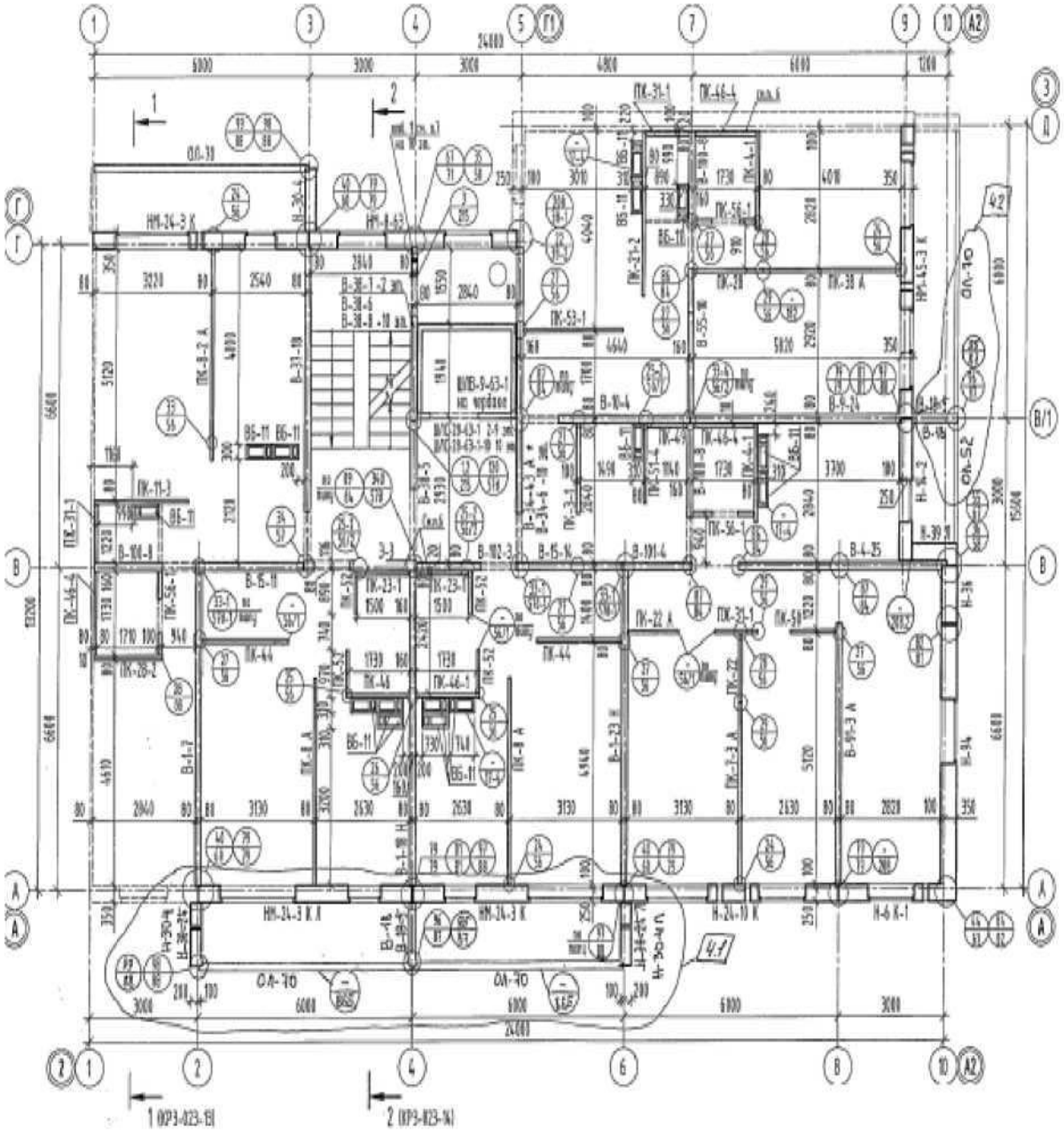


Рисунок 2.2 - Схема розташування стін 2-10 поверху 4 блок-секції 134 серії.

Фасади будівлі представлені на рисунках 2.3 – 2.4.



Рисунок 2.3 – Фасад будинку 134 серії з боку проблемної ділянки.



Рисунок 2.4 - Фасад будинку 134 серії, що включає 4 блок-секцію.

2.2 Методика обробки результатів розрахунку температурних полів та визначення додаткової щільності теплового потоку

Після виконання розрахунку температурних полів переходимо до обробки результатів розрахунку та визначення додаткової щільності теплового потоку в такій послідовності:

1. Визначимо умовний опір теплопередачі огороджувальної конструкції за формулою:

$$R_o = \frac{1}{\alpha_{вн}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_в}. \quad (2.1)$$

2. Визначимо температуру на внутрішній поверхні по гладі стіни, τвп, за формулою:

$$\tau_{вп} = t_В - (t_В - t_З)\frac{R_В}{R_0^{УМ}}, \quad (2.2)$$

де $R_В$ - опір тепловіддачі на внутрішній поверхні, [м²·°С/Вт], розрахований за формулою:

$$R_в = \frac{1}{\alpha_{вн}}. \quad (2.3)$$

Лінії ізоповерхні на рисунку показані з однаковою температурою, що проходять із кроком у 2°С від –27°С до 18°С.

3. За результатами розрахунку температурних полів на внутрішній поверхні стіни в ділянці з'єднання вузла 82 (ділянка а) спостерігається зміна (збільшення) температури порівняно з температурою, розрахованою по гладі стіни, $\tau_{вп}$, за формулою (2.2).

Область, у межах якої відбувається спотворення температурного поля на

внутрішній поверхні огородження, називається зоною впливу даного теплопровідного включення (розміри цієї області залежать від конструктивного рішення самого вузла, умовного опору теплопередачі огороджувальної конструкції, а також від ін. факторів).

4.Порівнюючи температуру на внутрішній поверхні стіни в області теплопровідного включення, визначену в результаті розрахунку температурних полів, $\tau_{вп}^{mn}$ із $\tau_{вп}$, знайденою за формулою (2.2), знаходимо ширину зони впливу (ділянка а).

Зміна температури на внутрішній поверхні призводить до певної зміни теплового потоку, що проходить через цю ділянку стіни, порівняно з тепловим потоком, що проходить через умовну конструкцію (по гладі стіни).

5.Величина потужності потоку теплоти через ділянку а, $Q_{стіни} = Q_а$, що припадає на 1 м периметра теплопровідного включення, визначається за даними розрахункової програми або за формулою, [Вт/м]:

$$Q_а = \alpha_{вн} \cdot (t_{вн} - \tau_{вп}^{mn}) \cdot а, \qquad (2.4)$$

де $\tau_{вп}^{mn}$ - середня температура внутрішньої поверхні стіни в зоні впливу теплопровідного включення, визначена за результатами розрахунку температурних полів, °С;

а - ширина зони впливу теплопровідного включення на температуру внутрішньої поверхні стіни, м.

6.Визначається потужність теплового потоку, $Q_{ум}$, що проходить через умовну конструкцію (по гладі стіни) тих самих розмірів, за формулою, [Вт/м]:

$$Q_{ум} = \frac{(t_{вн} - t_з)}{R_0^{ум}} \cdot а, \qquad (2.5)$$

7.Зміна потужності потоку теплоти, що проходить через розглянуту ділянку стіни (ділянка а), $\Delta Q_а$, [Вт/м]:

$$\Delta Q_a = Q_a - Q_{ум.} \quad (2.6)$$

8.Через внутрішнє теплопровідне включення (ділянка b) виникає додаткова потужність потоку теплоти (додаткові тепловтрати), Q_b, [Вт/м], яка визначається за результатами розрахунку температурних полів або за формулою:

$$Q_b = \alpha_{вн} \cdot (t_{вн} - \tau_{вп}^{включ}) \cdot b, \quad (2.7)$$

де $\tau_{вп}^{включ}$ - середня температура внутрішньої поверхні внутрішнього теплопровідного включення, визначена за результатами розрахунку температурних полів, °С;

b - ширина відкосу, м.

9.Додаткова потужність теплового потоку через вузол, що припадає на 1 м периметра теплопровідного включення, $Q_{дод}$, [Вт/м]:

$$Q_{дод} = \Delta Q_a + Q_b. \quad (2.8)$$

10.Обчислимо загальну кількість погонних метрів розрахункових ділянок, L, що припадає на розрахункову площу, [м/м²]:

$$L = l/F_p, \quad (2.9)$$

де l - загальна довжина розрахункових ділянок, м;

$F_р$ – розрахункова площа, м².

У цьому випадку загальною довжиною розрахункових ділянок буде сума периметрів усіх елементів конструкції:

$$L = P_{елем} = \sum P_i, \quad (2.10)$$

де P_i - периметр і-го виду вікна, м.

В якості розрахункової площі береться площа всієї несвітлопрозорої частини фасаду будівлі, $F_р$:

$$F_р = F_{фасаду} = \sum F_i \quad (2.11)$$

де $F_{фасаду}$ - загальна площа фасаду, м²;

F_i - площа окремих не стінових елементів фасаду (вікна, двері тощо), м².

11.Визначається додаткова щільність теплового потоку, зумовлена даним теплопровідним включенням, $q_{дод}$, [Вт/м²]:

$$q_{дод} = Q_{дод} \cdot L. \quad (2.12)$$

2.3 Аналіз температурного поля стінових панелей та визначення додаткової щільності теплового потоку

Для виконання розрахунку температурних полів у розрахунковій програмі, як і для розрахунку полів для панелей Н-14-2Г, В-4-11Н, Н-39Л, виконуємо такі дії:

- створюємо геометрію вузлів стінових панелей Н-14-2Г, В-4-11Н, Н-39Л;
- створюємо та призначаємо матеріали для блоків;
- задаємо також граничні умови. В даному випадку це будуть граничні умови другого роду:

а) температури навколишнього повітря: $t_в$=21 °С та $t_{з1}$=-32°С і $t_{з2}$=-25°С.

б) коефіцієнти тепловіддачі відповідно для внутрішньої поверхні:

- для стіни $\alpha_в$=8,7 Вт/(м²°С).
- для зовнішньої поверхні: $\alpha_з$ =23 Вт/(м²°С).

Далі виконується розрахунок температурних полів.

Виконуємо розрахунки температурних полів і переходимо до обробки результатів розрахунку та визначення додаткової щільності теплового потоку

в послідовності за пунктами 1-11:

Розглянемо послідовність розрахунку додаткової щільності теплового потоку, зумовленої теплопровідним включенням. Розрахунок температурних полів будемо також проводити з використанням пакета прикладних програм.

Розглянемо схематичне зображення горизонтального розрізу з'єднувального вузла 36 (55) стінових панелей Н-14-2Г, В-4-11Н, Н-39Г та Н-36Л з неоднорідними ділянками конструкції (рисунок 2.5):

- торці залізобетонних панелей 1, утеплених одним зовнішнім шаром пінополістирольної плити 2 із заливкою дрібнозернистим бетоном 3 з термовкладишем 4 по западаючій частині;

- торці залізобетонних панелей 1, утеплених двома зовнішніми шарами пінополістирольної плити 2 із заливкою дрібнозернистим бетоном 3 з термовкладишем 4 по западаючій частині;

- залізобетонний дискретний зв'язок стінової панелі;

- залізобетонна стінова панель, утеплена одним і двома зовнішніми шарами утеплювача 2 з пінополістирольної плити 5;

- міжпанельний шов, що складається з ущільнювальної прокладки 6, монтажної піни 7 та дрібнозернистого бетону з термовкладишем;

- залізобетонна стінова панель, утеплена двома шарами утеплювача з пінополістирольних плит.

- Таким чином, у фрагменті огороджувальної конструкції розглядаємо плоскі елементи.

Таким чином, у фрагменті огороджувальної конструкції розглядаємо плоскі елементи.

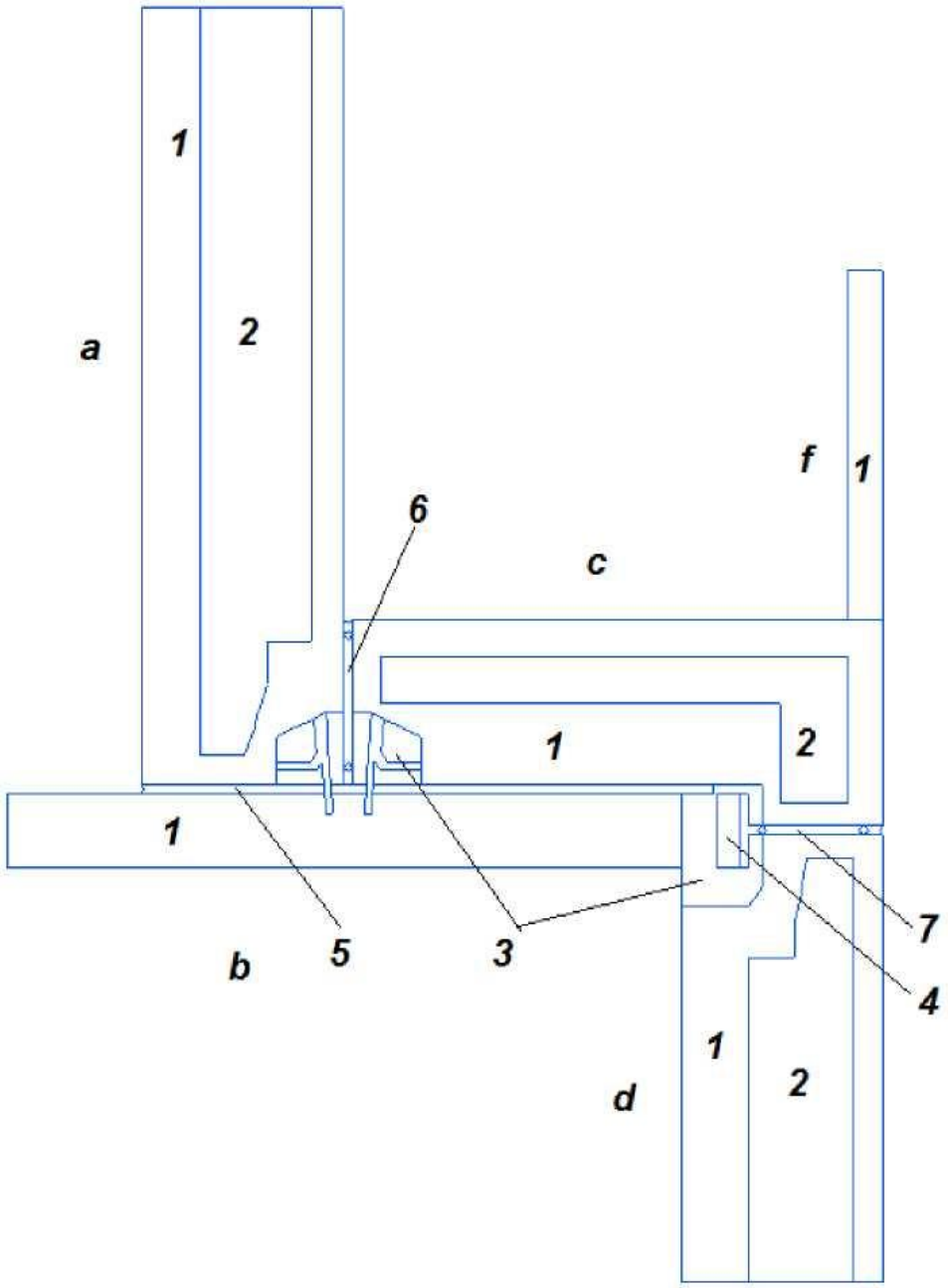


Рисунок 2.5 - Схематичне зображення виду в плані горизонтального розрізу сполучного вузла та стінових панелей

Отже, загальна картина температурного поля всієї конструкції за результатами розрахунку представлена на рисунку 2.6.

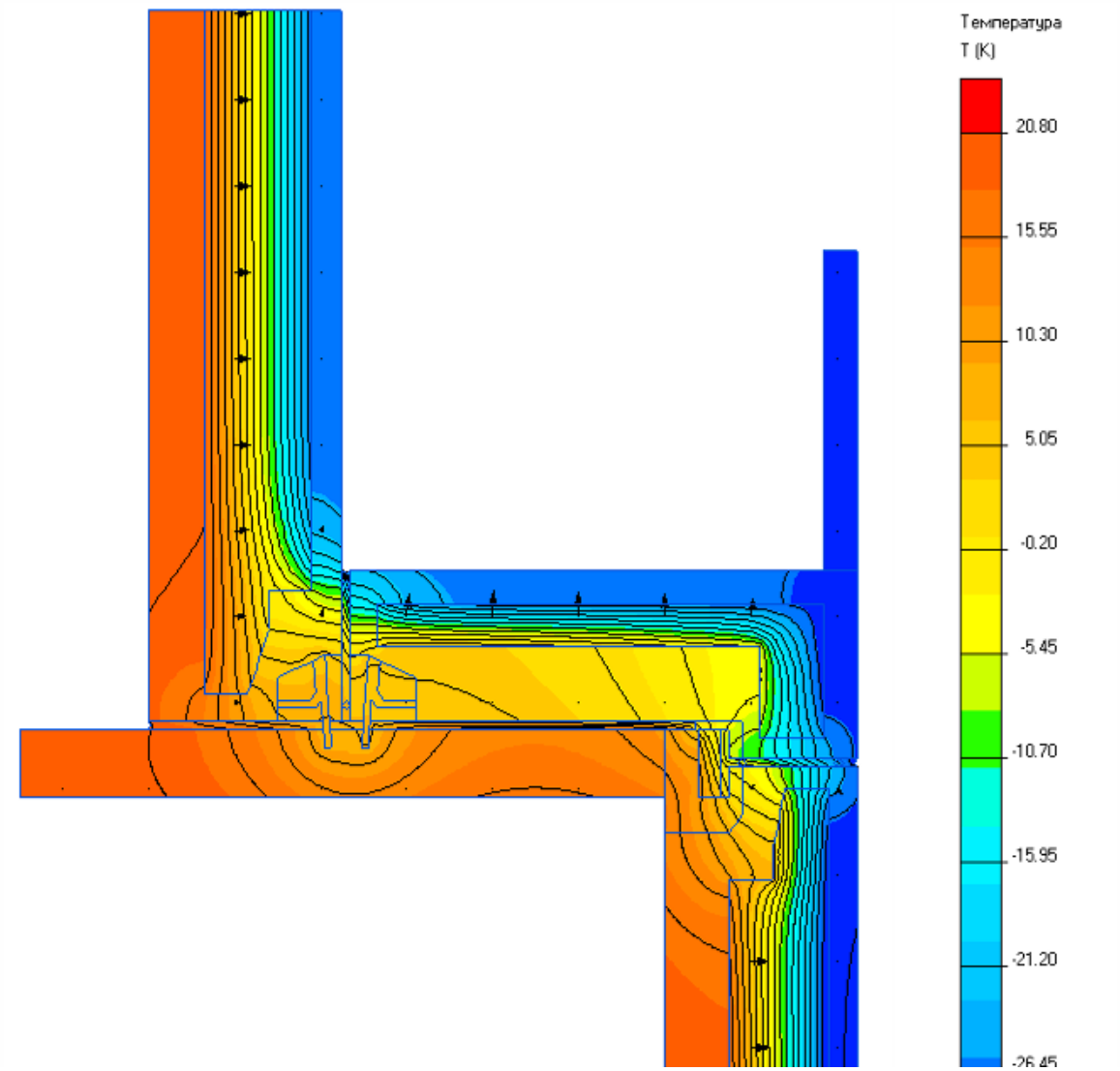


Рисунок 2.6 - Температурні поля з ізоповерхнями та напрямками теплових потоків на вузлі

Лінії ізоповерхні на рисунку відповідають температурам від 26,45°С до 19°С з кроком у 3°С. Вектор щільності теплового потоку з кроком 200 у масштабі 0,001. Тепловий потік через даний вузол $Qв_з$ = 91,5 [Вт]. На зовнішній панелі тепловий потік $Q_{зов}$ = 87,60 [Вт]. Похибка менше 5 %. Умова виконується.

За результатами розрахунку температурних полів на внутрішній поверхні стінових панелей в області з'єднання вузла 36 (55) (ділянки а) спостерігається значна зміна (збільшення) температури порівняно з температурою, розрахованою по гладі стіни, $\tau_{вп}$, за формулою (2.2) (рисунки 2.6 та 2.7).

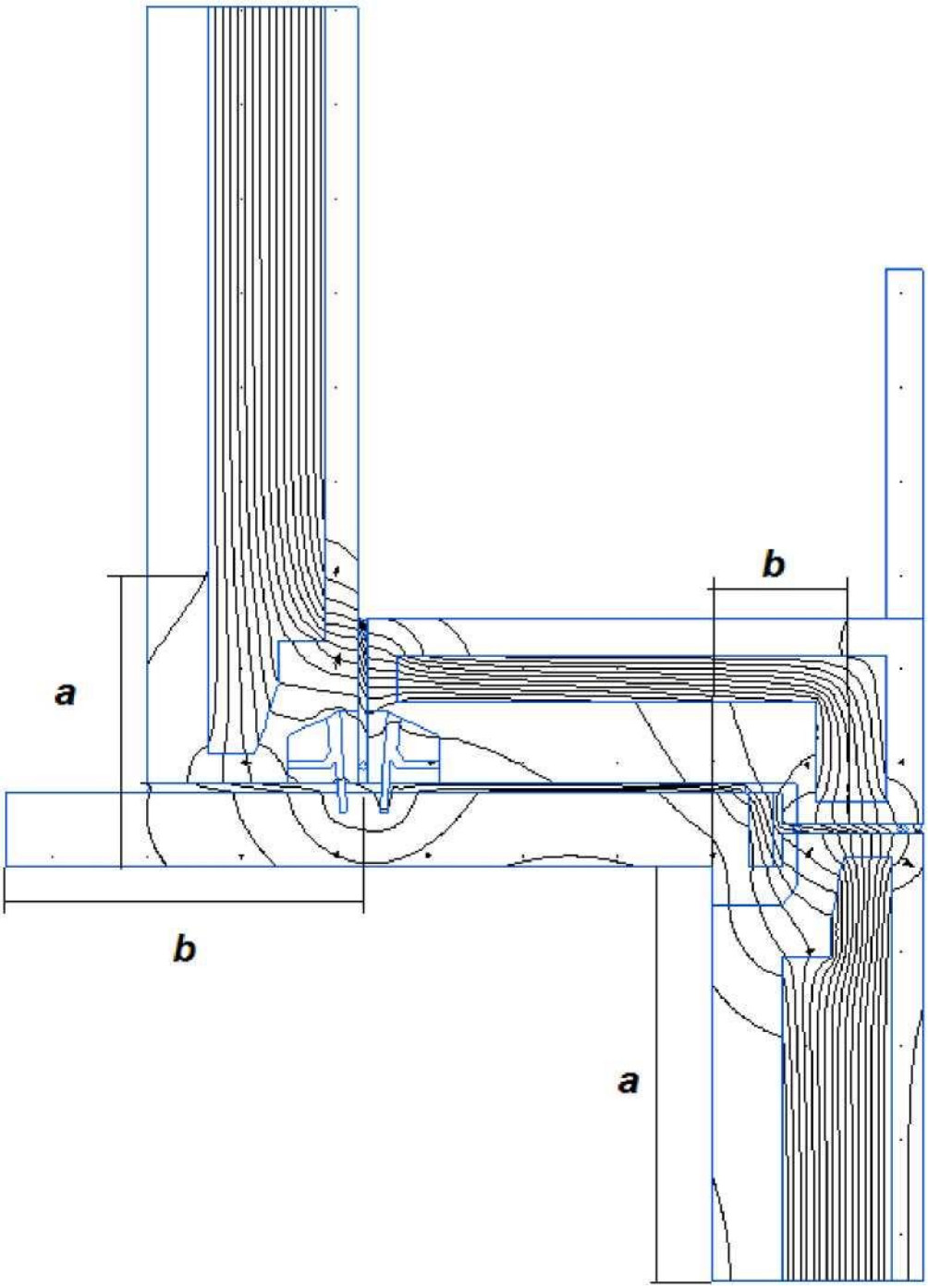


Рисунок 2.7 - Розподіл температур за товщиною огородження: а - ширина зони впливу на температуру внутрішньої поверхні стіни; b-глибина зони впливу.

Зміна температури на внутрішній поверхні призводить до певної зміни теплового потоку, що проходить через цю ділянку стіни, порівняно з тепловим потоком, що проходить через умовну конструкцію (по гладі стіни).

Результати розрахунків температурних полів, градієнтів, теплових потоків по довжині елемента з кроком 63,61 мм зводимо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 - Результати розрахунків температурних полів, градієнтів, теплових потоків елементів із неоднорідними ділянками конструкції

Відстань L (мм)	Температура T (К)	Градієнт G (К/м)	Градієнт Gn (К/м)	Градієнт Gt (К/м)	Тепловий потік F ($Вт/м^2$)	Тепловий потік F_n ($Вт/м^2$)	Тепловий потік F_t ($Вт/м^2$)
0	19.7062	72.6474	17.5091	-37.6316	2.01923	2.60250	-1.61890
63.83	18.4082	12.9014	11.1511	-4.70416	24.7775	22.1468	-8.91147
167.44	18.0107	11.9967	9.74459	-6.14772	22.8292	18.4052	-13.4192
334.66	19.9417	6.74225	5.97935	-3.28266	12.7307	11.2759	-5.09826
418.27	19.1470	5.30667	4.08983	-1.90686	9.17637	9.56703	-3.64873
501.88	20.2503	4.69200	4.57097	-0.117220	8.70621	8.58002	-1.13264
585.49	20.2110	4.33727	4.29008	-0.766768	7.12201	7.05363	-1.26775
668.00	20.3557	3.15971	3.14863	-0.418720	7.78239	7.75093	-0.781417

За наведеними в таблиці даними побудовано: розподіл температурного поля стінового елемента Н-14-2Г з неоднорідними ділянками конструкції (рисунок 2.8), розподіл температурного поля стінового елемента Н-14-2Г з неоднорідними ділянками конструкції без колірної шкали (рисунок 2.9), графік розподілу температури по довжині стінового елемента Н-14-2Г з кроком 63,61 мм (рисунок 2.10), графік зміни теплового потоку з'єднувального вузла по довжині стінового елемента Н-14-2Г з кроком 63,61 мм (рисунок 2.11), колірну карту теплових потоків у стіновому елементі Н-14-2Г (рисунок 2.12), графік зміни градієнта температури з'єднувального вузла по довжині елемента Н-14-2Г з кроком 63,61 мм (рисунок 2.13), колірну карту градієнта температури [К/м] елемента Н-14-2Г (рисунок 2.14).

Довжина елемента вузла на внутрішній поверхні стінових панелей з неоднорідними ділянками L=1500 мм. Тепловий потік на даному елементі 15,8 Вт. Середня температура 19,903 °С. Інтеграл від щільності теплового потоку вздовж контуру x=3,49 Вт/м.

За результатами розрахунку температура точки роси при t_{int} = 21°С та відносній вологості повітря φ_{int} = 55% [35]:

t_d =11,62°С < τ_{st} =18,286°С.

В результаті розрахунків визначили, що вузол з'єднання стінового елемента Н-14-2Г як елемент конструкції повністю відповідає вимогам [38].

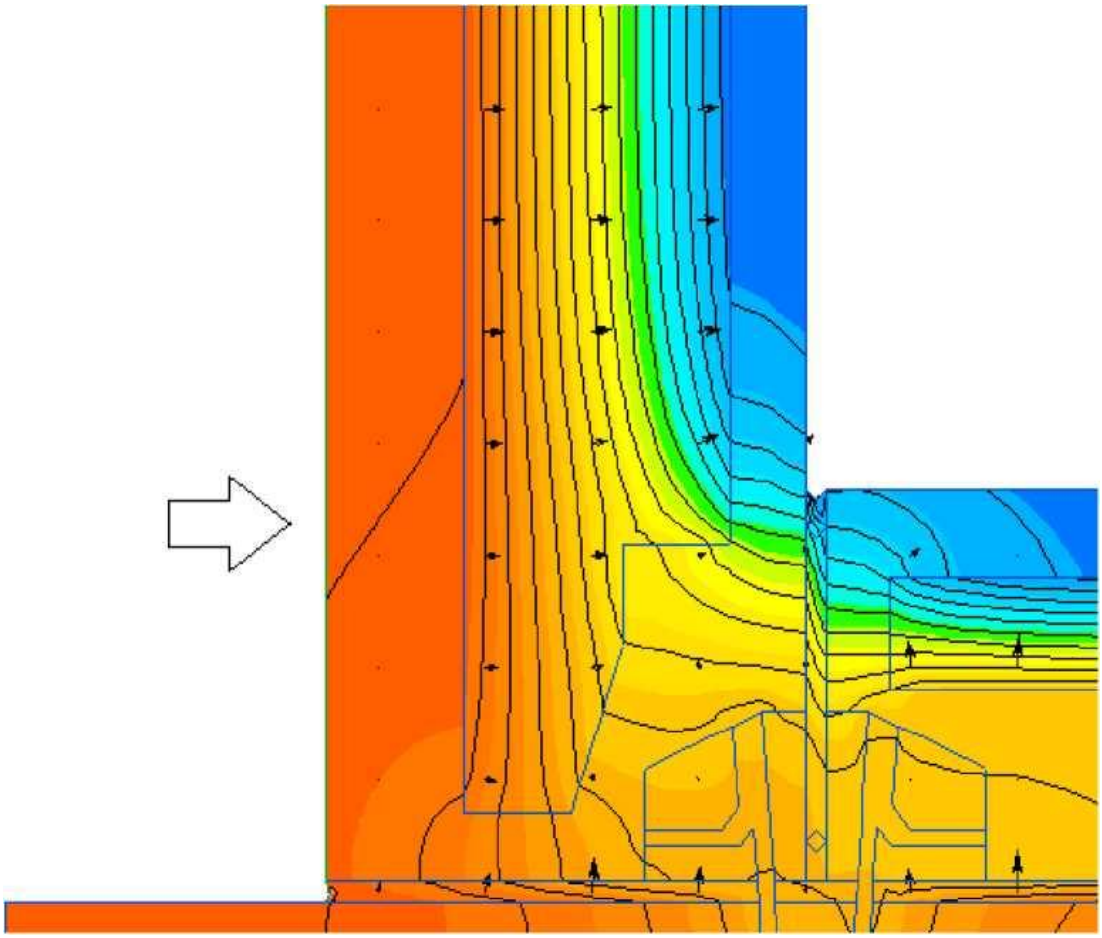


Рисунок 2.8 - Розподіл температурного поля стінового елемента Н-14- 2Г, з неоднорідними ділянками конструкції.

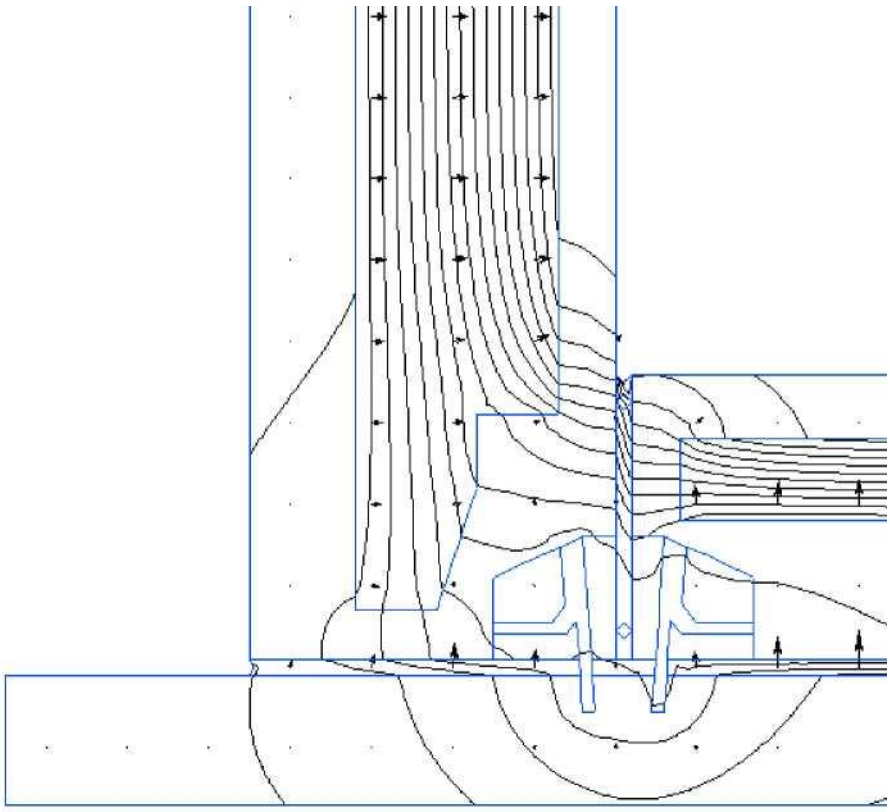


Рисунок 2.9 - Розподіл температурного поля стінового елемента Н-14-2Г з неоднорідними ділянками конструкції без колірної шкали.

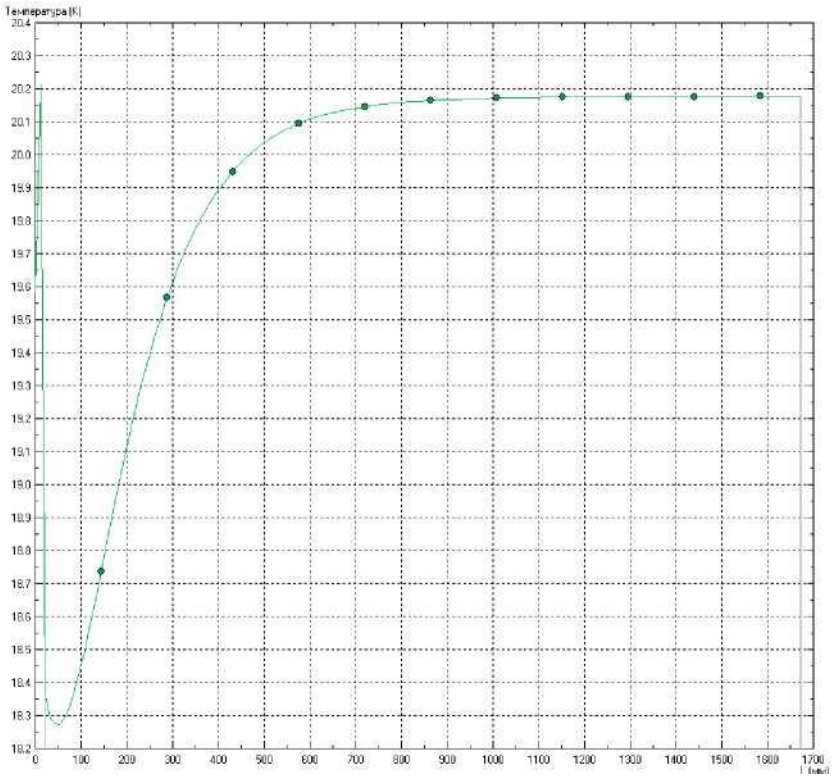


Рисунок 2.10 - Графік розподілу температури по довжині стінового елемента Н-14-2Г кроком 63,61 мм.

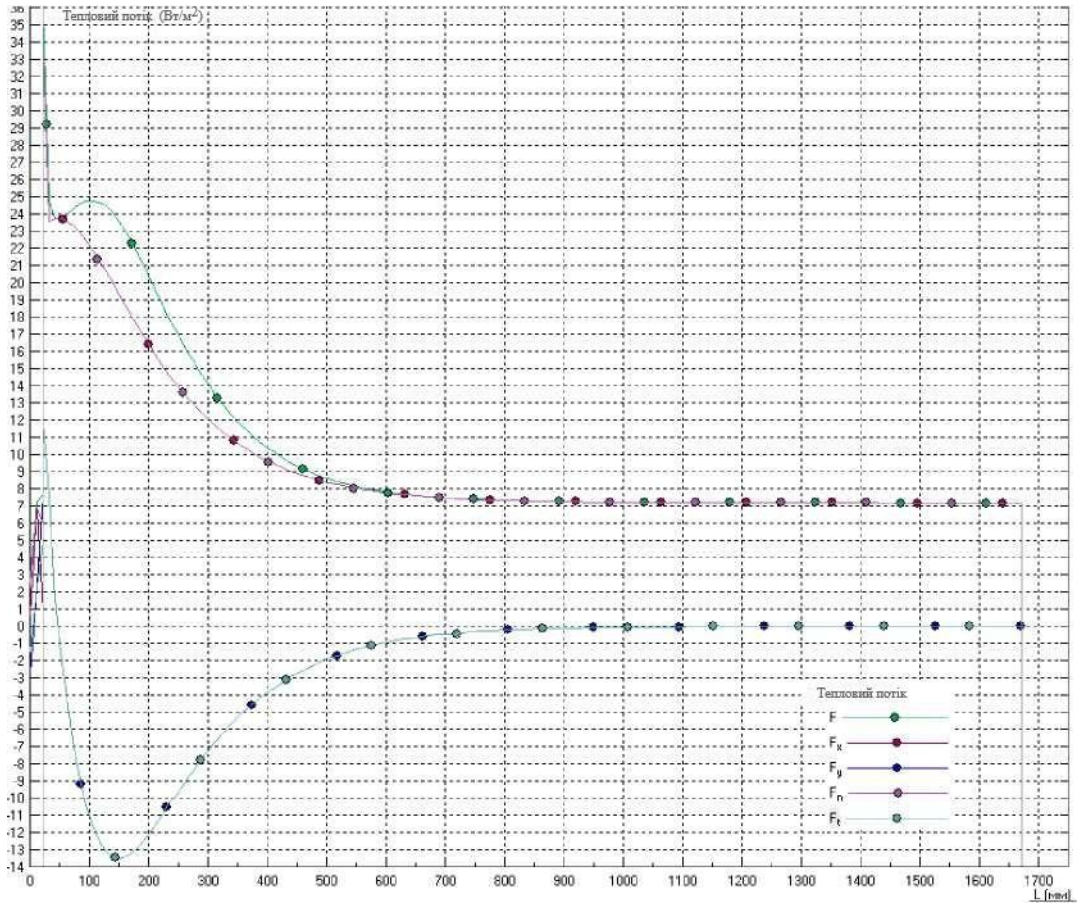


Рисунок 2.11 - Графік зміни теплового потоку сполучного вузла по довжині стінового елемента Н-14-2Г кроком 63,61 мм.

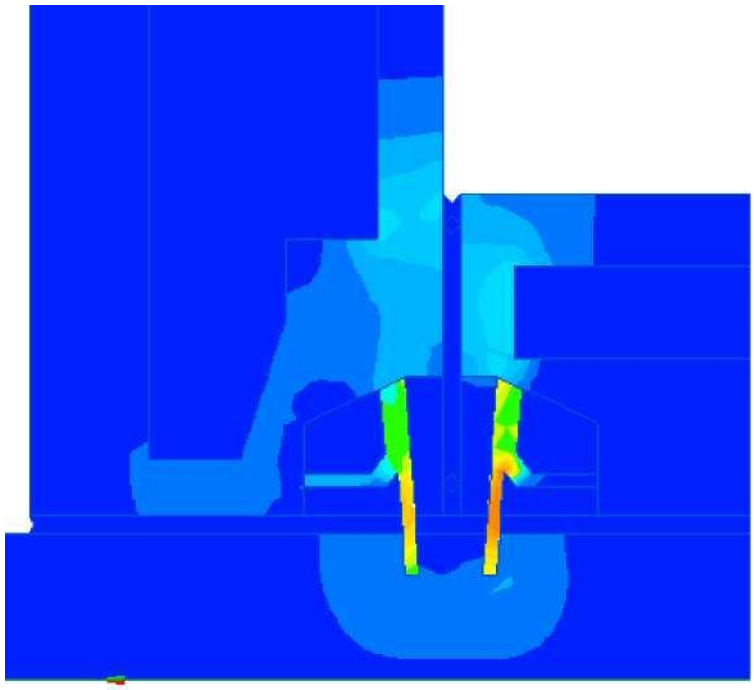


Рисунок 2.12 - Колірна карта теплових потоків у стіновому елементі Н-14-2Г.

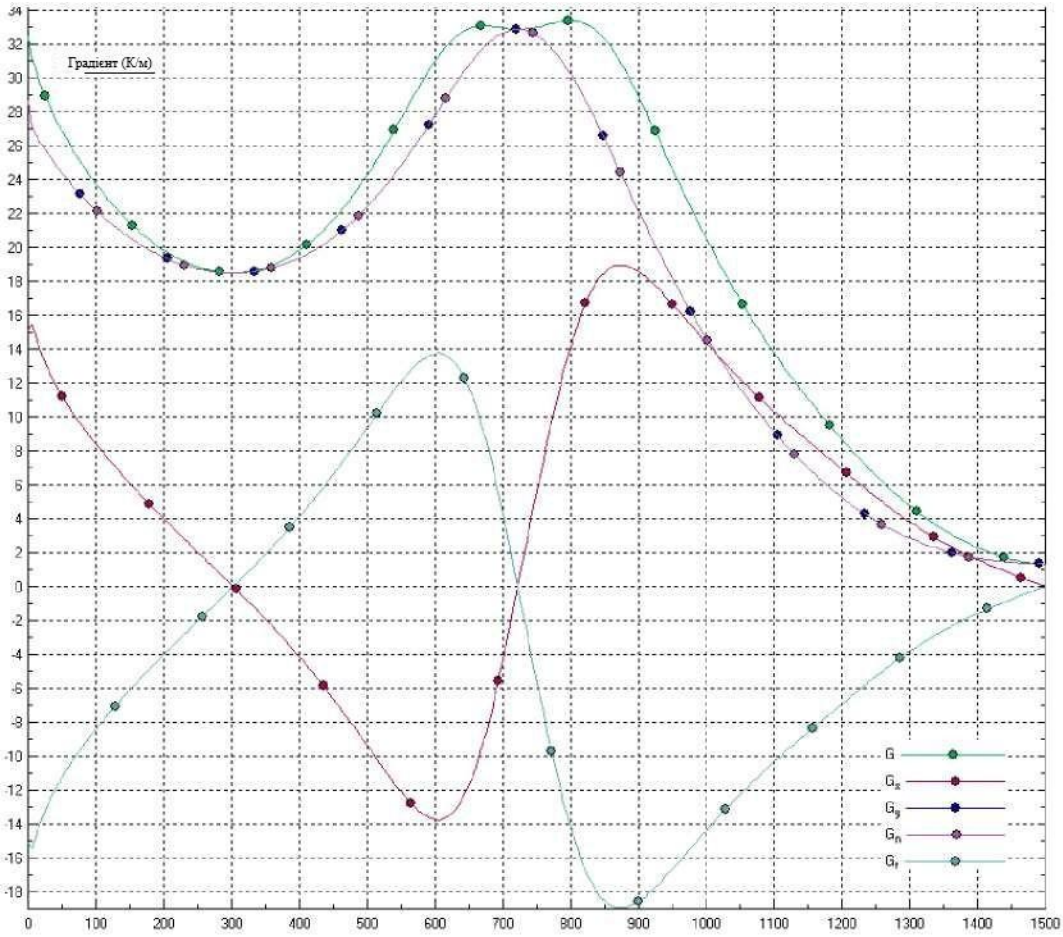


Рисунок 2.13 - Графік зміни градієнта температури сполучного вузла за довжиною елемента Н-14-2Г кроком 63,61 мм.

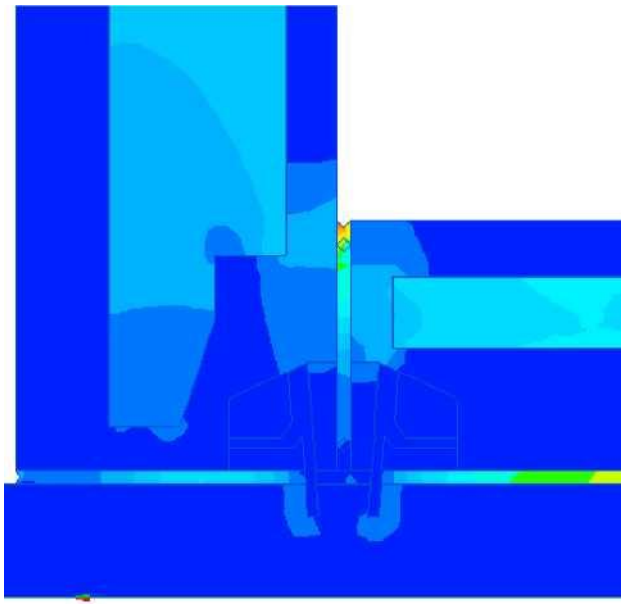


Рисунок 2.14 - Колірна карта градієнта температури [К/м] елемента Н-14-2Г.

В результаті розрахунків визначили, що дана стінова панель Н-14-2Г, як елемент конструкції, повністю відповідає вимогам [38].

Розглянемо наступний елемент вузлів Н-14-2Г, В-4-11Н та Н-39Л (див. рисунки 2.15 та 2.16). Довжина елемента вузла на внутрішній поверхні стінових панелей з неоднорідними ділянками L=1500 мм. Тепловий потік на даному елементі становить 50,329 Вт. Середня температура – 17,144°С. Інтеграл від щільності теплового потоку вздовж контуру x=3,49 Вт/м. Поверхневий інтеграл від grad(T).

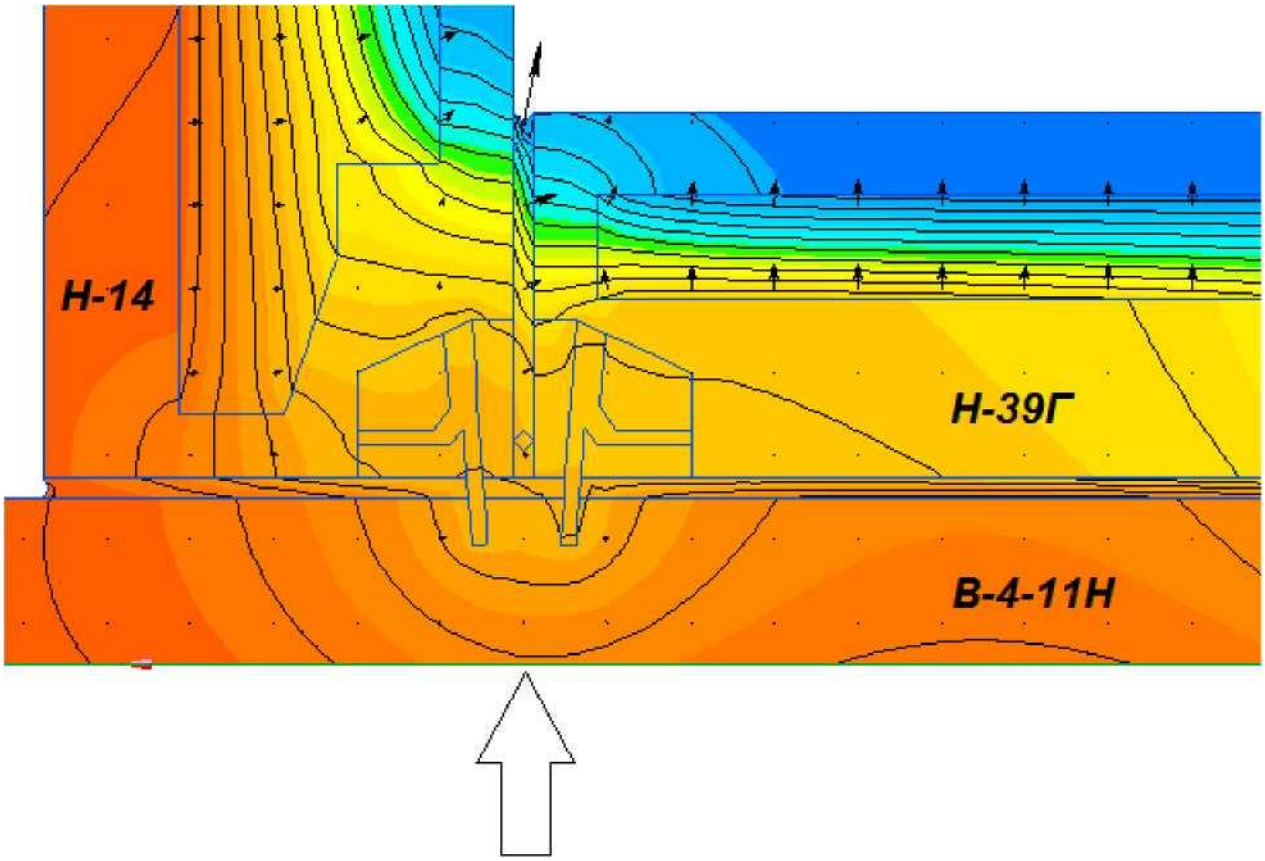


Рисунок 2.15 - Розподіл температурного поля по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н та Н-39Л з неоднорідними ділянками конструкції.

Результати розрахунків температурних полів, градієнтів, теплових потоків по довжині елемента з кроком 75 мм зводимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Результати розрахунків температурних полів, градієнтів, теплових потоків елементів з неоднорідними ділянками конструкції

Відстань L (мм)	Температура T (K)	Градієнт G (K/м)	Градієнт Gn (K/м)	Градієнт Gt (K/м)	Тепловий потік F ($Вт/м^2$)	Тепловий потік F_n ($Вт/м^2$)	Тепловий потік F_t ($Вт/м^2$)
0	14.95	32.4361	28.6690	-15.1719	62.2773	55.0445	-29.1301
75	15.88	25.1547	23.2097	-9.69882	48.2969	44.5626	-18.6217
150	16.46	21.4394	20.5556	-6.09221	41.1637	39.4668	-11.6970
225	16.80	19.2598	19.0259	-2.99224	36.9788	36.5298	-5.74510
300	16.92	18.5042	18.5040	-0.086803	35.5281	35.5277	-0.166662
375	16.817	19.2229	18.9872	3.00114	36.9080	36.4554	5.76219
450	16.45	21.6368	20.5981	6.62327	41.5426	39.5484	12.7167
525	15.80	25.9037	23.5412	10.8080	49.7351	45.1991	20.7513
600	14.87	30.9861	27.7919	13.7022	59.4933	53.3604	26.3082
675	13.96	33.0911	31.9227	-8.71576	63.5349	61.2915	16.7343
750	13.83	32.9934	32.5057	-5.65161	63.3473	62.4110	-10.8511
825	14.72	33.1528	28.4436	-17.0314	63.6534	54.6118	-32.7004
900	16.11	28.9111	22.1744	-18.5512	55.5093	42.5749	-35.6183
975	17.39	22.5563	16.3635	-15.5249	43.3081	31.4180	-29.8078
1050	18.42	16.9271	11.6771	-12.2545	32.5000	22.4199	-23.5286
1125	19.23	12.3905	8.01980	-9.44501	23.7898	15.3980	-18.1344
1200	19.84	8.69389	5.25212	-6.92813	16.6923	10.0841	-13.3020
1275	20.27	5.60098	3.32308	-4.50868	10.7539	6.38030	-8.65666
1350	20.53	3.35636	2.13574	-2.58917	6.44422	4.10063	-4.97120
1425	20.67	1.90316	1.51604	-1.15049	3.65407	2.91080	-2.20894
1500	20.71	1.28511	1.28443	-0.041770	2.46740	2.46610	-0.080199

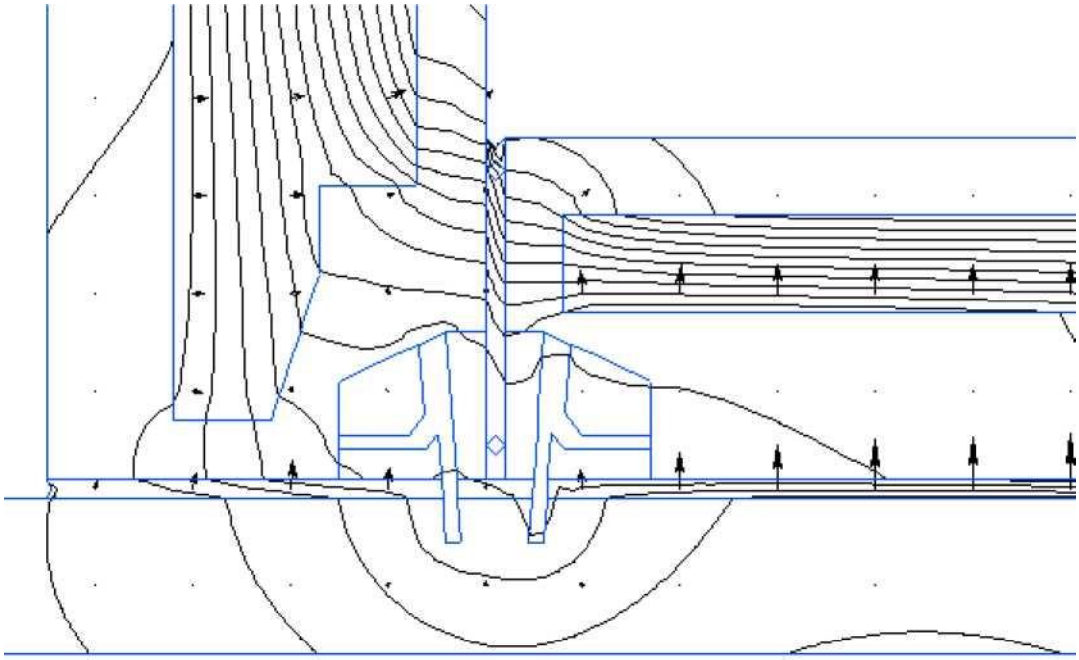


Рисунок 2.16 - Розподіл температурного поля по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н та Н-39Л, з неоднорідними ділянками конструкції без колірної шкали.

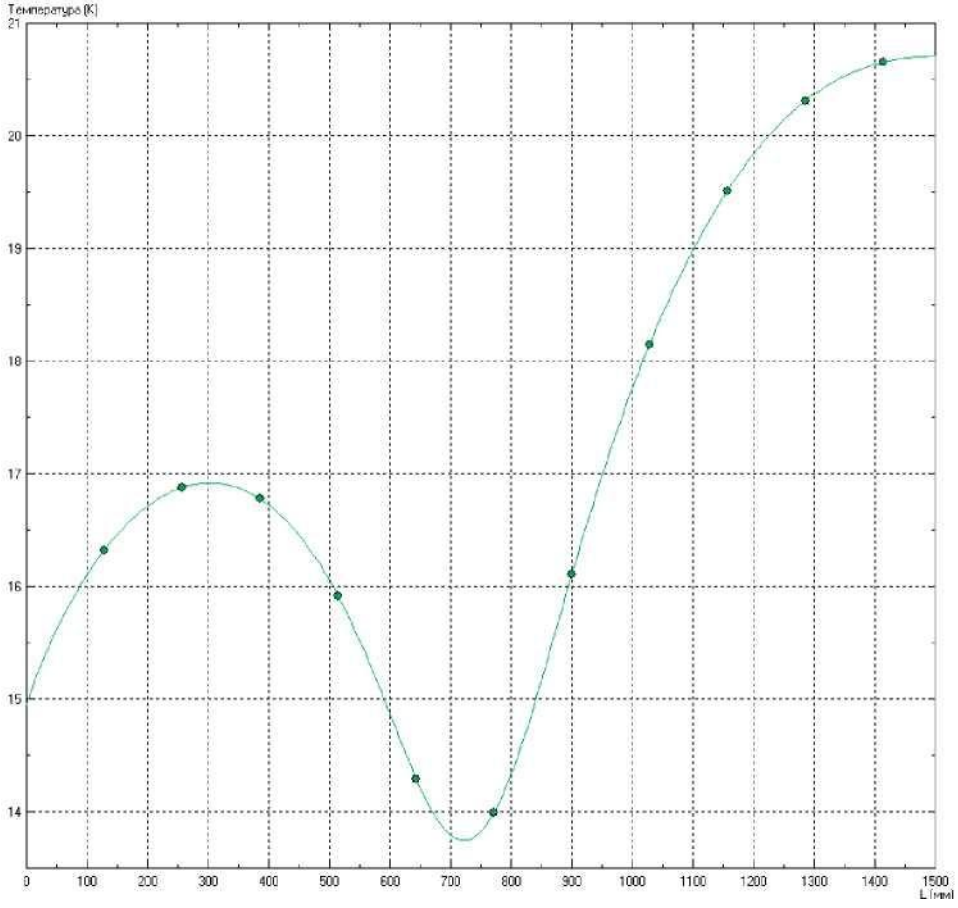


Рисунок 2.17 - Графік розподілу температури по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н і Н-39Лкроком 75 мм.

За наведеними в таблиці 2.2 даними побудовано: розподіл температурного поля по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н та Н-39Л з неоднорідними ділянками конструкції (рисунок 2.15), розподіл температурного поля по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н та Н-39Л з неоднорідними ділянками конструкції без колірної шкали (рисунок 2.16), графік розподілу температури по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н та Н-39Л з кроком 75 мм (рисунок 2.18), графік зміни теплового потоку з'єднувального вузла по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н та Н-39Л з кроком 75 мм (рисунок 2.18).

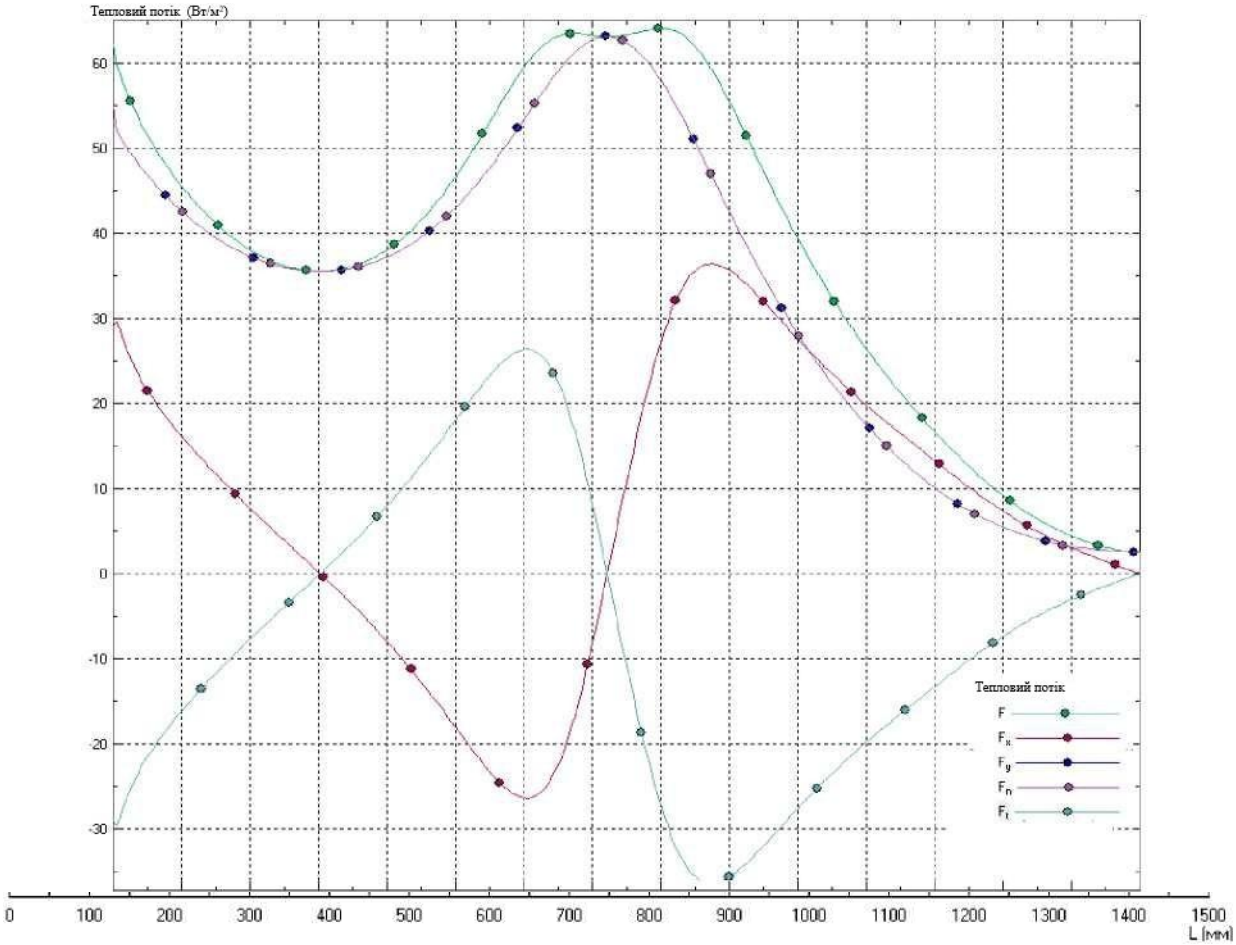


Рисунок 2.18 - Графік зміни теплового потоку сполучного вузла по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н та Н-39Л кроком 75 мм.

За результатами розрахунку температура точки роси при t_{int} = 21°С та відносній вологості повітря φ_{int} = 55% [35]:

t_d = 11,62°С < τs_t =13,83°С.

В результаті розрахунків визначили, що вузол з'єднання стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н та Н-39Л, як елемент конструкції, повністю відповідає вимогам [38].

Розглянемо наступний елемент вузлів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г (див. рисунки 2.19 та 2.20). Довжина елемента вузла на внутрішній поверхні стінових панелей з неоднорідними ділянками L=2380мм. Тепловий потік на даному елементі становить 74,133 Вт. Середня температура – 17,418°С. Інтеграл від щільності теплового потоку вздовж контуру x=1,906 Вт/м. Поверхневий інтеграл від grad(T) = 41,68 К·м.

Результати розрахунків температурних полів, градієнтів, теплових потоків по довжині елемента з кроком 119 мм зводимо в таблицю 2.3.

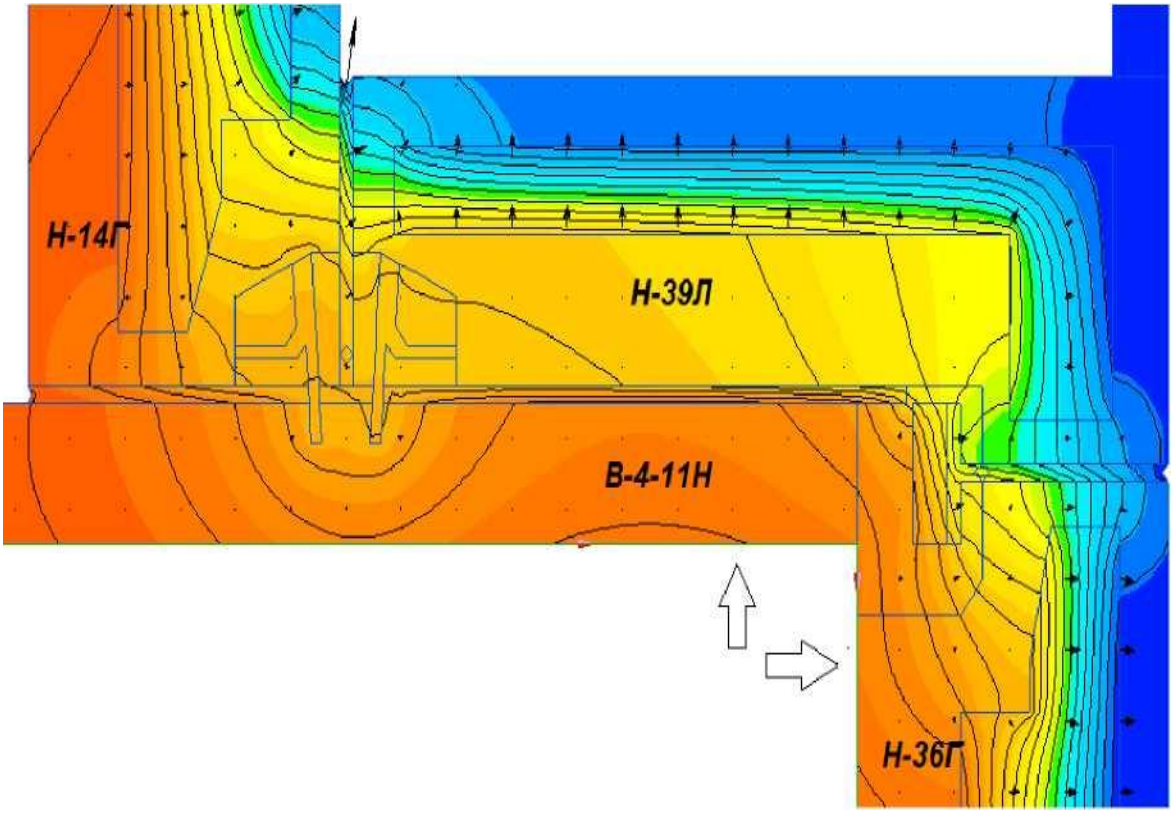


Рисунок 2.19 - Розподіл температурного поля по довжині стінових елементів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г з неоднорідними ділянками конструкції.

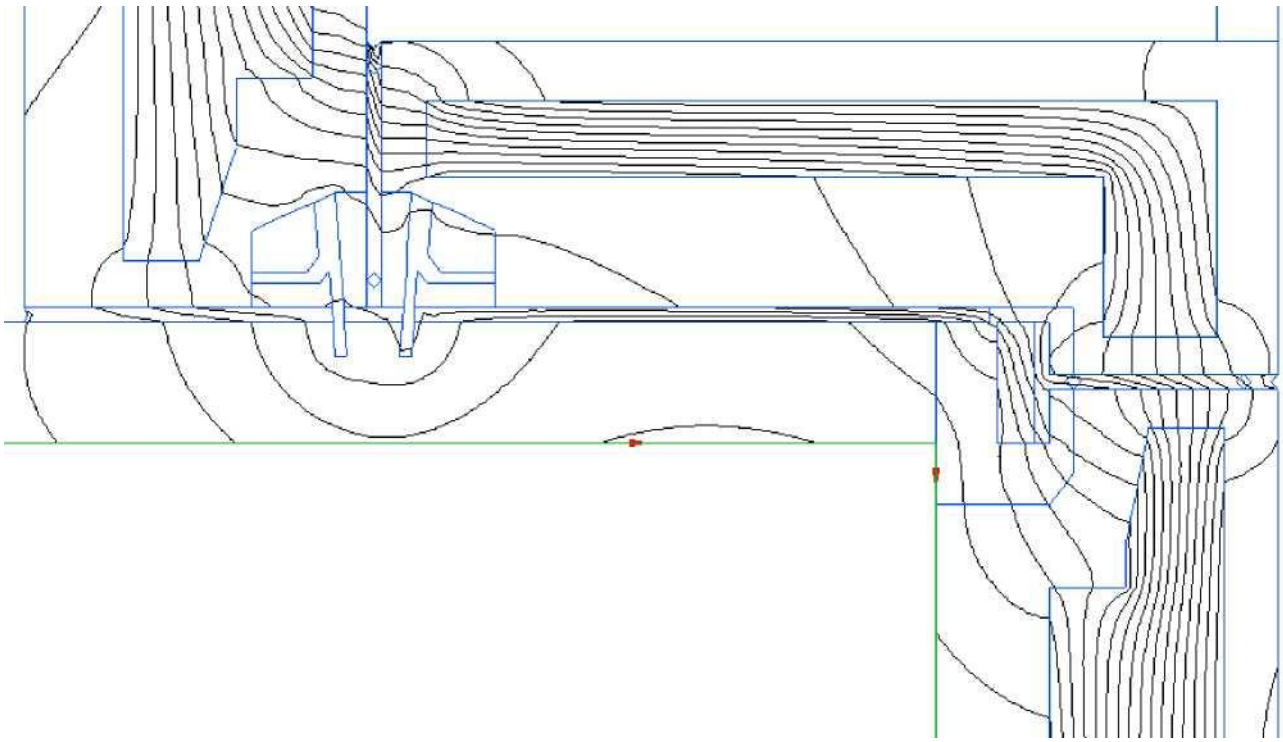


Рисунок 2.20 - Розподіл температурного поля по довжині стінових елементів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г, з неоднорідними ділянками конструкції без колірної шкали.

За наведеними в таблиці 4 даними побудовано: розподіл температурного поля стінових елементів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г, з неоднорідними ділянками конструкції (рисунок 2.19), розподіл температурного поля стінових елементів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г, з неоднорідними ділянками конструкції без колірної шкали (рисунок 2.20), графік розподілу температури по довжині стінових елементів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г з кроком 119 мм (рисунок 2.21), колірну карту теплових потоків стінових елементів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г (рисунок 2.22), графік зміни теплового потоку з'єднувального вузла по довжині стінових елементів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г з кроком 119 мм (рисунок 2.23), графік зміни градієнта температури з'єднувального вузла по довжині стінових елементів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г з кроком 119 мм (рисунок 2.24), колірну карту градієнта температури [К/м] стінових елементів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г (рисунок 2.25).

За результатами розрахунку температура точки роси при t_{int} = 21°С та

відносній вологості повітря φ_{int} = 55% [35]:

t_d =11,62 С < τ_{st} =13,76°С.

В результаті розрахунків визначили, що вузол з'єднання стінових елементів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г, як елемент конструкції, повністю відповідає вимогам [38].

Таблиця 2.3 – Результати розрахунків температурних полів, градієнтів, теплових потоків елементів з неоднорідними ділянками конструкції

Відстань L (мм)	Температура T (К)	Градієнт G (К/м)	Градієнт Gn (К/м)	Градієнт Gt (К/м)	Тепловий потік F (Вт/м^2)	Тепловий потік F_n (Вт/м^2)	Тепловий потік F_t (Вт/м^2)
0	20.0308	1.51844	-1.51776	0.3740037	2.79073	-2.79943	0.3134224
119	20.8215	2.98104	-1.15302	1.26061	5.43705	-3.72825	3.04200
238	20.5387	6.32734	-3.93399	4.24985	11.0338	-6.24650	9.76205
357	19.6262	11.7737	-7.50094	8.15049	21.2988	-13.2063	16.2714
476	18.3254	18.0608	-13.4099	13.6542	35.2094	-25.5223	25.8014
595	16.4216	28.8369	-21.0800	18.7468	54.0591	-41.0070	35.6862
714	14.4716	33.6586	-31.3792	12.4430	63.2179	-59.9433	23.5859
793	13.0919	32.1220	-32.0904	-2.28372	62.2452	-62.2452	-5.99728
952	15.8752	27.7105	-24.0508	-12.3374	52.0087	-47.7090	-23.3701
1071	16.8145	20.0078	-20.3550	-5.86145	39.1104	-38.7760	-10.9665
1190	16.2486	18.8448	-18.8311	-0.640512	35.8753	-35.8691	-0.932428
1309	16.9099	20.3925	-19.8238	4.68060	38.8652	-37.9460	8.69948
1428	15.1716	25.6717	-23.6769	9.11342	48.9912	-44.1420	18.2033
1547	15.7045	63.5247	-63.5238	0.654206	48.4347	-48.4331	0.577033
1610	14.0	28.9395	-25.1884	-12.5737	54.2562	-49.9741	-23.8349
1785	17.3344	22.1591	-18.4534	-13.1157	43.1507	-34.0230	-26.9876
1904	18.6490	14.0020	-12.4810	-8.73596	28.6092	-23.6770	-16.4664
2023	19.3905	9.11001	-8.08148	-4.81278	18.2178	-16.1489	-8.14407
2142	19.7909	7.66832	-6.27602	-2.69609	14.3167	-13.6654	-4.86175
2261	19.9946	6.47001	-6.39949	-0.221760	11.1360	-11.9703	-1.24033
2380	19.0412	5.01673	-5.01668	-0.354914	11.4374	-11.4373	-0.374830

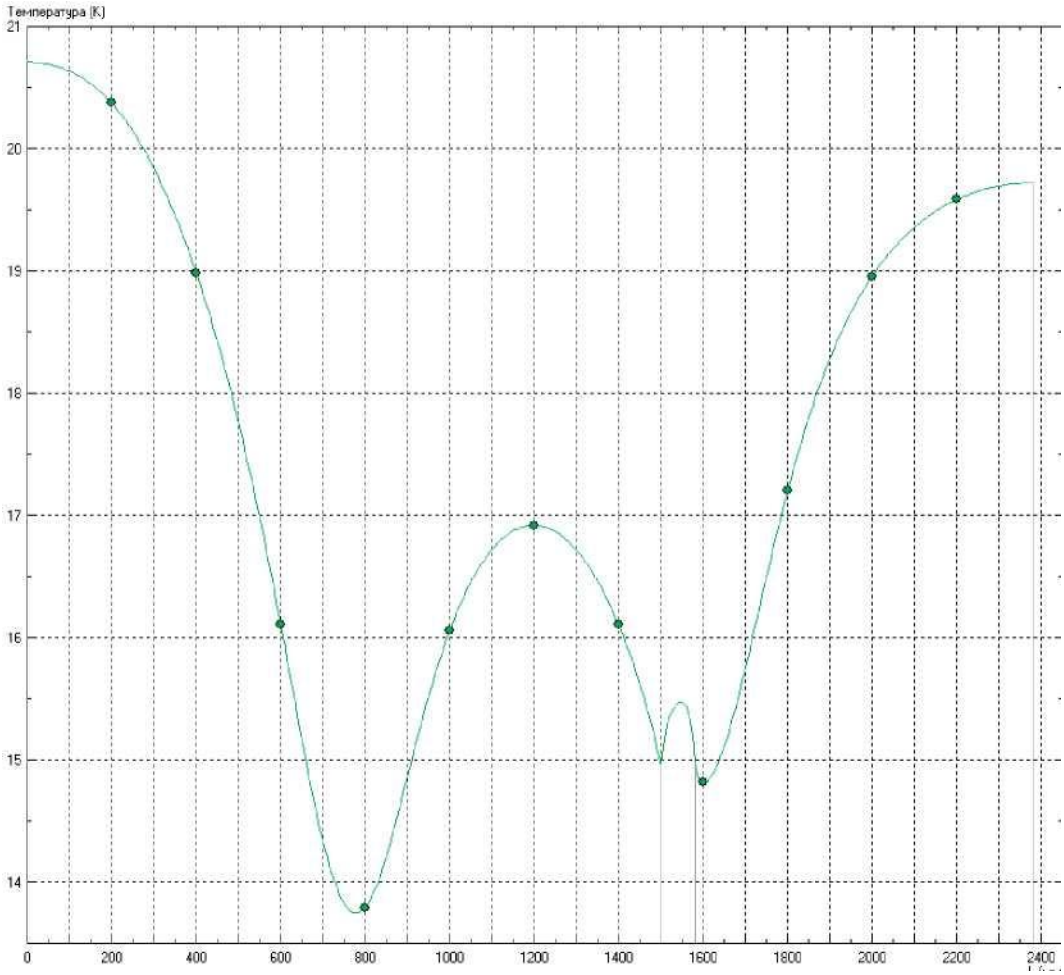


Рисунок 2.21 - Графік розподілу температури по довжині стінових елементів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г кроком 119 мм.

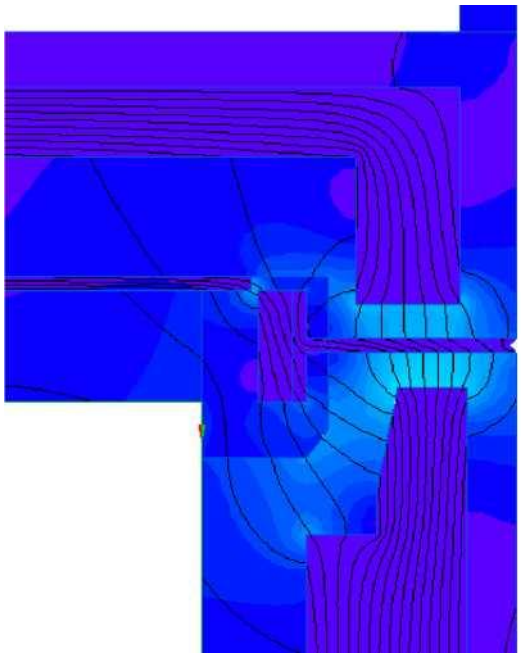


Рисунок 2.22 - Колірна карта теплових потоків стінових елементів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г.

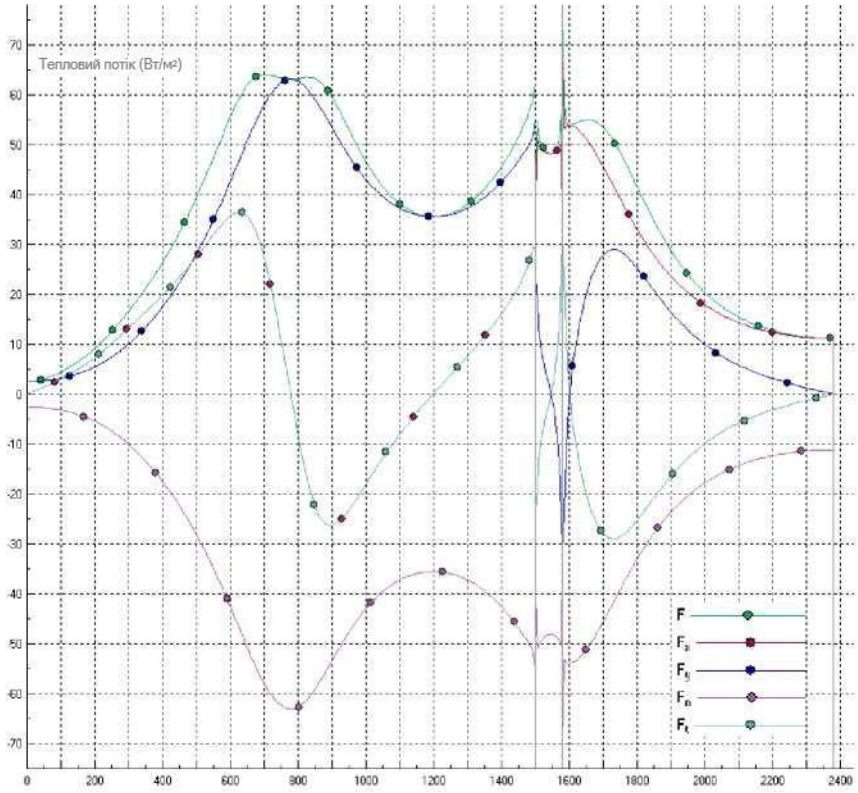


Рисунок 2.23 - Графік зміни теплового потоку сполучного вузла по довжині стінових елементів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г кроком 119 мм.

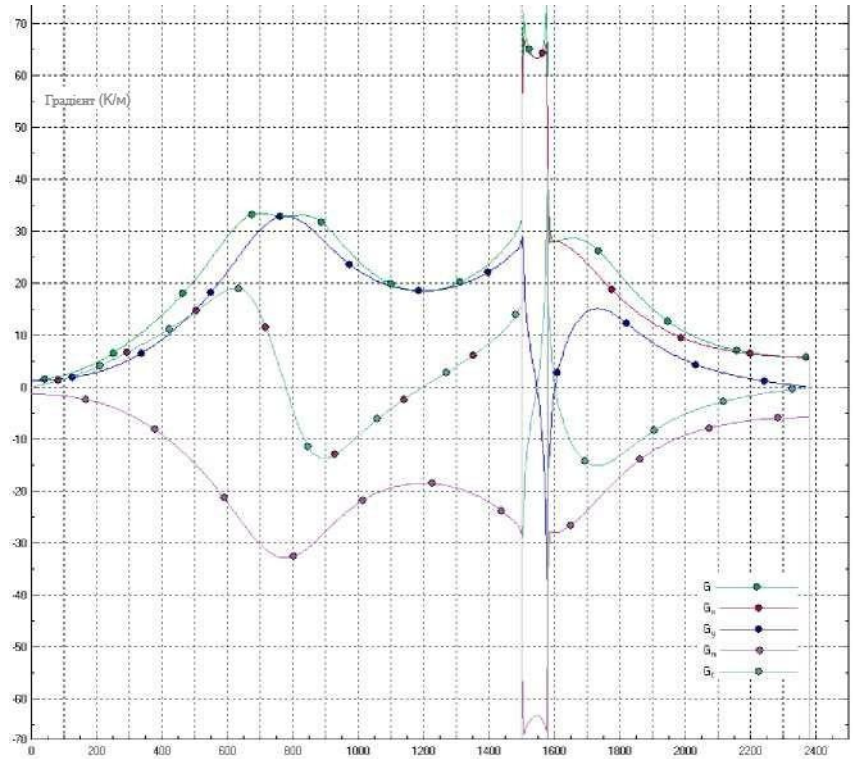


Рисунок 2.24 - Графік зміни градієнта температури сполучного вузла по довжині стінових елементів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г кроком 119 мм.

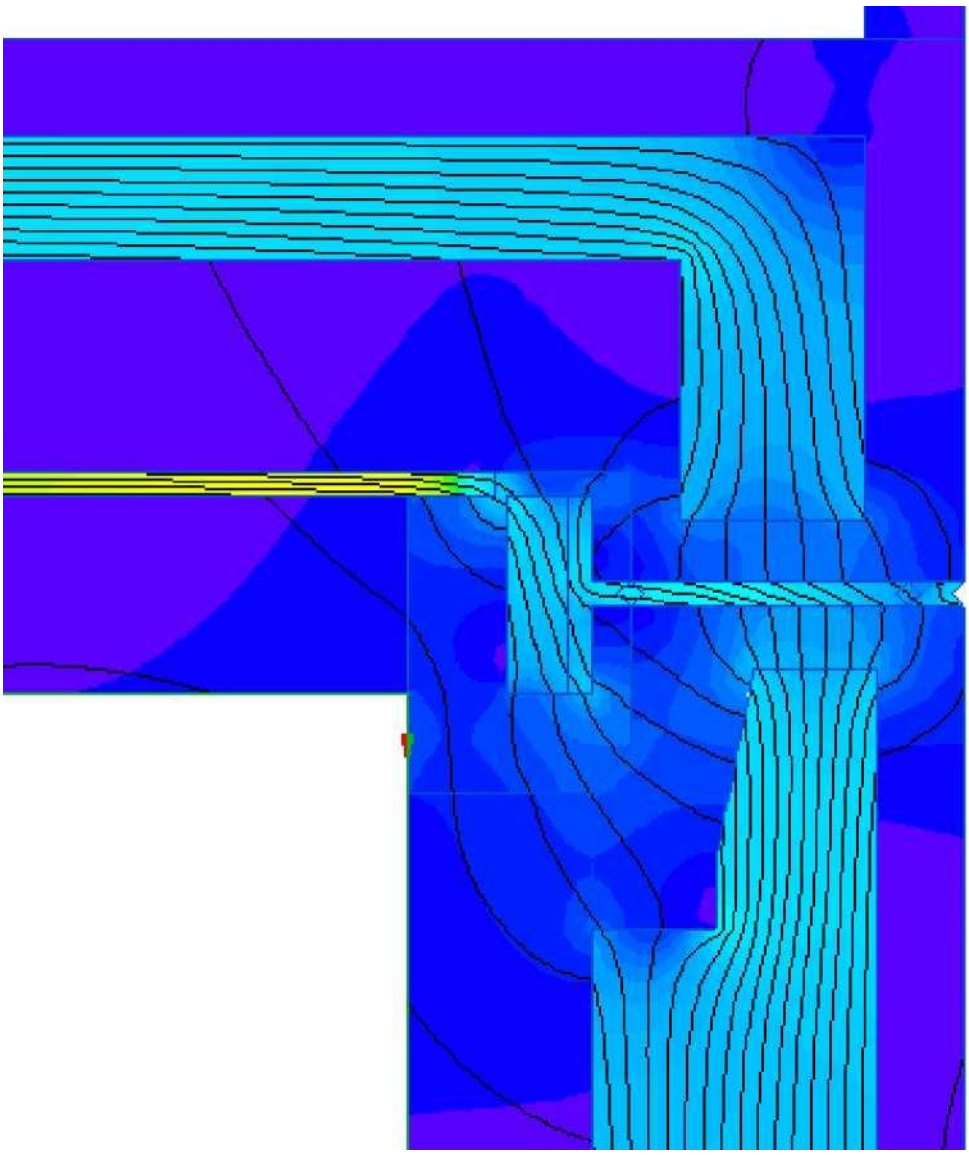


Рисунок 2.25 - Колірна карта градієнта температури [К/м] стінових елементів Н-39Л, В-4-11Н та Н-36Г.

Розглянемо варіант, коли температура лоджії дорівнює температурі навколишнього середовища. Довжина всіх елементів вузла на внутрішній поверхні стінових панелей з неоднорідними ділянками L = 2380мм. Тепловий потік на даному елементі 77,551 Вт. Середня температура 17,253 °С. Інтеграл від щільності теплового потоку вздовж контуру x=43,506 Вт/м. Поверхневий інтеграл від grad (T) = 1,95 К·м.

Результати розрахунків температурних полів, градієнтів, теплових потоків по довжині елемента з кроком 70 мм зводимо в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4 – Результати розрахунків температурних полів (зі зміненими даними)

Відстань L (мм)	Температура T (К)	Градієнт G (К/м)	Градієнт Gn (К/м)	Градієнт Gt (К/м)	Тепловий потік F ($Вт/м^2$)	Тепловий потік F_n ($Вт/м^2$)	Тепловий потік F_t ($Вт/м^2$)
0	20.3515	1.05121	-1.05058	0.7127799	2.32509	-2.32369	0.7531710
70	20.3122	1.64079	-1.37310	1.81228	3.45597	-3.75101	2.86605
140	20.2854	3.02129	-2.85746	2.21568	6.11734	-4.85489	4.56067
210	20.9469	5.15800	-3.93268	4.17981	10.2919	-6.94721	8.12989
280	19.5692	8.17719	-5.78508	6.40341	16.8955	-9.30282	12.6012
350	19.0021	11.6901	-7.21932	9.90115	22.5696	-14.1586	17.4079
420	18.2655	16.8086	-10.5570	11.6871	30.6400	-20.5670	22.5357
490	17.3307	21.0773	-15.8975	15.7794	40.5649	-29.7085	28.5728
560	16.1643	27.1421	-20.1783	18.1708	52.4295	-39.8487	35.0017
630	15.8918	33.2852	-26.3929	20.0381	64.0222	-51.8971	39.7617
700	13.5905	35.5358	-32.2848	15.8057	68.5335	-62.1095	29.7316
770	13.9754	35.0113	-35.0710	1.35459	67.5383	-67.4519	3.91739
840	13.2684	35.2876	-33.2354	-11.2508	68.8576	-64.1286	-22.9062
910	14.2408	32.3293	-29.8997	-14.4350	62.3607	-55.6810	-28.0227
980	15.2710	27.1845	-24.6792	-11.1484	52.3198	-47.5895	-22.7924
1050	16.8269	23.8961	-21.6016	-7.00368	44.1752	-42.8827	-14.7536
1120	16.2181	20.2119	-20.9709	-3.49404	39.1115	-38.4679	-7.82322
1190	16.3684	19.2007	-19.2985	-0.338599	37.2701	-37.1586	-1.94747
1260	16.3042	19.5559	-19.4342	2.85524	38.8521	-37.6202	4.97972
1330	16.0510	21.2001	-20.6827	5.89000	41.0117	-40.8235	9.50346
1400	15.6842	24.1635	-23.7966	8.01633	47.7006	-44.9841	16.7080
1470	15.9780	29.8883	-26.9429	12.2017	55.5610	-50.1151	24.7329
1540	15.0532	64.0130	-64.9379	-3.09516	48.6709	-48.5044	-2.29632
1610	14.4452	28.0237	-28.8689	-3.72992	54.1101	-54.8948	-5.53708
1680	15.1025	28.3087	-25.9894	-13.2333	54.6482	-48.1751	-26.7145
1750	16.1470	25.1115	-20.2920	-15.7051	48.5218	-39.1752	-28.5404
1820	17.1034	20.0984	-16.8130	-12.0064	39.7843	-31.7776	-23.3699
2380	19.4831	5.46119	-5.46105	-0.794525	11.8920	-11.8929	-0.718596

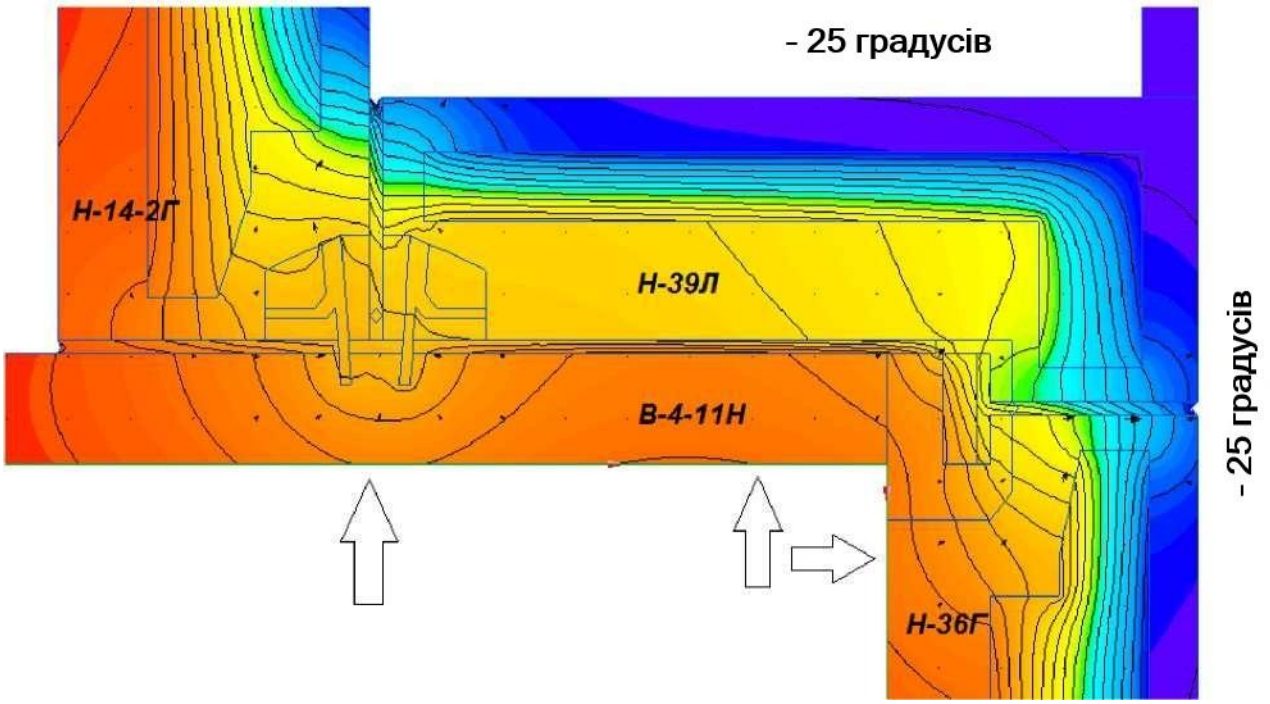


Рисунок 2.26 - Графік розподілу температури по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н, Н-36Г та Н-39Л кроком 70 мм.

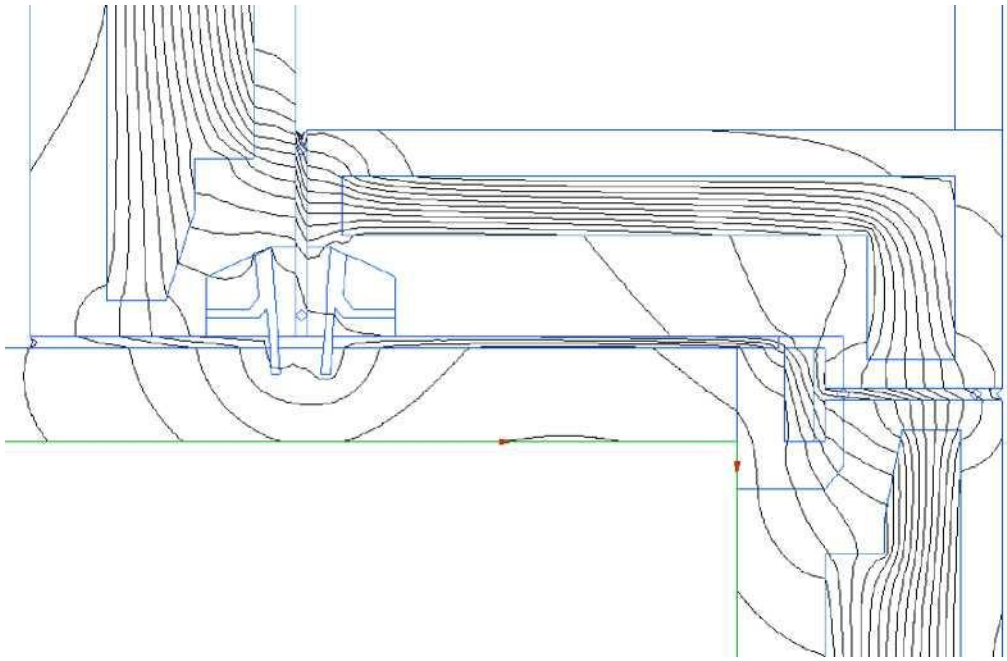


Рисунок 2.27 - Розподіл температурного поля стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н, Н-36Г та Н-39Л, з неоднорідними ділянками конструкції без колірної шкали.

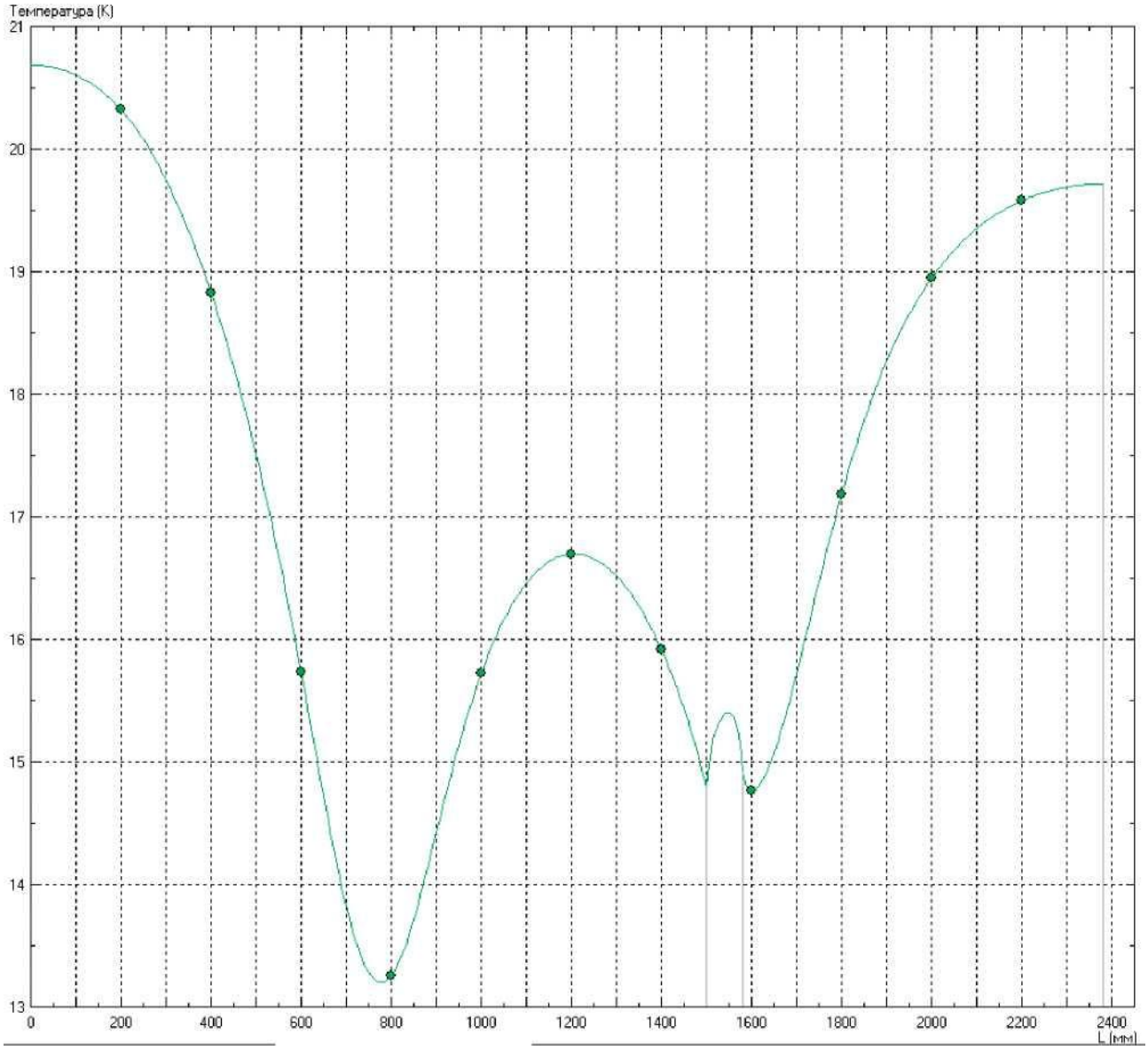


Рисунок 2.28 - Графік розподілу температури по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н, Н-36Г та Н-39Л кроком 70 мм.

За наведеними в таблиці 2.4 даними побудовано: графік розподілу температури по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н, Н-36Г та Н-39Л з кроком 70 мм (рисунок 2.26), розподіл температурного поля стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н, Н-36Г та Н-39Л з неоднорідними ділянками конструкції без колірної шкали (рисунок 2.27), графік розподілу температури по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н, Н-36Г та Н-39Л з кроком 70 мм (рисунок 2.28), графік зміни теплового потоку з'єднувального вузла по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н, Н-36Г та Н-39Л з кроком 70 мм

(рисунок 2.29), графік зміни градієнта температури з'єднувального вузла по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н, Н-36Г та Н-39Л з кроком 70 мм (рисунок 2.30), графік зміни гармоніки температури, градієнта температури, щільності теплового потоку (рисунок 2.31).

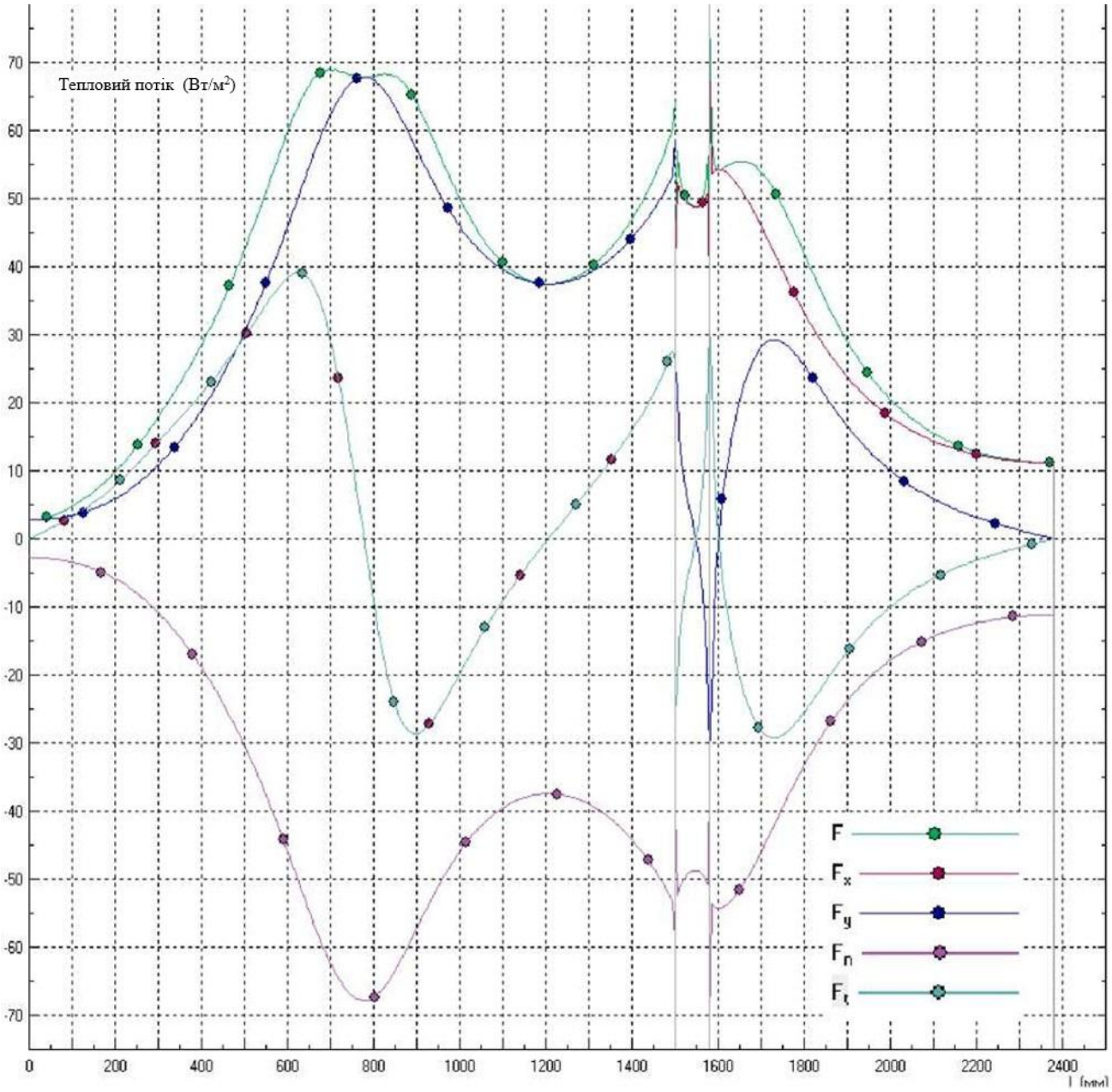


Рисунок 2.29 - Графік зміни теплового потоку сполучного вузла по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н, Н-36Г та Н-39Л кроком 70 мм.

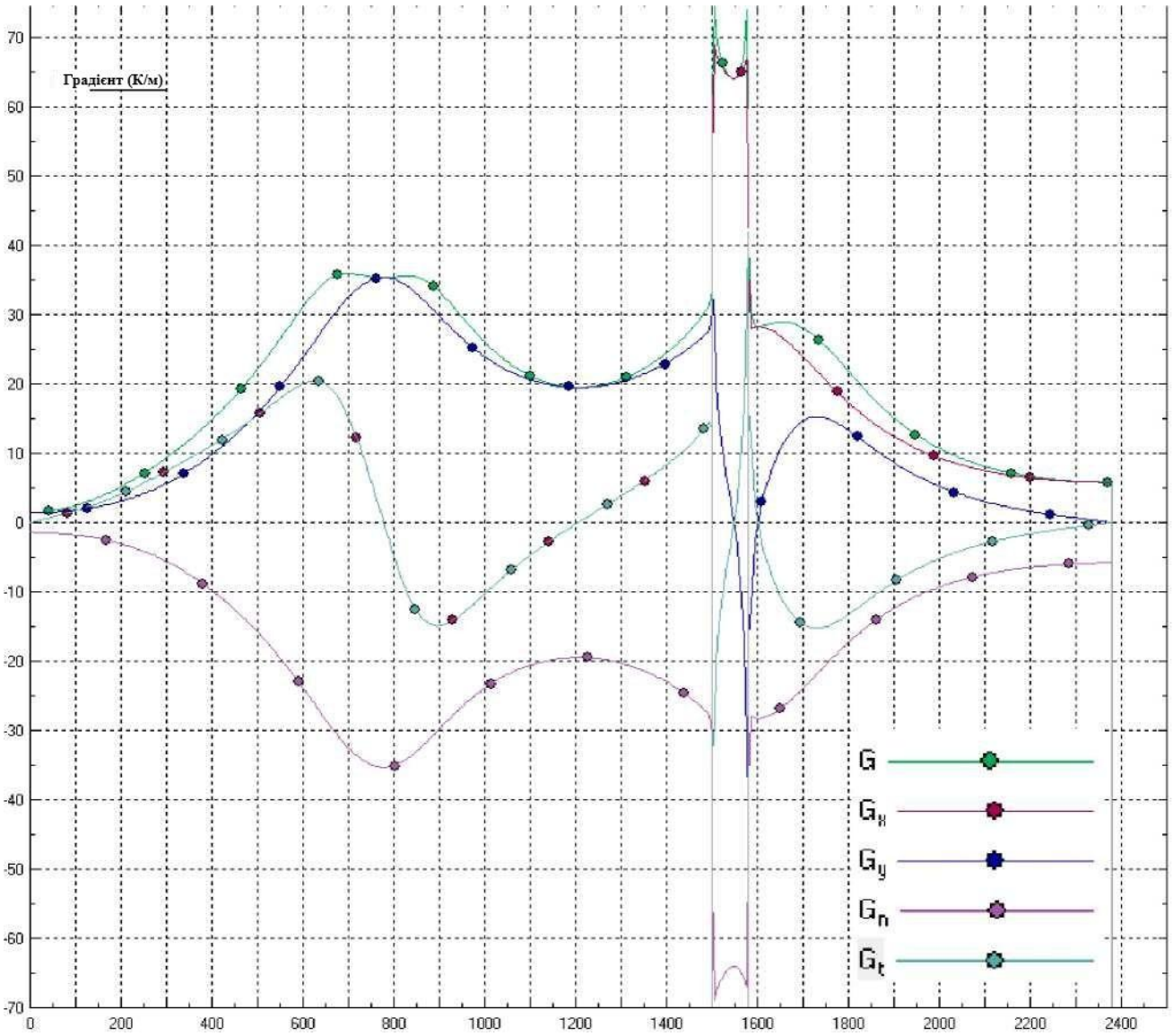


Рисунок 2.30 - Графік зміни градієнта температури сполучного вузла по довжині стінових елементів Н-14-2Г, В-4-11Н, Н-36Г та Н-39Л кроком 70 мм.

За результатами розрахунку температура точки роси при t_{int} = 21 °С та відносній вологості повітря φ_{int} = 55% [35]:

t_d =11,62°С < τ_{st} =13,02°С.

В результаті розрахунків визначили, що дані стінові панелі Н-14-2Г, В-4-11Н, Н-36Г та Н-39Л, як елемент конструкції, з невеликим запасом відповідають вимогам [38].

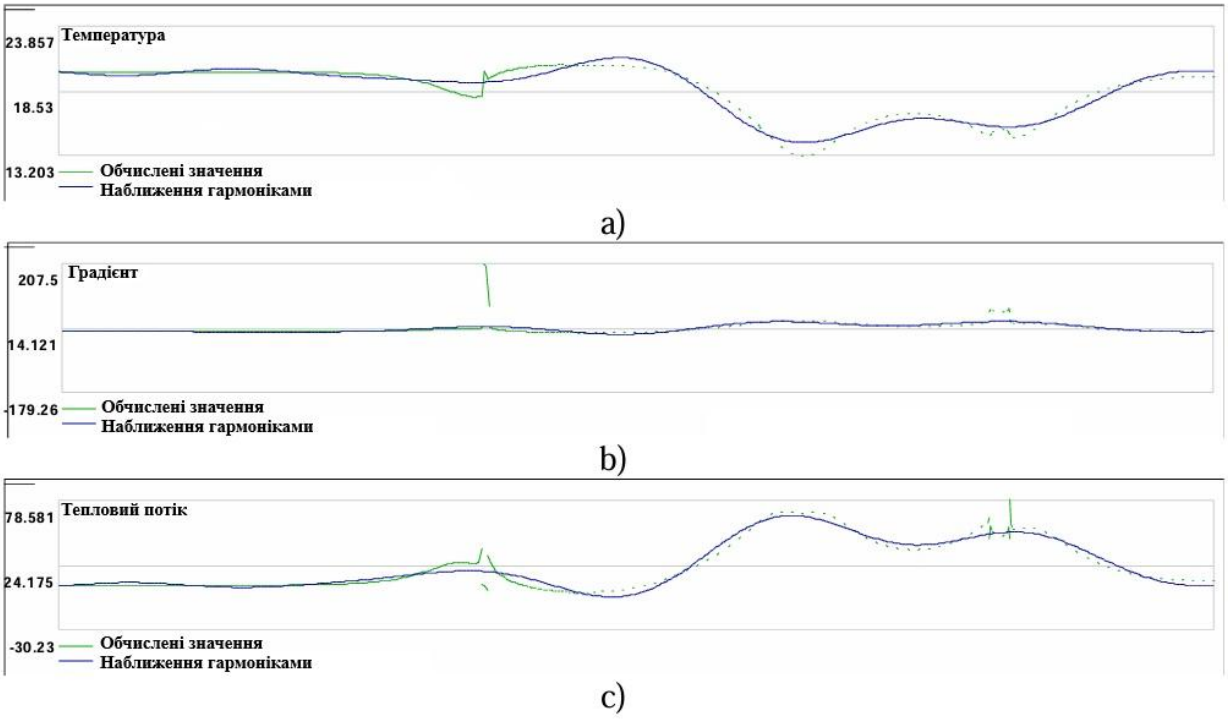


Рисунок 2.31 - Графік зміни гармоніки: a) температури; b) градієнт температури; c) щільність теплового потоку

2.4 Висновки за розділом 2

Конструкція стіни, 4 блок-секції повністю відповідає вимогам [38].

Таким чином, приведений опір теплопередачі фрагмента огороджувальної конструкції зовнішньої стіни $R_{\text{о}}^{\text{пр}}$ більший, ніж $R_{\text{о}}^{\text{норм}}$:

$R_{\text{о}}^{\text{пр}}$=3,2864(м²·°С/Вт) > $R_{\text{о}}^{\text{норм}}$ = 2.0894(м²·°С/Вт).

Умова вимог зводу правил виконується.

Температура повітря в кутовій кімнаті повинна бути не нижче +22 °С. Відповідно до вимог [38] таблиця 5 перепад між температурою внутрішнього повітря та температурою внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції зовнішніх стін повинен бути не більшим за 4 °С. Таким чином, температура внутрішньої поверхні зовнішніх стін повинна бути не нижче +18 °С. В

результаті проведеного розрахунку виявлено температури внутрішньої поверхні огороджувальної конструкції, нижчі за нормативне значення, зокрема:

- При врахуванні стіни Н-14-2Г товщиною 450 мм, відповідно до креслення вузлів 36/55, при температурі експлуатації лоджії мінус 25 °С, мінімальна температура внутрішньої гладі елемента конструкції В-14-11Н $\tau_{st(-25°C)}$ =13,76 С, а при температурі мінус 29 °С $\tau_{st(-28°C)}$ =13,02°С.

- При врахуванні стіни Н-14-2Г товщиною 350 мм, відповідно до креслення панелі, при температурі експлуатації лоджії мінус 25 °С, мінімальна температура внутрішньої гладі елемента конструкції В-14-11Н в зоні кута біля осі В-10 $\tau_{st(-25°C)}$ =13,45°С, а при температурі мінус 28 °С $\tau_{st(-28\ C)}$ = 13,26°С.

Конструкція не відповідає вимогам.

РОЗДІЛ 3
ВИЗНАЧЕННЯ КОНВЕКТИВНИХ ПОТОКІВ У ПРИМІЩЕННІ, ЩО ПРИЛЯГАЄ ДО ОСЕЙ В-10

Визначення конвективних потоків у типовому проєкті приміщення другої будівельної кутової спальні 4 блок-секції 134 серії, що прилягає до осей В-10 типового проєкту, виконано з метою знаходження застійних зон у вказаному приміщенні.

Цю задачу розв'язано в ході чисельного моделювання руху внутрішнього та зовнішнього повітря, а також теплообмінних процесів на основі методу скінченних об'ємів з використанням програмного комплексу Simcenter STAR-CCM+ 2022.1.

3.1 Розрахункові області

Для моделювання було побудовано 3 розрахункові області (рисунок 3.1):

- «Environment» (область типу «Fluid» для розрахунку руху зовнішнього повітря та теплообміну в деякому околі будівлі);
- «Walls» (область типу «Solid» для розрахунку теплопередачі через стіни приміщення);
- «Home» (область типу «Fluid» для розрахунку руху внутрішнього повітря та теплообміну в приміщенні).
- Область «Environment» (рисунок 3.2) була розділена на такі межі:
- «S_side» та «E_side» для підведення зовнішнього повітря із заданою швидкістю та температурою;
- «W_side» та «N_side» для відведення з розрахункової області зовнішнього повітря, що обтікає будівлю;
- «up» та «down», що обмежують розрахункову область зверху та знизу відповідно;
- «contact_wallS», «contact_wallE» та «walls_windows» для розрахунку

теплопередачі через стіни приміщення;

- «WINDOW1» та «WINDOW2» для розрахунку інфільтрації повітря та теплопередачі через вікна приміщення.

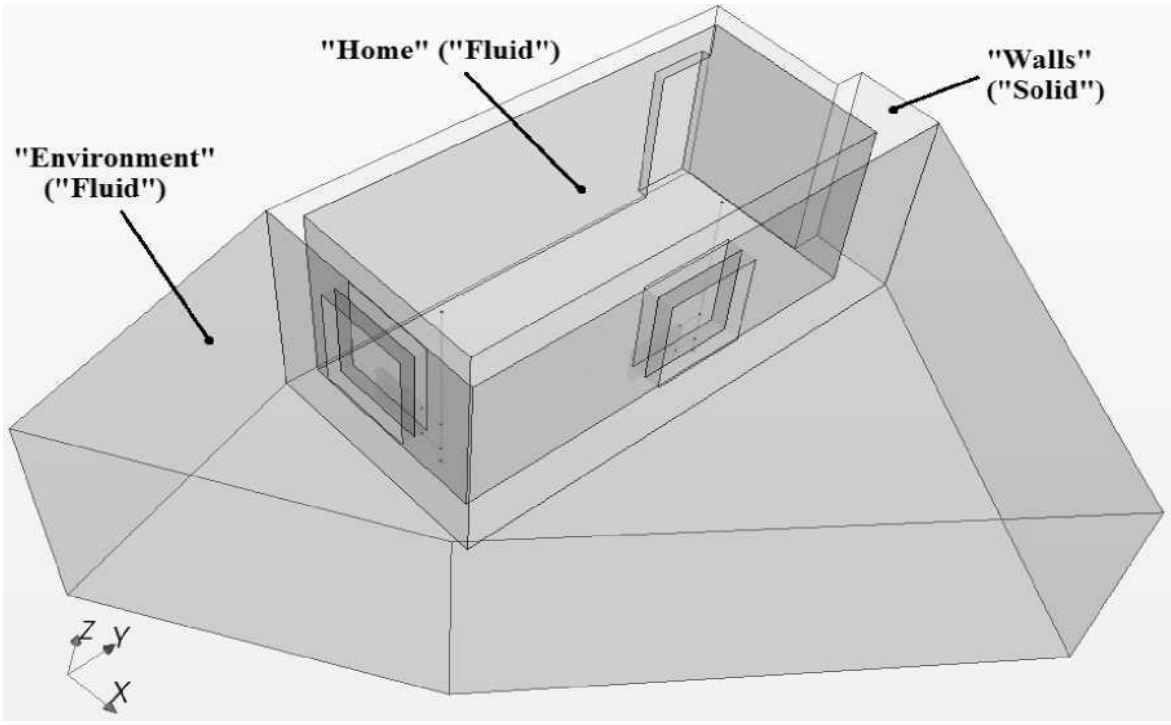


Рисунок 3.1 - Розрахункові області.

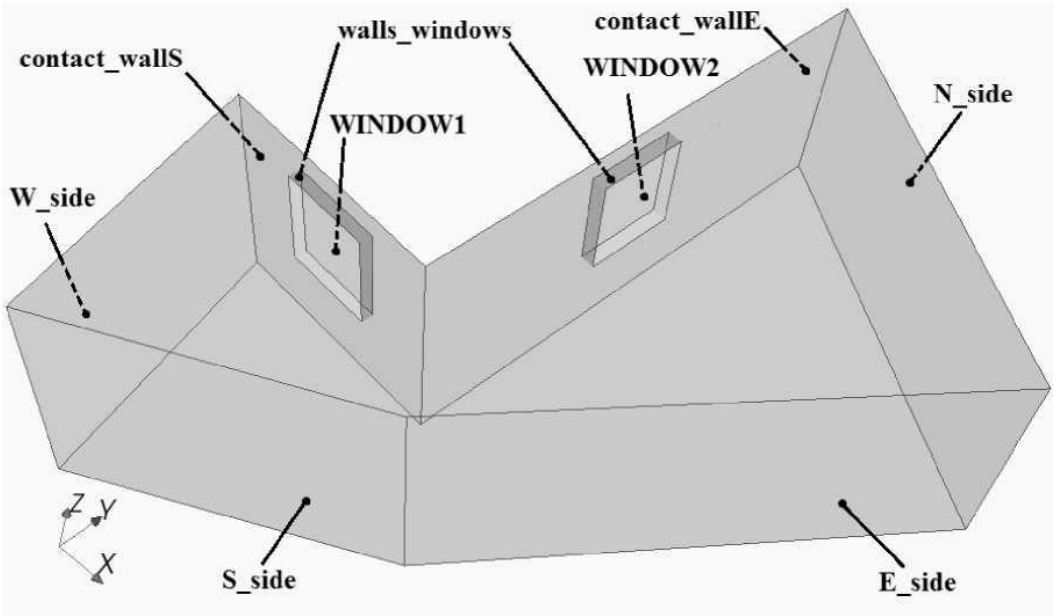


Рисунок 3.2 - Кордони області "Environment" (не показані межі "up" і "down", що позначають відповідно верхню та нижню площини області)

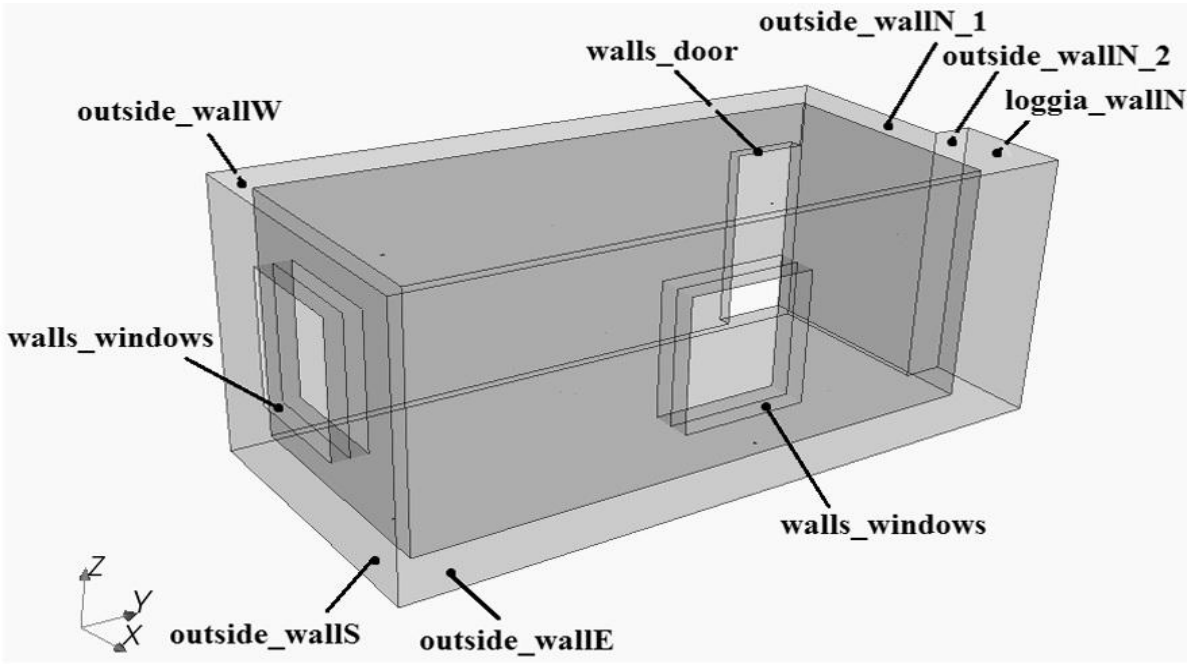


Рисунок 3.3 - "Зовнішні" межі області "Walls" (не показані межі "outside_potolok" і "outside_pol", що позначають відповідно верхню і нижню зовнішні площини області).

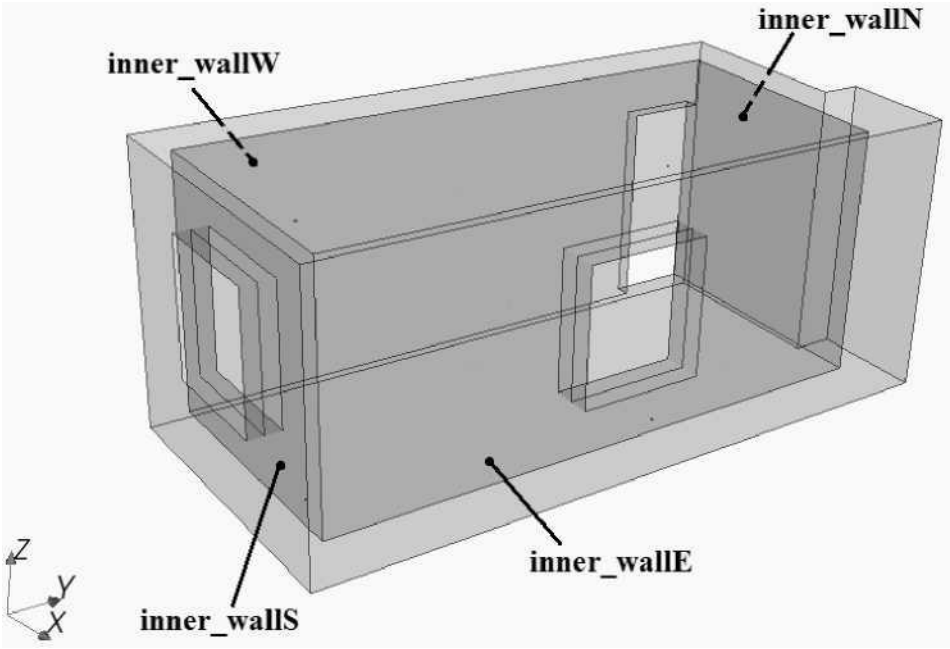


Рисунок 3.4 - "Внутрішні" межі області "Walls" (не показані межі "inner_potolok" і "inner_pol", що позначають відповідно верхню та нижню внутрішні площини області).

Область «Walls» (рисунки 3.3 та 3.4) складалася з таких меж:

- «outside_potolok» та «inner_potolok» для розрахунку теплопередачі через стелю кімнати;
- «outside_pol» та «inner_pol» для розрахунку теплопередачі через підлогу кімнати;
- «walls_door», «walls_windows», «outside_wallN_1», «outside_wallN_2», «loggia_wallN», «inner_wallN», «outside_wallW», «inner_wallW», «outside_wallS», «inner_wallS», «outside_wallE», «inner_wallE» для розрахунку теплопередачі через інші стіни приміщення.

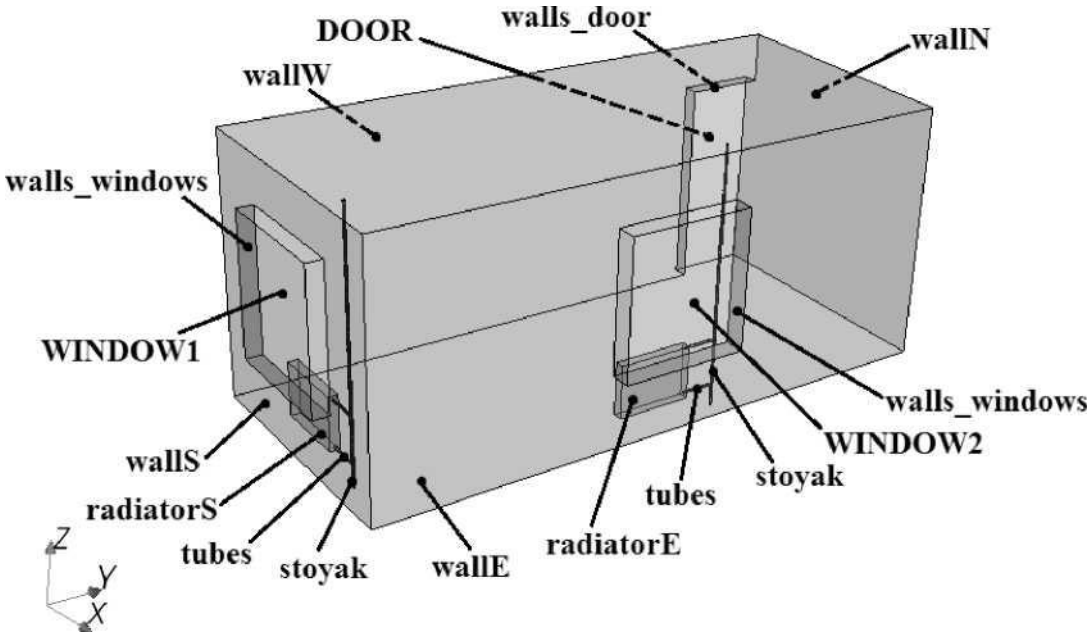


Рисунок 3.5 - "Внутрішні" межі області "Home" (не показані межі "potolok" і "pol", що позначають відповідно верхню і нижню площини області).

Область «Home» (рисунок 3.5) включала в себе такі межі:

- «pol», «potolok», «wallN», «wallE», «wallS», «wallW», «walls_windows» та «walls_door» для розрахунку теплопередачі через підлогу, стелю та інші стіни;
- «radiatorS», «radiatorE», «stoyak» та «tubes» для підведення тепла у приміщення від опалювальних приладів та трубопроводів;
- «WINDOW1» та «WINDOW2» для розрахунку інфільтрації повітря та

теплопередачі через вікна приміщення;

- «DOOR» для імітації руху повітря та теплообміну через дверний отвір (у розрахунках вважалося, що двері кімнати відчинені).

Розміри розрахункових областей обиралися згідно з даними, наведеними на кресленнях. Причому, протяжність розрахункової області «Environment» підібрана таким чином, щоб забезпечити більш-менш рівномірне обтікання зовнішніх поверхонь стін будівлі набігаючим повітрям.

3.2 Розрахункові сітки

Оскільки розв'язання диференціальних рівнянь математичної моделі руху повітря та теплообміну здійснювалося із застосуванням чисельних методів, попередньо була проведена дискретизація розрахункових областей з побудовою розрахункових сіток.

З метою досягнення необхідної точності розрахунків при розумних витратах обчислювальних ресурсів для дискретизації розрахункових областей використані сітки з багатогранних комірок (тип 1), а поблизу деяких поверхонь – сітки, що складаються з декількох шарів призматичних комірок багатокутної форми (тип 2). Основні параметри розрахункових сіток наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Основні параметри розрахункових сіток

Параметр розрахункової сітки	Значення параметра
1. Межа якості багатогранних комірок (тип 1)	0,4
2. Мінімальна якість грані (тип 1)	0,04
3. Відсоток заповнення зазору (тип 2)	26
4. Мінімальний відсоток товщини (тип 2	11
5. Відсоток зменшення шару (тип 2)	52
6. Маршовий кут на межі (тип 2), град.	51
7. Межа кута западини (тип 2), град.	0

Продовження таблиці 3.1

Параметр розрахункової сітки	Значення параметра
8. Межа опуклого кута (тип 2), град.	360
9. Мінімальна близькість поверхонь (тип 1)	0,06
10. Мінімальна якість поверхонь (тип 1)	0,02
11. Кривина поверхонь (тип 1)	35
12. Згладжувальний множник (тип 1)	1.1
13. Мінімальний розмір комірок (тип 1) Δ_{min}, мм	10
14. Бажаний розмір комірок (тип 1) Δ_{target}, мм	10
15. Щільність комірок сітки «Environment» (тип 1)	1
16. Щільність комірок сітки «Walls» (тип 1)	2
17. Щільність комірок сітки «Home» (тип 1)	3
18.Коэффициент роста ячеек сетки (тип 1)	1.1
19.Швидкість росту комірок з поверхні (тип 1)	1,4
20. Коефіцієнт розтягування шарів (тип 2) k_p	1,3
21.Кількість шарів призматичних комірок (тип 2) N_p	6
22. Сумарна товщина шарів (тип 2) δ_p, мм	11

Сітка 2-го типу побудована поблизу твердих непроникних поверхонь (стін та ін.) та поверхонь, що є інтерфейсними (суміжних поверхонь вищевказаних розрахункових областей). Її параметри задавалися залежно від розмірів даних поверхонь та розрахункової області, а також з урахуванням особливостей розрахунку пристінних течій у рамках використовуваної математичної моделі (таблиця 3.2).

Розмір комірок на кожній поверхні розрахункової області $\Delta_c=\Delta_{min}=\Delta_{target}$ обирався залежно від мінімального розміру даної поверхні та уточнювався, виходячи з умови досягнення сіткової незалежності розв'язку (таблиця 3.2).

Таблиця 3.2 – Параметри розрахункових сіток для кожної межі

Найменування розрахункової області або межі	Δ_c, мм	k_p	N_p	δ_p, *мм*
1. «Environment»				
1) «S_side»	311	_	_	__
2) «E_side»	311	_	_	__
3) «W_side»	210	_	_	__
4) «N_side»	210	_	_	__
5) «up»	210	_	_	__
6) «down»	210	_	_	__
7) «contact_wallS»	138	1,6	3	30
8) «contact_wallE»	138	1,6	3	30
9) «walls_windows»	19	1,6	3	30
10) «WINDOW1»	133	1,6	3	30
11) «WINDOW2»	133	1,5	3	30
2. «Walls»				
1) «outside_potolok»	342	1,1	3	33
2) «inner_potolok»	285	1,1	3	33
3) «outside_pol»	342	1,1	3	33
4) «inner_pol»	281	1,1	3	33
5) «walls_door»	18	1,1	3	33
6) «walls_windows»	19	1,1	3	33
7) «outside_wallN_1»	155	1,1	3	33
8) «outside_wallN_2»	49	1,1	3	33
9) «loggia_wallN»	135	1,1	3	33
10) «inner_wallN»	88	1,1	3	33
11) «outside_wallW»	210	1,1	3	33
12) «inner_wallW»	88	1,1	3	33
13) «outside_wallS»	137	1,1	3	33

Продовження таблиці 3.2

Найменування розрахункової області або межі	Δ_c, мм	k_p	N_p	δ_p, *мм*
14) «inner_wallS»	137	1,1	3	33
15) «outside_wallE»	137	1,1	3	33
16) «inner_wallE»	137	1,1	3	33
3. «Home»				
1) «pol»	283	1,6	3	33
2) «potolok»	283	1,6	3	33
3) «wallN»	88	1,6	3	33
4) «wallE»	137	1,6	3	33
5) «wallS»	137	1,6	3	33
6) «wallW»	88	1,6	3	33
7) «walls_windows»	19	1,6	3	33
8) «walls_door»	17	1,6	3	33
9) «radiatorS»	14	1,6	2	18
10) «radiatorE»	14	1,6	2	18
11) «stoyak»	3,6	1,3	2	7,6
12) «tubes»	3,6	1,3	2	7,6
13) «WINDOW1»	137	1,6	3	33
14) «WINDOW2»	137	1,6	3	33
15) «DOOR»	88	1,6	3	33

Як видно з рисунка 3.6, побудована за вищеперерахованих параметрів розрахункова сітка є досить сильно подрібненою (згущеною) в області «Home», особливо поблизу вікон приміщення (рисунок 3.7), а також біля опалювальних приладів та трубопроводів (рисунок 3.8). Загальна кількість комірок – близько 2,1 млн.

Для області «Environment» отримана більш «груба» розрахункова сітка (рисунок 3.6), яка, тим не менш, є достатньою для моделювання обтікання повітрям зовнішніх поверхонь будівлі.

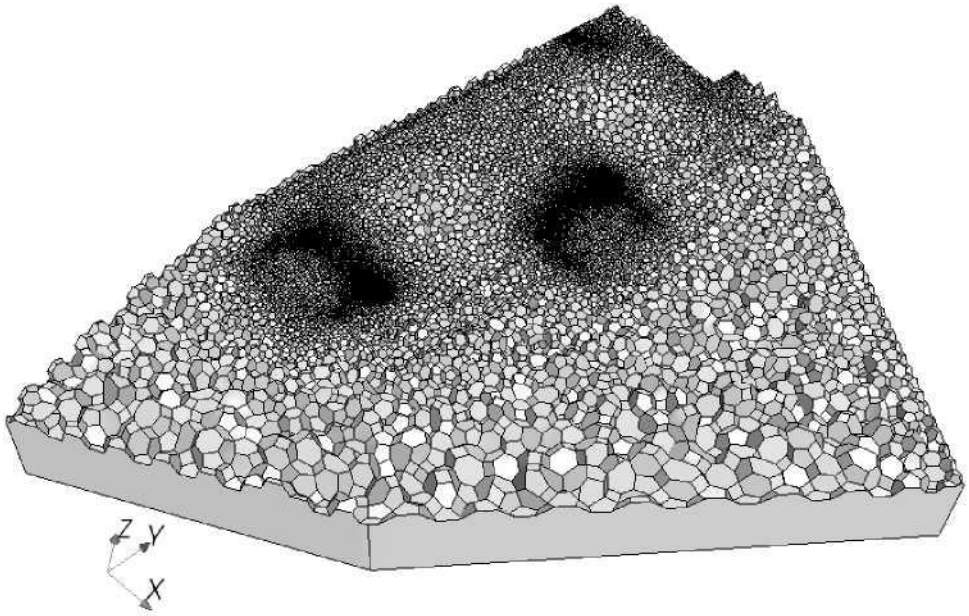


Рисунок 3.6 - Розрахункова сітка в деякому перерізі

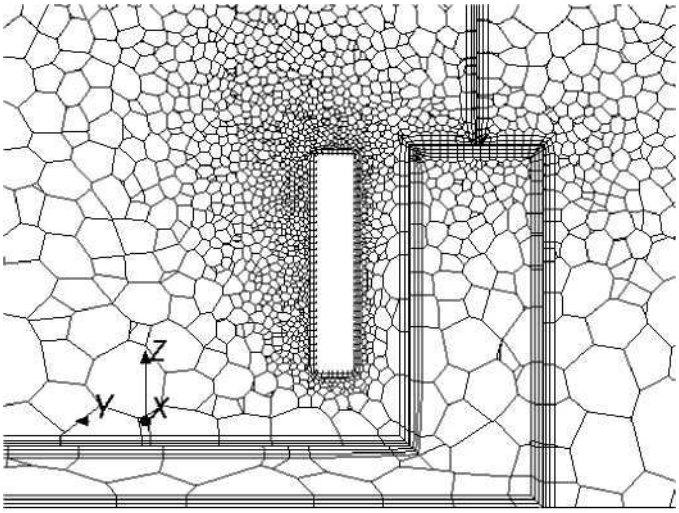


Рисунок 3.7 - Розрахункова сітка поблизу радіатора та вікна

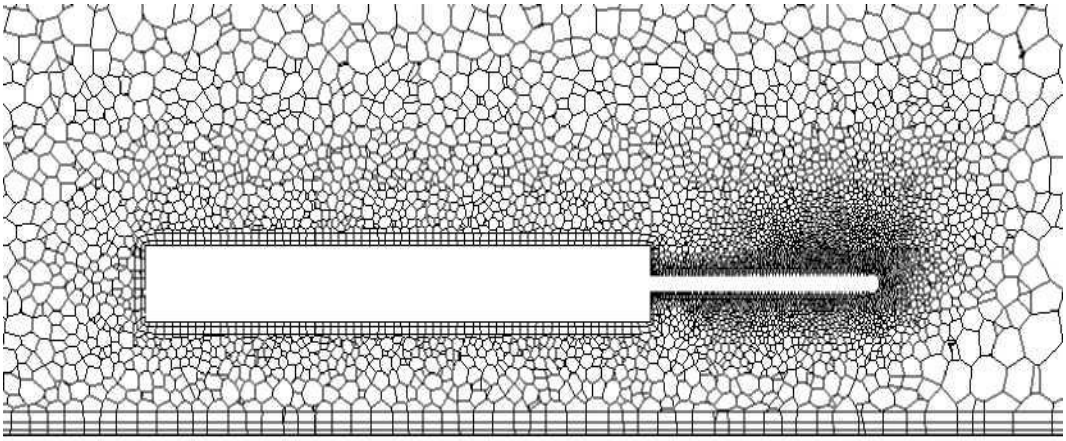


Рисунок 3.8 - Розрахункова сітка поблизу радіатора та трубопроводу

3.3 Рівняння математичної моделі. Фізичні властивості повітря та матеріалу стін

Математична модель сталого руху в'язкого стисливого повітря та сталого теплообміну включала в себе:

1. закон збереження речовини – осереднене за Рейнольдсом диференціальне рівняння нерозривності;
2. закон збереження кількості руху – осереднені за Рейнольдсом диференціальні рівняння Нав'є-Стокса (RANS);
3. закон збереження енергії – осереднене за Рейнольдсом диференціальне рівняння енергії;
4. рівняння стану ідеального газу (рівняння Клапейрона);
5. диференціальні рівняння двошарової Realizable k−є моделі турбулентності для кінетичної турбулентної енергії та швидкості її дисипації;
6. гіпотеза Буссинеска про ізотропність турбулентності для знаходження турбулентних напружень;
7. модель Вольфштейна, функція змішування Джонгена та гібридні пристінні функції Рейхардта для швидкості й температури (для розрахунку пристінних течій та теплообміну).

Для моделювання природної конвекції у приміщенні в математичній моделі враховувалися стисливість газу та дія однієї масової сили – сили тяжіння (прискорення вільного падіння $g=9{,}81 м/с^2$).

Необхідно зазначити, що при отриманні в розрахунках нульового значення кінетичної турбулентної енергії (а, отже, і нульових значень турбулентних напружень) у деякій точці розрахункової області рівняння Рейнольдса (RANS) перетворюються на рівняння Нав'є-Стокса. Це уможливлювало використання описаної вище математичної моделі навіть у тих зонах розрахункових областей, де передбачався ламінарний режим сталого руху повітря.

Основні фізичні властивості повітря та матеріалу стін, що

використовувалися в розрахунках, наведено в таблицях 3.3 та 3.4 відповідно.

При моделюванні теплопередачі густина матеріалу стін вважалася постійною.

Таблиця 3.3 – Основні фізичні властивості повітря

Параметр	Значення
Динамічний коефіцієнт молекулярної в'язкості, Па·с	0,0000195
Молярна маса, кг/кмоль	28,88
Теплопровідність, Вт/(м·К)	0,02615
Питома теплоємність при постійному тиску, Дж/(кг·К)	1004,8

Таблиця 3.4 – Основні фізичні властивості матеріалу стін

Параметр	Значення
Густина, кг/м³	2230
Теплопровідність, Вт/(м·К)	0,111
Питома теплоємність при постійному тиску, Дж/(кг·К)	745

3.4 Граничні умови

Для моделювання обтікання повітрям зовнішніх поверхонь будівлі, згідно з [40], на межах «E_side» та «S_side» розрахункової області «Environment» було задано:

- швидкість руху повітря 0,8 м/с;
- температура повітря -32°C;
- інтенсивність турбулентності 0,01;
- лінійний турбулентний масштаб 3 м;
- напрямок руху повітря (рисунок 3.9).

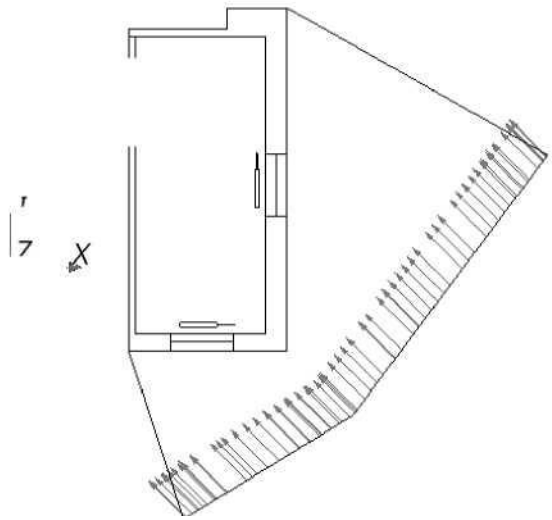


Рисунок 3.9 - Напрямок руху повітря на межах «E_side» та «S_side» розрахункової області «Environment»

Причому повітря «відводилося» з розрахункової області «Environment» через межі «W_side» та «N_side», на яких було визначено надлишковий статичний тиск повітря 0 Па (при атмосферному тиску 101325 Па), а також для можливих зворотних течій на цих межах:

- температура повітря -28°C;
- інтенсивність турбулентності 0,02;
- лінійний турбулентний масштаб 3 м;
- напрямок руху повітря – по нормалі до відповідної межі.

Для забезпечення інфільтрації повітря та теплопередачі через вікна приміщення на «пористих» інтерфейсах «Environment: WINDOW1 – Home: WINDOW1» та «Environment: WINDOW2 – Home: WINDOW2» (відповідно до [38]) було задано:

- термічний опір 0,092 (м²·К)/Вт;
- пористість 0,001535 (відношення площі щілин до площі вікна);
- коефіцієнт в'язкого опору 14350 м/с (для забезпечення повітропроникності 17 м³/(м²·год) при перепаді тиску 100 Па);
- коефіцієнт інерційного опору 0.

Для меж «up» та «down» розрахункової області «Environment» було

встановлено умову «Площина симетрії».

Для меж, що є твердими стінками, було задано умови «непроникності» та «непроковзування» (рівність нулю всіх проєкцій вектора швидкості руху повітря).

При моделюванні теплопередачі через стіни даного приміщення контактний термічний опір вважався рівним нулю на «контактних» інтерфейсних поверхнях (фактичний термічний опір визначався в процесі розв'язання відповідно до вихідних даних):

- «Environment: contact_wallE – Walls: outside_wallE»;
- «Environment: contact_wallS – Walls: outside_wallS»;
- «Environment: walls_windows – Walls: walls_windows»;
- «Walls: inner_pol – Home: pol»;
- «Walls: inner_potolok – Home: potolok»;
- «Walls: inner_wallE – Home: wallE»;
- «Walls: inner_wallN – Home: wallN»;
- «Walls: inner_wallS – Home: wallS»;
- «Walls: inner_wallW – Home: wallW»;
- «Walls: walls_windows – Home: walls_windows»;
- «Walls: walls_door – Home: walls_door».

Крім того, в розрахунковій області «Walls» задавалася певна температура T_w, С на кожній з меж:

- «loggia_walllN» -25°С (відповідно до температури повітря в лоджії за ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія»);
- «outside_pol» (залежно від температури повітря в приміщенні, розташованому під даною спальнею за [38]);
- «outside_potolok» (залежно від температури повітря в приміщенні, розташованому над даною спальнею за [38]);
- «outside_wallN_1» 19°С (відповідно до температури повітря в кухні за [38]);
- «outside_wallN_2» 19°С (відповідно до температури повітря в

кухні за [38]);

- «outside_wallW» 21°C (відповідно до температури повітря в іншій спальні за [38]).

Щоб моделювати теплонадходження від опалювальних приладів та трубопроводів системи опалення в розрахунковій області «Home», на межах «radiatorE» та «radiatorS» задавалася густина теплового потоку q,Вт/м^2 (залежно від поверху, що розглядається, та відповідно до проєктних даних), на межах «stoyak» та «tubes» – температура стінок T_w,°C, що дорівнює 45°C (температура теплоносія в трубопроводах 87°C).

Таблиця 3.5- Теплові параметри на деяких межах

Межі	Параметр	1-й поверх	середній поверх	10-й поверх
«Walls»				
«outside_pol»	T_w, °C	5	22	22
«outside_potolok»	T_w, °C	22	22	19
«Home»				
«radiatorE»	q, Вт/ м^2	1753	1203	1145
«radiatorS»	q, Вт/ м^2	1753	1203	1145

Розрахунки проводилися для 3 варіантів розташування спальні – 1-й поверх, середній поверх та 10-й поверх. Залежно від варіанту, що розглядався, змінювалися значення теплових параметрів на деяких межах розрахункових областей «Walls» та «Home» (таблиця 3.5).

На межі «DOOR» розрахункової області «Home» було задано нульовий надлишковий статичний тиск повітря та такі умови для можливих зворотних течій на цій межі:

- температура повітря 21°C (за [38]);
- інтенсивність турбулентності 0;
- лінійний турбулентний масштаб 2,8 м;

- напрямок руху повітря – по нормалі до відповідної межі.

3.5 Параметри розв'язувача

Оскільки рух повітря та теплообмін розглядалися як сталі (усталені), при заданні початкових умов для кожної комірки всіх розрахункових областей метою було лише зменшення часу, необхідного для отримання збіжного розв'язку задачі (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6 – Початкові умови

Параметр	Значення
Надлишковий статичний тиск, Па	0
Інтенсивність турбулентності	0
Масштаб турбулентної швидкості, м/с	1
Масштаб турбулентності, м	3
Температура, °С	20
Швидкість руху повітря, м/с	0,1

Для апроксимації членів рівнянь математичної моделі використано неявні схеми другого порядку (для конвективних членів рівнянь – «протипотокові»).

Розв'язки отримано ітераційним методом за допомогою алгебраїчного багатосіткового розділеного розв'язувача SegregatedFlow (коефіцієнти нижньої релаксації наведено в таблиці 3.7) на основі методу скінченних об'ємів, алгоритму SIMPLE та інтерполяції Рхі та Чоу для зв'язку тиску та швидкості на розрахункових сітках зі суміщеними для різних змінних вузлами.

У кожному розрахунку збіжність розв'язку контролювалася за рівнем нормованих середньоквадратичних нев'язок для всіх диференціальних рівнянь математичної моделі, а також за стабілізацією деяких локальних та інтегральних характеристик (наприклад, густин теплових потоків через стіни приміщення q,Вт/м^2, температури повітря в точці, розташованій приблизно в центрі спальні Т∗, С та ін.).

Таблиця 3.7 – Коефіцієнти нижньої релаксації

Параметр	Коефіцієнт нижньої релаксації
Швидкість	0,6
Тиск	04
Енергія (області «Environment» та «Home»)	0,91
Енергія (область «Walls»)	0,98
Модель турбулентності	0,82
Турбулентна в'язкість	1

3.6 Аналіз результатів моделювання

З рисунка 3.10 видно, що в розрахунках було забезпечено практично рівномірне обтікання зовнішніх поверхонь будівлі. Деяке збільшення швидкості повітряного потоку помічено поблизу вихідних меж «W_side» та «N_side» області «Environment».

У ході моделювання визначено масові витрати повітря через вікна приміщення: для «WINDOW1» 0,00069 кг/с, для «WINDOW2» 0,00083 кг/с (однакові значення для всіх розглянутих поверхів). Приклад інфільтрації через межу «WINDOW1» показаний на рисунку 3.11.

У кутах віконних прорізів виявлено зони відриву потоку (рисунок 3.10), в яких відзначено невелике зменшення швидкості руху повітря, що інфільтрується (рисунок 3.11).

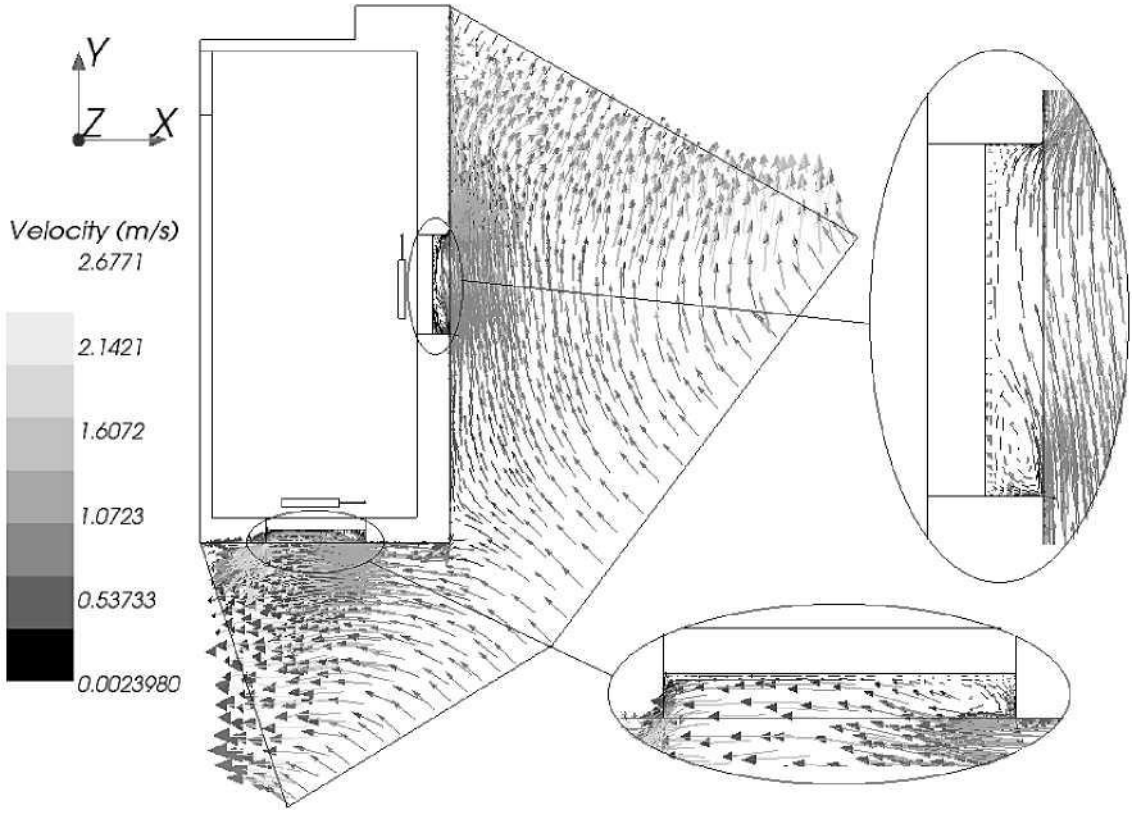


Рисунок 3.10 - Векторне поле швидкості в розрахунковій області «Environment» (переріз на висоті, що дорівнює приблизно половині висоти вікна 1-го поверху.

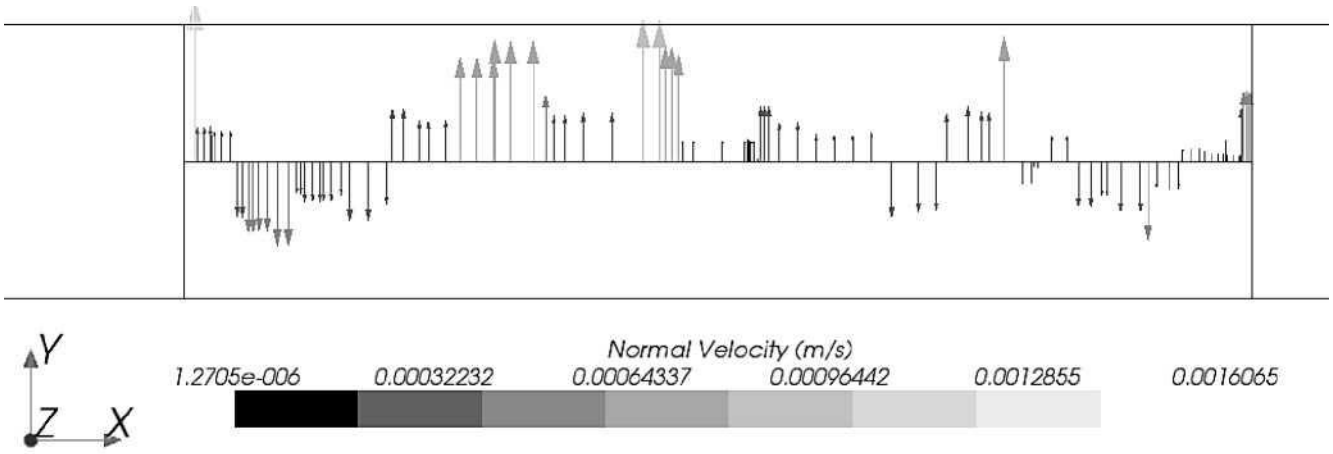


Рисунок 3.11 - Векторне поле V_y проєкції швидкості на межі «WINDOW1» (переріз на висоті, що дорівнює приблизно половині висоти вікна 1-го поверху).

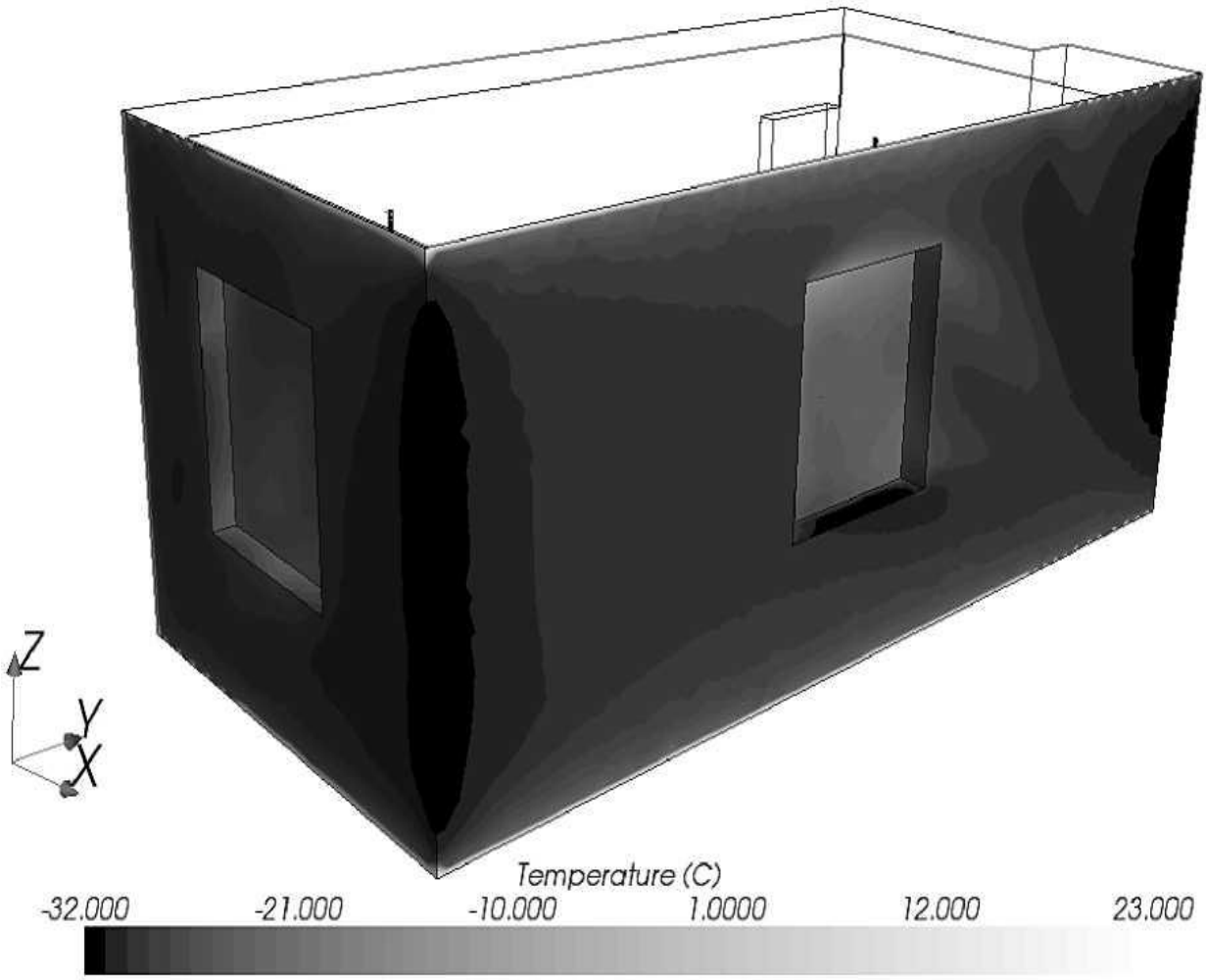


Рисунок 3.12 - Розподіл температури на зовнішніх поверхнях стін та вікон приміщення, що обтікаються холодним повітрям (середній поверх).

Розподіл температури на межах «contact_wallE», «contact_wallS», «WINDOW1», «WINDOW2», «walls_windows» незначно відрізняється для всіх розглянутих поверхів. Виявлено 2 зони з мінімальною температурою стін (рисунок 3.12) – кут на перетині меж «contact_wallE» та «contact_wallS» і кут на перетині меж «contact_wallE» та «loggia_wallN». У першому випадку позначається віддаленість від віконних прорізів та близькість до вхідних меж розрахункової області «Environment», а в другому випадку – вплив низької температури стіни балкона «loggia_wallN». Аналогічна зона відсутня в куті на перетині меж «contact_wallS» та «outside_wallW» через приплив тепла від стіни сусідньої спальні «outside_wallW».

Як і передбачалося, підвищення температури розглянутих меж (рисунок 3.12) досягається у віконних прорізах «WINDOW1» та «WINDOW2», а також поблизу стін «outside_wallW» (температура 21°C), «outside_pol» та «outside_potolok» (температура для середнього поверху 23°C).

Отримані значення розрахункової температури T^* повітря в точці, розташованій приблизно в центрі спальні, відповідають допустимим, згідно з [5] (для 1-го поверху 23,4°C, для середнього поверху 22,6°C, для 10-го поверху 22,4°C).

Водночас, у ході аналізу температурних полів у перерізах, розташованих на різній висоті z від підлоги кімнати для 1-го, середнього та 10-го поверхів (рисунки 3.13, 3.14) виявлено, що:

1. У досліджуваному приміщенні є зони з температурою повітря, що відрізняється від оптимальної (<(20..22)°C):

- в утвореному стінами «inner_wallN» та «inner_wallE» куті поблизу стелі приміщення при z=2,5м (у зв'язку з близькістю до балкона);
- поруч із віконними склопакетами при z=1,5м, особливо поруч із вікном «WINDOW1» (через інфільтрацію холодного повітря);
- між стояками й опалювальними приладами та відповідними стінами при z=0,5м, особливо поруч із вікном «WINDOW1»;
- поблизу підлоги приміщення при z=0,1м у куті, утвореному стінами «inner_wallS» та «inner_wallE», а для середнього поверху – також у куті, утвореному стінами «inner_wallN» та «inner_wallE».

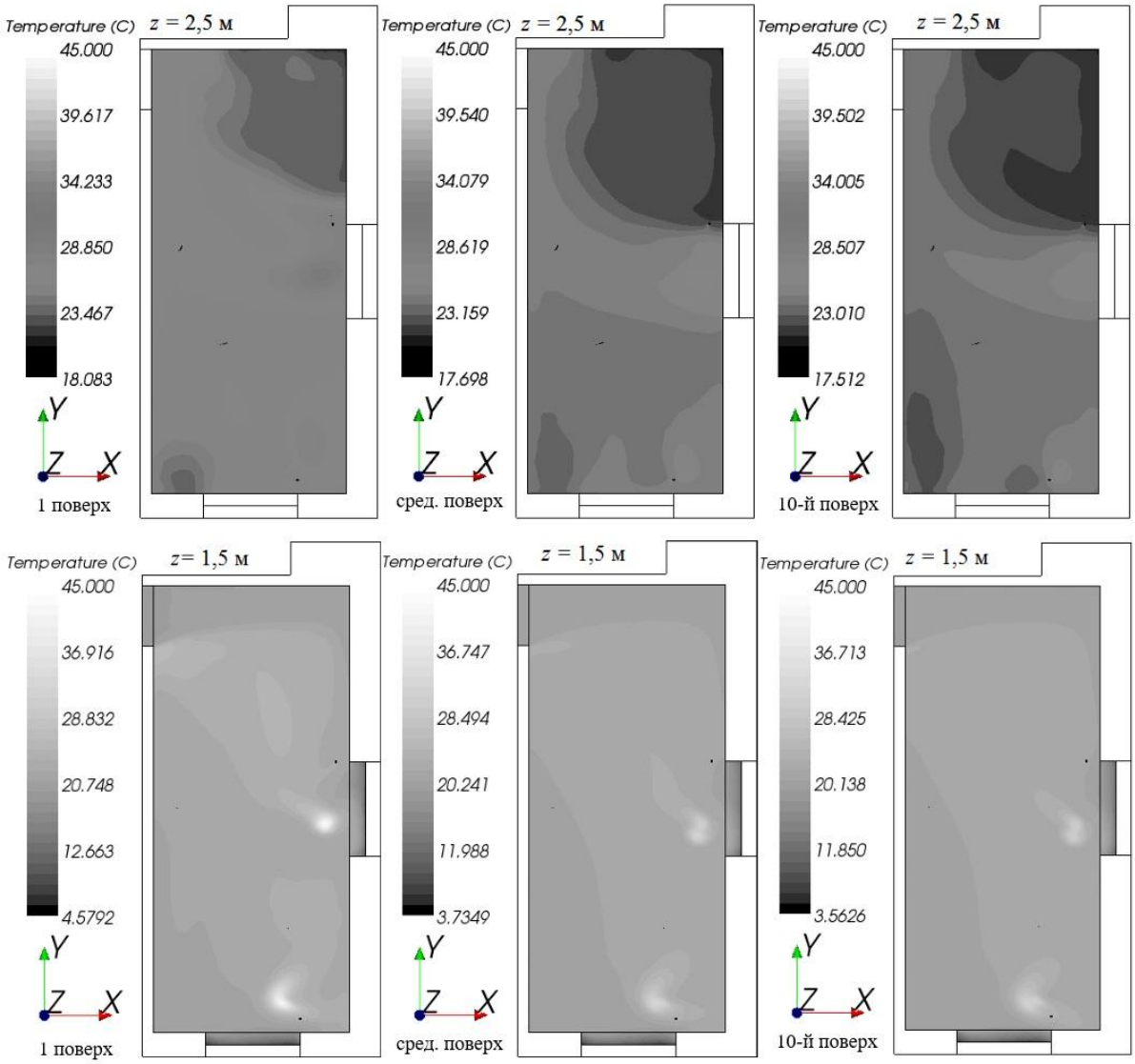


Рисунок 3.13 - Температурне поле в перерізах кімнати на висоті z=2,5м та z=1,5м від підлоги для 1-го, середнього та 10-го поверхів.

Дані області є більш вираженими для середнього та 10-го поверхів (а температура в них нижча, ніж для 1-го поверху).

2. Видається правдоподібним підвищення температури повітря порівняно з температурою в центрі приміщення T^* у місцях, розташованих у безпосередній близькості від опалювальних приладів та стояків, у тому числі, в перерізах на висоті z=1,5м та z=0,5м.

Шляхом інтегрування розрахункового векторного поля швидкості руху повітря отримано лінії току, за якими зручно судити про параметри та розташування конвективних потоків у приміщенні (рисунки 3.14, 3.15):

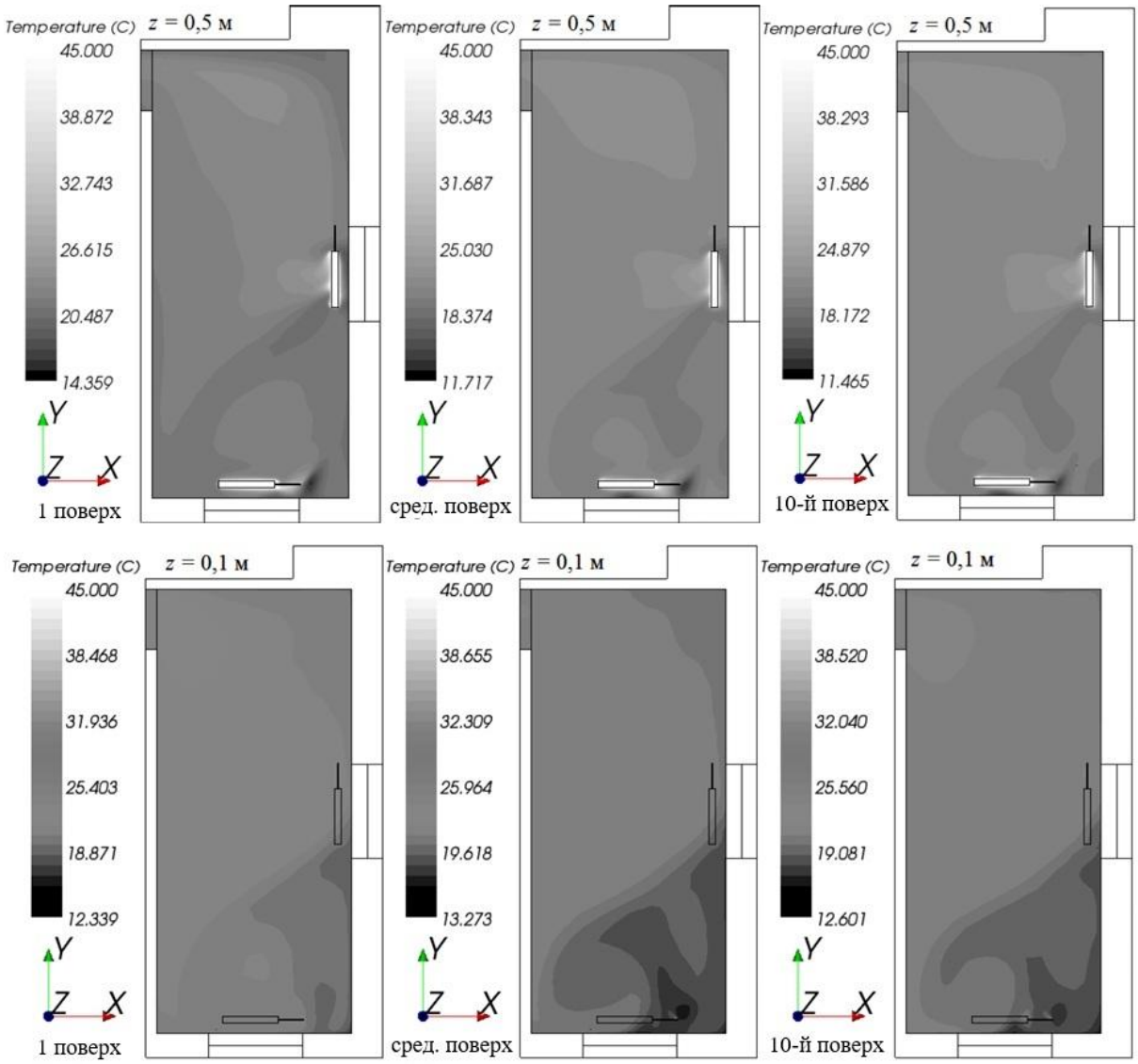


Рисунок 3.14 – Температурне поле в перерізах кімнати на висоті z=0,5м та z=0,1м від підлоги для 1-го, середнього та 10-го поверхів

1) Найбільші швидкості руху повітря (аж до 2 м/с) отримано у дверному отворі та поруч із ним, зокрема, в околі нижньої зони кута, утвореного стінами «inner_wallN» та «inner_wallE» (проте слід зазначити, що навіть у цій зоні потоки огинають кут по криволінійних траєкторіях, що призводить до утворення низькошвидкісних зон відриву безпосередньо в куті);

2) Встановлено зони з найменшими значеннями швидкості руху повітря (не більше 0,07-0,08 м/с): у віконних прорізах, кутах приміщення, а також поблизу деяких стін приміщення.

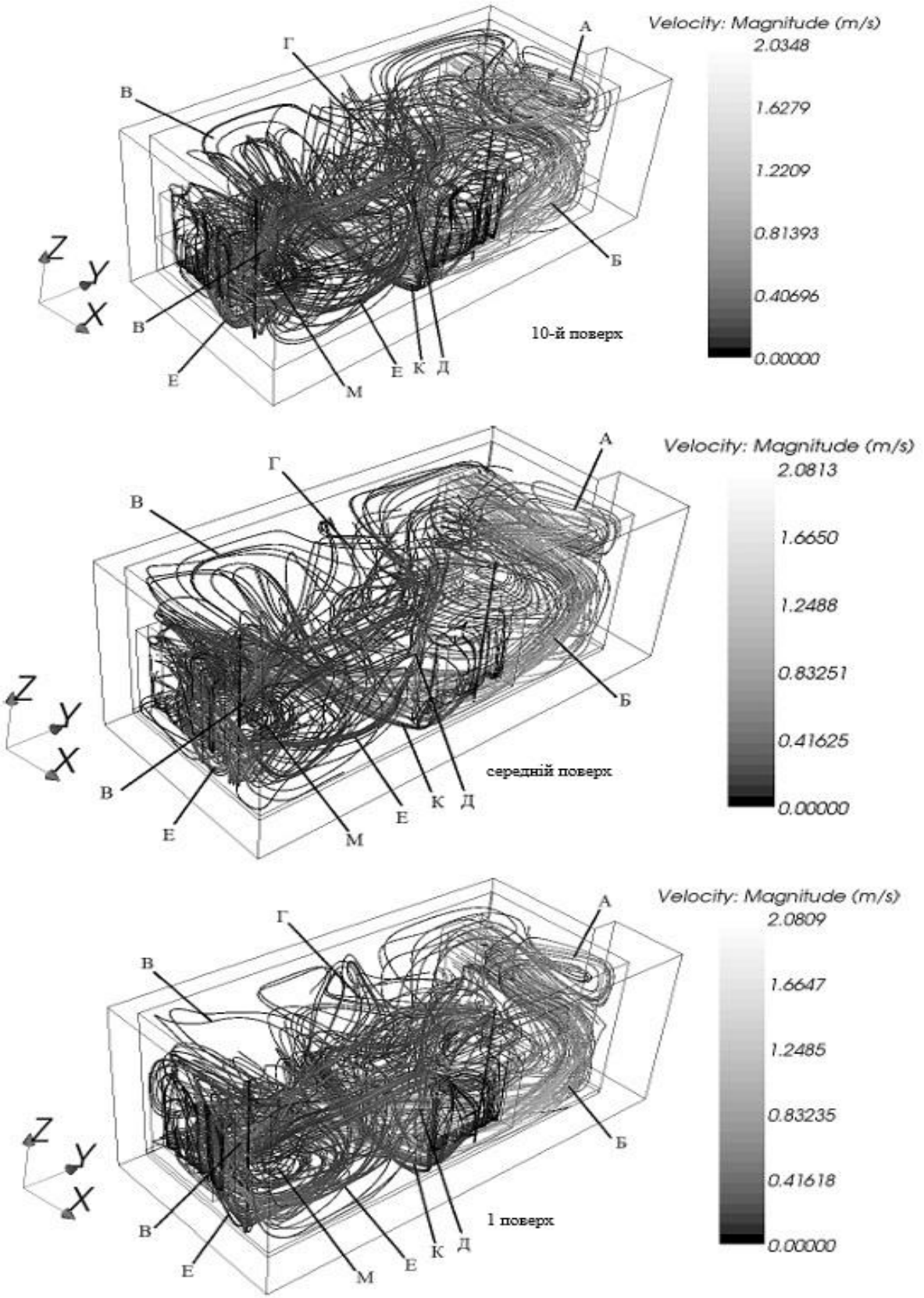


Рисунок 3.15 - Лінії току в кімнаті для 1-го, середнього та 10-го поверхів

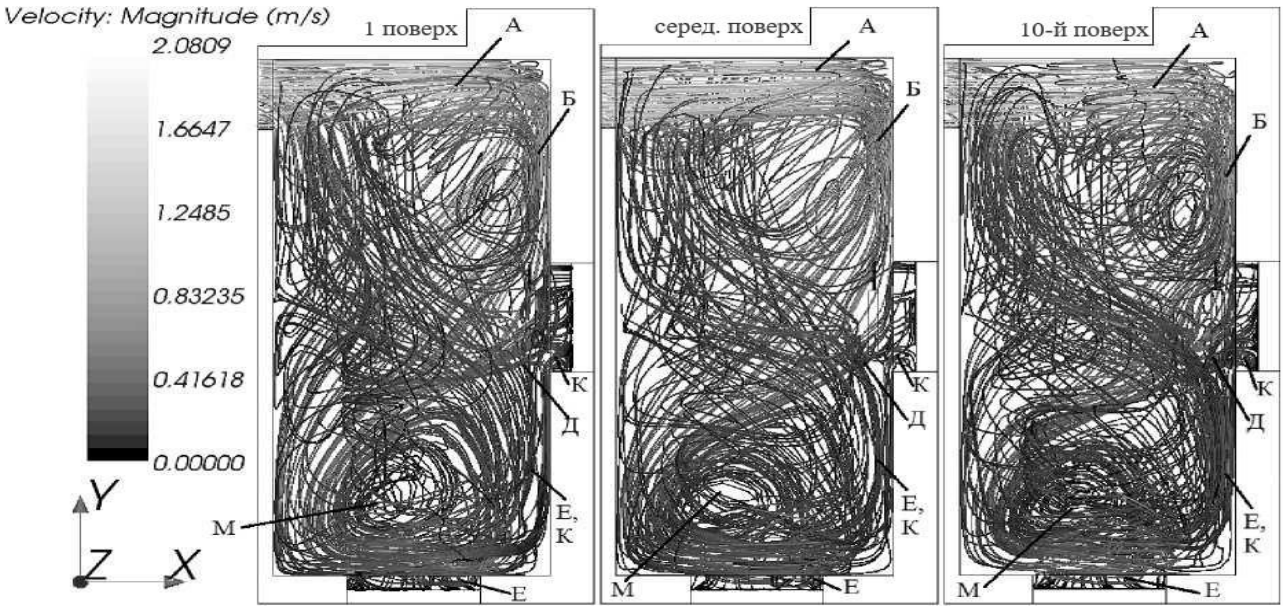


Рисунок 3.16 - Лінії току в кімнаті для 1-го, середнього та 10-го поверхів (вид зверху)

3) У приміщенні виявлено формування трьох низькошвидкісних вихорів:

- великий горизонтальний вихор А біля стіни «inner_wallN»,
- великий вертикальний вихор М біля опалювального приладу «radiatorE»,
- маленький горизонтальний вихор над віконним прорізом «WINDOW2» (на рисунках не показаний).

Також виявлено застійні зони в кутах кімнати (зокрема, в куті, утвореному стінами «inner_wallN» та «inner_wallE»). Причому, картина течії мало відрізняється для приміщень, розташованих на 1-му, середньому та 10-му поверхах. У ході аналізу конвективних потоків та векторного поля швидкості встановлено, що:

- Тепле повітря з коридору (потік Б) швидко надходить до кімнати через дверний проріз «DOOR» (переважно через його верхню половину), трохи відхиляючись у міру руху до стіни «inner_wallN». Причому частина його повільно опускається та повертається до коридору. Наближаючись до стіни «inner_wallE», течія повітря розділяється. Верхній потік, досягнувши стелі, рухається вздовж неї від стіни «inner_wallN» зі зміщенням у бік дверного

отвору, утворюючи низькошвидкісний вихор (А), який опускається до підлоги в околі вікна «WINDOW2» і потім відхиляється в бік дверей «DOOR». Нижній потік (Б), досягнувши підлоги, розвертається і рухається по діагоналі до стіни «inner_wallW» і в кут, утворений стінами «inner_wallW» та «inner_wallS», а потім піднімається до вікна «WINDOW1» і, охолонувши, спускається до підлоги між опалювальним приладом «radiatorS» та стіною «inner_wallS».

- Нагріте опалювальним приладом «radiatorS» повітря (В) піднімається до стелі (з невеликим відхиленням у кут, утворений стінами «inner_wallE» та «inner_wallS»), розвертається і рухається вздовж неї майже паралельно стіні «inner_wallS». Досягнувши стіни «inner_wallW» і дещо охолонувши, потік знову розвертається. Частина його (Г), опускаючись, рухається вздовж стіни «inner_wallW» і потрапляє через нижню половину дверного отвору до коридору. Інша частина (Д) змішується з нагрітим від опалювального приладу «radiatorE» повітрям, яке піднімається до стелі і прямує вздовж неї спочатку до стіни «inner_wallW», а потім об'єднується з потоком повітря, що надходить із коридору до кімнати через верхню половину дверного отвору.

- Потоки холодного зовнішнього повітря (Е і К) повільно проникають у приміщення через віконні склопакети «WINDOW1» та «WINDOW2» (інфільтрація) і спускаються до підлоги між опалювальними приладами («radiatorE» та «radiatorS») та відповідними стінами («inner_wallE» та «inner_wallS»). Трохи нагрівшись, вони проходять під опалювальними приладами та віддаляються від цих стін уздовж поверхні підлоги.

- Причому, потік від вікна «WINDOW1» (Е) розвертається на 180°, повертається до опалювального приладу «radiatorS» і піднімається приблизно на висоту підвіконня, утворюючи вихор з вертикальною віссю обертання (М). Далі він рухається до іншого опалювального приладу («radiatorE»), огинаючи по криволінійній траєкторії кут, утворений стінами "inner_wallS" та "inner_wallE". Там він розділяється на 2 частини (одна частина об'єднується з потоком Г, інша – з потоком Д).

- Потік К від вікна "WINDOW2", піднімаючись над поверхнею підлоги, рухається у напрямку до вихору М. Досягнувши його, він різко знижується під дією градієнта тиску, а потім, знову піднімаючись до стелі, віддаляється до кута, утвореного стінами "inner_wallE" та "inner_wallS". Частина його об'єднується з потоком В, а інша повертається вздовж стіни "inner_wallE" до вікна "WINDOW2", де змішується з потоком Д, утворюючи невеликий вихор (вісь вихору паралельна ОХ).

На рисунку 3.17 показані лінії току в кімнаті поблизу та вздовж стін «inner_wallN» та «inner_wallE» для 1-го, середнього та 10-го поверхів. У всіх випадках помічено формування згаданого вище великого низькошвидкісного вихору А, криволінійна вісь якого, починаючись на стіні «inner_wallN», відхиляється спочатку в бік підлоги кімнати, а потім – до дверного прорізу «DOOR». Також зафіксовано інтенсивний потік повітря від дверного прорізу, який після досягнення стіни «inner_wallE», «розтікається» по ній вгору та вниз із віддаленням від стіни «inner_wallN». Примітно, що безпосередньо в кутовій зоні або не спостерігається течії повітря взагалі, або швидкість його руху близька до нуля, тобто утворюється застійна зона (особливо широка поблизу підлоги та стелі кімнати).

Як випливає з розподілу температури на стінах «inner_wallN» та «inner_wallE» для 1-го, середнього та 10-го поверхів (рисунок 3.18), у зазначеній застійній області температура стін виявляється помітно нижчою за оптимальну (<(20..22°С)). Крім того, великі зони низької температури стіни «inner_wallE» (аж до (7..8°С)) виявлено в нижній її частині (ближче до вікна «WINDOW1»). Площа цих зон зростає зі збільшенням поверховості приміщення, що розглядається.

Судячи з представленого на рисунку 54 графіка залежності температури стіни від висоти z для кута кімнати, утвореного стінами «inner_wallN» та «inner_wallE», для всіх розглянутих поверхів температура виявляється приблизно однаковою в діапазоні висот z=0,3..1,3м (збільшується зі зростанням z від 17,4°С до 18,3°С).

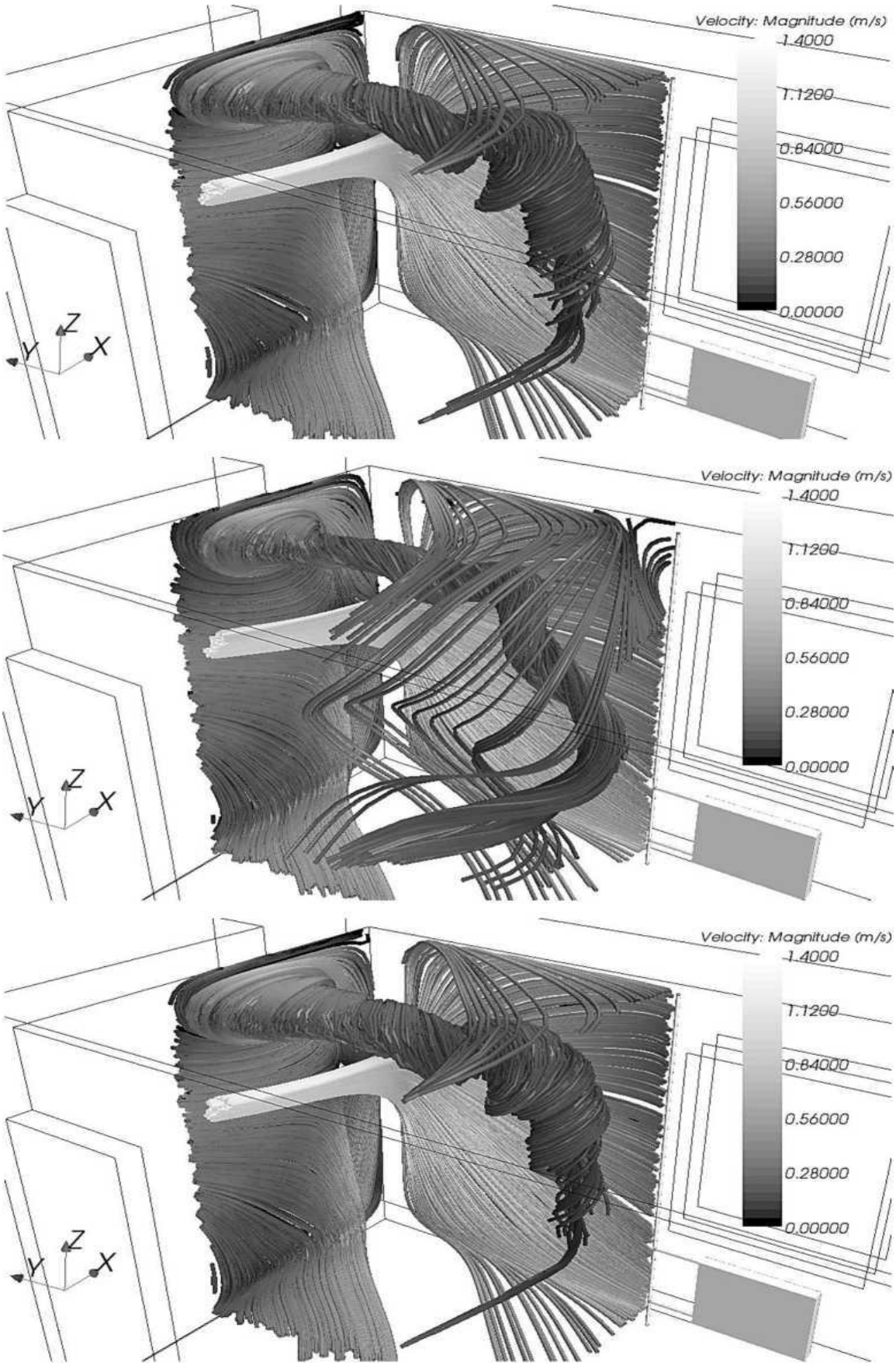


Рисунок 3.17- Лінії току в кімнаті поблизу та вздовж стін «inner_wallN» та «inner_wallE» для 1-го, середнього та 10-го поверхів.

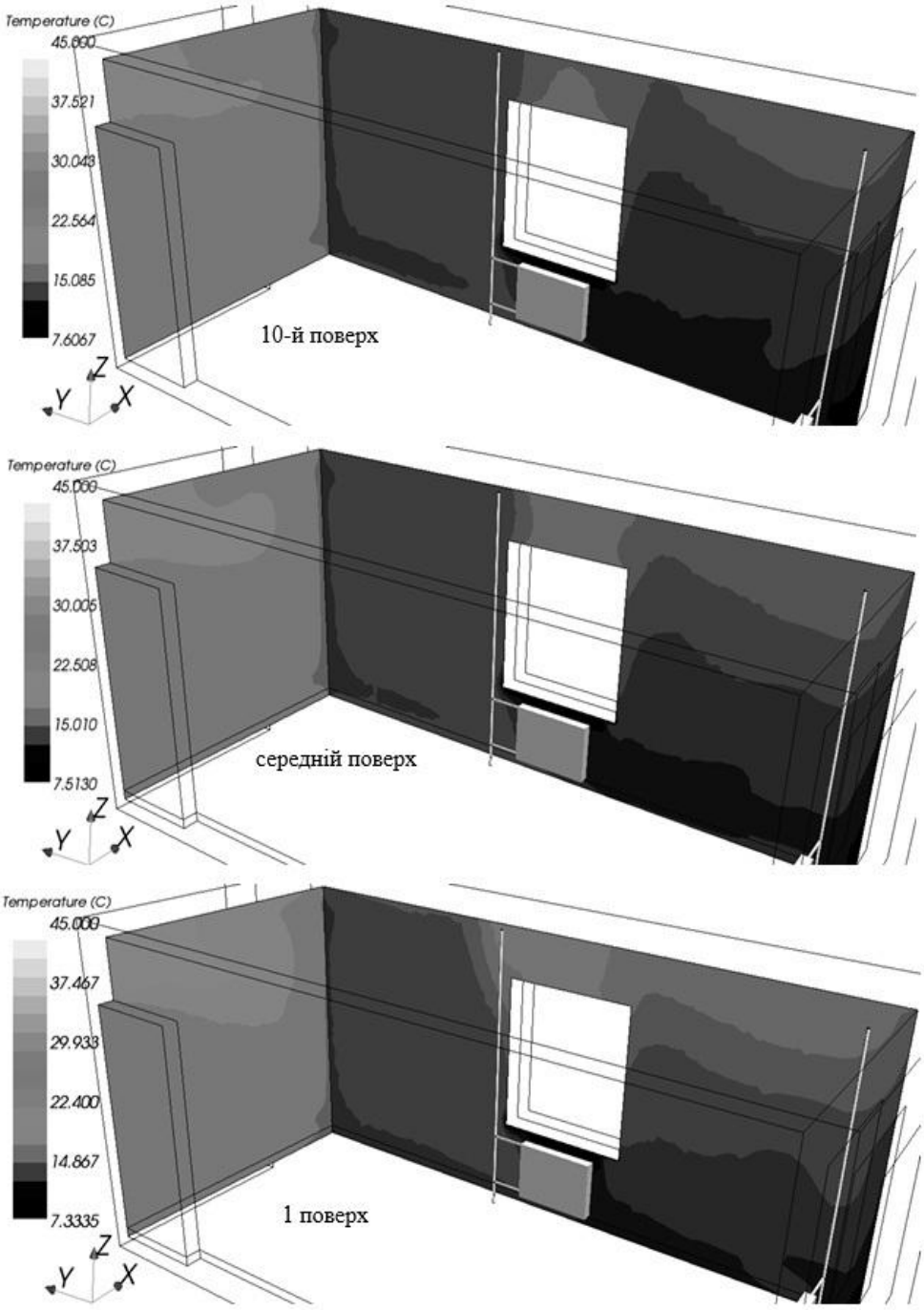


Рисунок 3.18 - Розподіл температури на стінах «inner_wallN» та «inner_wallE» для 1-го, середнього та 10-го поверхів

Для z<0,3м при наближенні до підлоги температура стіни спадає для 1-го поверху до 15,6°C (температура в підвалі 4°C) і зростає для середнього та 10-го поверхів до 19,2°C (через вплив температури повітря 21°C у сусідніх квартирах).

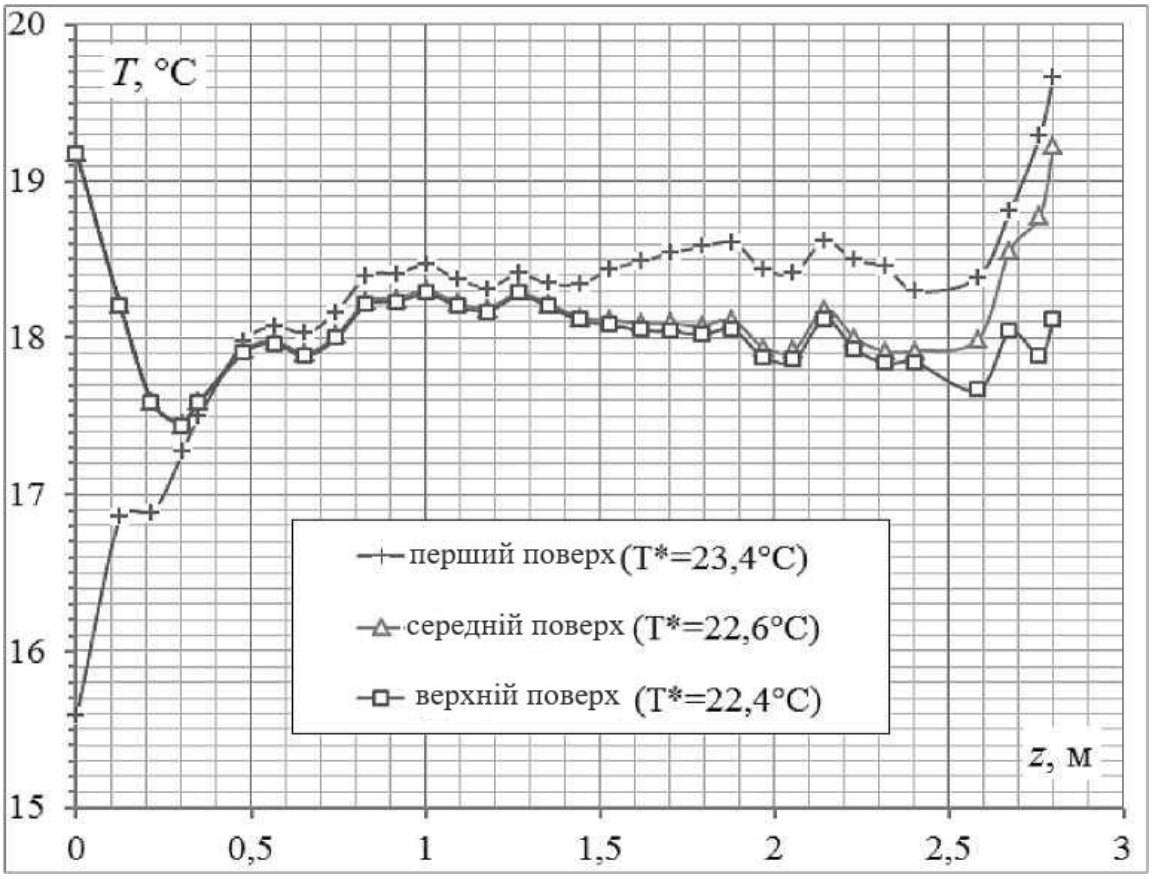


Рисунок 3.19 - Залежність температури стіни від висоти z для кута кімнати, утвореного стінами «inner_wallN» та «inner_wallE» (для різних поверхів).

Для z>1,3м при наближенні до стелі температура стіни збільшується для 1-го та середнього поверхів від 18,3°C до 19,7°C та 19,2°C відповідно, а для 10-го поверху – знижується від 18,3°C до (17,1..18,7)°C. Така відмінність пояснюється тим, що температура повітря в горищному приміщенні, розташованому над кімнатою на 10-му поверсі, не перевищує 18°C. Також у цьому діапазоні висот z виявлено невеликі коливання температури, які, ймовірно, пов'язані з описаною вище перебудовою структури течії в околі розглянутого кута приміщення (утворення вихору А та нижнього конвективного потоку Б).

ВИСНОВКИ

1. Проведено теплотехнічний розрахунок елементів конструкції та їхніх вузлів з'єднань другої будівельної кутової спальні 4 блок-секції 134 серії згідно з ДБН В.2.6-31:2021; розроблено об'ємну математичну модель приміщення другої будівельної кутової спальні 4 блок-секції; визначено конвективні повітряні потоки в приміщенні другої будівельної кутової спальні 4 блок-секції.

2. В результаті проведеного теплотехнічного розрахунку елементів конструкції та їхніх вузлів з'єднань другої будівельної кутової спальні 4 блок-секції, згідно з ДБН В.2.6-31:2021, виявлено параметри, що не відповідають встановленим нормативам.

3. При проведенні моделювання конвективних потоків у приміщенні другої будівельної кутової спальні, виявлено повне обтікання повітряним потоком плити В-14-11Н. Визначено наявність застійної зони (зони без обтікання повітряним потоком) невеликої частини внутрішньої гладі елемента конструкції Н-36, що прилягає до кута В-10 по всій висоті кімнати та завширшки 30 см (рахуючи від кута). Наявність цієї зони призводить до локального підвищення вологості повітря в описаному вище місці другої будівельної кутової спальні.

4. Наявність застійної зони для житлових кімнат не нормується законодавством України. Для усунення застійної зони на зазначеній вище ділянці конструкції, під час опалювального сезону, можливе застосування невеликих елементів нагрівальних/опалювальних приладів. Ці прилади організують вільний конвективний потік уздовж внутрішньої гладі елемента конструкції Н-36.

5. Пропонується проводити моделювання теплових потоків житлових приміщень багатоквартирних будинків з метою оптимізації розташування опалювальних приладів та поліпшення мікроклімату приміщення, а також підвищення класу енергоефективності будівлі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України № 2118-VIII «Про енергетичну ефективність будівель». Прийнятий 22.06.2017. Київ: Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 33, ст.357.

2. Закон України № 2189-VIII «Про житлово-комунальні послуги». Прийнятий 09.11.2017. Київ: Відомості Верховної Ради (ВВР), 2018, № 1, ст.1.

3. Чернишов В. П. Вентиляція. Кондиціонування повітря. Ч. 1. Вентиляція : підручник. – Київ : КНУБА, 2013. 204 с

4. ДБН В.2.5-67:2013. «Опалення, вентиляція та кондиціонування». [Чинний від 2014-01-01]. Київ: Мінрегіон України, 2013. 148 с.

5. ДСП 173-96. «Державні санітарні правила планування та забудови населених пунктів». Затверджено Наказом МОЗ України № 173 від 19.06.1996.

6. ДСТУ EN 12900:2015. Компресори холодильні. Умови випробування (EN 12900:2013, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015.

7. ДСТУ EN ISO 23953-1:2018. Шафи холодильні торговельні. Частина 1. Терміни та визначення (EN ISO 23953-1:2015, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.

8. ДСТУ EN 13141-1:2019. Вентиляція будівель. Випробування компонентів/виробів для вентиляції житлових приміщень. Частина 1. Пристрої припливу та витяжки повітря (EN 13141-1:2019, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.

9. ДСТУ 4179-2003. Прилади контрольно-вимірювальні та автоматики. Терміни та визначення. Київ : Держспоживстандарт України, 2003. 18 с.

10. ДСТУ 3741-98. Термоперетворювачі опору. Загальні технічні умови. Київ : Держстандарт України, 1998. 83 с.

11. ДСТУ EN 60335-2-30:2015. Прилади побутові та аналогічні електричні. Безпека. Частина 2-30. Додаткові вимоги до кімнатних обігрівачів (EN 60335-2-30:2009, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 23 с.

12. Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 7th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2011. 1048 p.

13. ДСТУ HD 368 S1:2015 «Прилади електричні вимірювальні реєструвальні безпосередньої дії та допоміжні частини до них (HD 368 S1:1978, IDT)».

14. ДСТУ 3108-95 «Сигналізатори температури. Загальні технічні умови (ГОСТ 23125-95)».

15. ДСТУ OIML R 117-1:2014. «Системи вимірювальні для рідин, крім води» (OIML R 117-1:2007, IDT).

16. ДСТУ EN 60751:2016. «Промислові платинові термометри опору та платинові давачі температури» (EN 60751:2008, IDT).

17. ДСТУ 4218:2003. «Анемометри. Загальні технічні вимоги та методи випробувань».

18. ДСТУ EN 12097:2008. «Вентиляція будівель. Повітроводи. Вимоги до компонентів мережі повітроводів для полегшення технічного обслуговування» (EN 12097:2006, IDT).

19. ДСТУ 7266:2012 «Метрологія. Барометри. Загальні технічні умови».

20. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. «Метод визначення теплопередачі огороджувальних конструкцій in situ» (ISO 9869:1994, MOD).

21. ДСТУ EN 60584-1:2016 Перетворювачі термоелектричні. Частина 1. Технічні характеристики та допустимі відхили електрорушійної сили (ЕРС) (EN 60584-1:2013, IDT).

22. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні».

23. ДСТУ EN ISO 7730:2019. «Ергономіка теплового середовища. Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту з використанням розрахунку показників PMV і PPD...» (EN ISO 7730:2005, IDT).

24. ДСТУ Б В.2.6-101:2010. «Конструкції будинків і споруд. Метод

визначення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій».

25. ДСТУ EN 60051-2:2018 «Прилади прямої дії електровимірювальні аналогові, показувальні та допоміжні частини до них. Частина 2. Спеціальні вимоги до амперметрів і вольтметрів (EN 60051-2:1989, IDT; IEC 60051-2:1988, IDT)».

26. ДСТУ EN 60688:2014 «Перетворювачі вимірювальні електричні для перетворення електричних величин змінного та постійного струму в аналогові або цифрові сигнали (EN 60688:2013, IDT; IEC 60688:2012, IDT)».

27. ДСТУ ГОСТ 9245:2009. «Потенціометри постійного струму вимірювальні. Загальні технічні умови» (ГОСТ 9245-79, IDT).

28. ДСТУ Б EN 12667:2011. «Теплові характеристики будівельних матеріалів та виробів. Метод визначення теплового опору.» (EN 12667:2001, IDT).

29. ДСТУ EN 12831:2011. «Системи опалення в будівлях. Метод розрахунку проектного теплового навантаження» (EN 12831:2003, IDT).

30. ДСТУ Б В.2.2-39:2016. «Будинки і споруди. Метод розрахунку теплового балансу та оцінки енергоспоживання систем опалення та гарячого водопостачання».

31. ДСТУ EN ISO 10456:2019 «Матеріали та вироби будівельні. Гігротермічні властивості. Декларовані та розрахункові теплові величини» (EN ISO 10456:2007, IDT).

32. ДСТУ ISO 12571:2004 «Гігротермічні характеристики будівельних матеріалів та виробів. Визначення гігроскопічної сорбції» (ISO 12571:2000, IDT).

33. ДСТУ Б В.2.7-220:2009 «Матеріали будівельні. Діелькометричний метод вимірювання вологості (ГОСТ 21718-84, MOD)».

34. ДСТУ 3514-97. «Прилади електровимірювальні аналогові показувальні прямої дії. Амперметри та вольтметри. Загальні технічні умови».

35. ДСТУ 9190:2022. «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції,

освітлення та гарячого водопостачання».

36. ДСТУ EN 13779:2011. «Вентиляція нежитлових будівель. Технічні вимоги до систем вентиляції та кондиціонування» (EN 13779:2007, IDT).

37. ДСТУ ISO 9869:2007 «Теплоізоляція. Будівельні елементи. Натурні вимірювання теплового опору та коефіцієнта теплопередавання (ISO 9869:1994, IDT)».

38. ДБН В.2.6-31:2021. «Теплова ізоляція та енергетична ефективність будівель». [Чинний від 2021-09-01]. Київ: Мінрегіон України, 2021. 45 с. (На заміну ДБН В.2.6-31:2016).

39. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. «Будівельна кліматологія». [Чинний від 2011-09-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 121 с.

40. ДСТУ 3400:2015. «Метрологія. Терміни та визначення основних понять».

41. ДСТУ ГОСТ 8711:2009. «Прилади аналогові показувальні електровимірювальні прямої дії. Частина 2. Особливі вимоги до амперметрів і вольтметрів» (ГОСТ 8711-93, IDT).

42. Ковальчук О. М., Петренко В. С. Моделювання конвективних потоків у житлових приміщеннях з урахуванням інфільтрації // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Серія: Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація*. 2018. № 813. С. 45–52.

43. Іванов Д. В. Аналіз застійних зон у кутових кімнатах багатоповерхових будівель методом CFD-моделювання // *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. 2019. Вип. 12. С. 78–86.

44. Дикий М. О., Кондрат'єв А. В. *Тепломасообмін*: Підручник. Миколаїв: МНТУ, 2004. 320 с.

45. Launder, B. E., & Spalding, D. B. The numerical computation of turbulent flows. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 1974. Vol. 3, Issue 2. P. 269–289.

46. Awbi, H. B. *Ventilation of Buildings*. 2nd ed. London: Spon Press, 2003. 531 p.

47. Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. *An Introduction to Computational Fluid Dynamics: The Finite Volume Method*. 2nd ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2007. 508 p.

48. Patankar, S. V. *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*. New York: Hemisphere Publishing Corporation, 1980. 197 p.

49. Anderson, J. D. *Computational Fluid Dynamics: The Basics with Applications*. New York: McGraw-Hill, 1995. 547 p.

50. Wilcox, D. C. Turbulence Modeling for CFD. 3rd ed. La Cañada, California: DCW Industries, Inc., 2006. 522 p.

51. Bejan, A. *Convection Heat Transfer*. 4th ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2013. 720 p.

52. Pope, S. B. *Turbulent Flows*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 771 p.

53. Siemens PLM Software. *STAR-CCM+ v8.02.011 User Guide*. 2013. 4320 p.

54. Nielsen, P. V. Computational fluid dynamics and room air movement. *Building and Environment*. 2004. Vol. 39, Issue 7. P. 739–750.

55. Гребенюк О.В., Литвиненко В.В. Конструктивні елементи алюмінієвих світлопрозорих конструкцій – тези доповіді на XVIII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «МОЛОДА НАУКА-2025». Запорізький національний університет. Запоріжжя: ЗНУ, 2025. Т.5. С. 31–33.