МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему: **ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ МІКРОКЛІМАТУ У ПРИМІЩЕННЯХ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

Виконав: магістрант 2 курсу, група: 8.1923 – мбг
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньої програми «Міське будівництво та господарство»
Шульга Денис Вікторович
Керівник доцент кафедри міського будівництва і
архітектури к.т.н. _____О.М. Фостащенко

Рецензент: доцент кафедри міського будівництва і
архітектури к.т.н. _____А.В. Банах

Запоріжжя 2024 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра міського будівництва і архітектури
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 192 Будівництво та цивільна інженерія
Освітньо-професійна програма міське будівництво та господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри _____
«02» 09 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ(ЦІ)

1. Тема роботи: «Вплив параметрів мікроклімату у приміщеннях житлових будівель на експлуатаційні показники енергоефективності»
керівник роботи Фостащенко О.М. доцент, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від "30" 09 2024 року № 1486-с
2. Строк подання роботи: 01 грудня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи: Вплив параметрів мікроклімату у приміщеннях житлових будівель на експлуатаційні показники енергоефективності

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити)*: 1. Виявити причини зміни параметрів внутрішнього середовища приміщень на основі даних технічного стану житлових будинків міста та оцінкою їх зміни в залежності від зносу конструкцій будівлі. 2. Визначити теплоспоживання будівлі залежно від товщини утеплювача. 3. Визначити температуру початку опалювального періоду для підтримки оптимальних та допустимих параметрів мікроклімату в житлових приміщеннях у перехідний період року. 4. Проаналізувати отримані дані та розробити пропозиції для створення оптимального балансу між енергозбереженням та комфортним мікрокліматом у житлових будинках.

5. Перелік графічного матеріалу**: (з точним зазначенням обов`язкових креслень) 8 листів формату А1

* заповнюється відповідно до завдань кваліфікаційної роботи
** якщо таблиць, рисунків або діаграм більше ніж 5, вказується тільки їхня загальна кількість

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали керівника	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розділ 1	доцент, к.т.н. Фостащенко О.М		
Розділ 2	доцент, к.т.н. Фостащенко О.М		
Розділ 3	доцент, к.т.н. Фостащенко О.М		
Розділ 4	доцент, к.т.н. Фостащенко О.М		

7. Дата видачі завдання: 02.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання	Примітка
1.	Виявити причини зміни параметрів внутрішнього середовища приміщень на основі даних технічного стану житлових будинків міста та оцінкою їх зміни в залежності від зносу конструкцій будівлі.	01.10.24	Виконано
2.	Визначити теплоспоживання будівлі залежно від товщини утеплювача.	01.11.24	Виконано
3.	Визначити температуру початку опалювального періоду для підтримки оптимальних та допустимих параметрів мікроклімату в житлових приміщеннях у перехідний період року.	01.12.24	Виконано
4.	Проаналізувати отримані дані та розробити пропозиції для створення оптимального балансу між енергозбереженням та комфортним мікрокліматом у житлових будинках.	01.12.24	Виконано

Магістрант _____ (підпис) Шульга Д.В. (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ (підпис) Фостащенко О.М. (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

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

АНОТАЦІЯ

Шульга Денис Вікторович. Вплив параметрів мікроклімату у приміщеннях житлових будівель на експлуатаційні показники енергоефективності.

Кваліфікаційна робота для здобуття другого ступеня вищої освіти за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник О.М Фостащенко. Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М.Потебні Запорізького національного університету, кафедра міського будівництва і архітектури, 2024.

Доведено, що обов’язкова інформація, що враховується при визначенні енергетичної ефективності будівель: місцеві кліматичні умови; функціональне призначення, архітектурно-планувальне та конструктивне рішення будівлі; геометричні (враховуючи розташування та орієнтацію огороджувальних конструкцій), теплотехнічні та енергетичні характеристики будівлі, а також енергетичний баланс будівлі; мікрокліматичні умови приміщень будівлі; нормативний строк експлуатації огороджувальних конструкцій та їх елементів; використання відновлюваних джерел енергії, а також енергії, виробленої шляхом когенерації.

Оцінка ефективності різних проєктних рішень методом математичного моделювання розподілених параметрів із наступним розрахунком поля індексу комфортності Фангера дає докладну інформацію про тепловий комфорт у приміщенні, що дозволяє об'єктивно порівнювати ефективність різних схем розподілу повітря.

Ключові слова: енергетична ефективність будівлі, оцінка параметрів мікроклімату, огороджуючі конструкції, вологість

ABSTRACT

Shulga Denis Viktorovich. The influence of microclimate parameters in residential premises.

Qualifying final work for obtaining a higher education master's degree in specialty 192 Construction and civil engineering, scientific supervisor O.M. Fostashchenko, Zaporizhzhya National University, Y.M Potebnya Engineering Educational and Scientific Institute, Department of Urban Construction and Architecture, 2024.

It has been proven that the following information is mandatory when determining the energy efficiency of buildings: local climatic conditions; functional purpose, architectural and planning and structural solution of the building; geometric (taking into account the location and orientation of the enclosing structures), thermal and energy characteristics of the building, as well as the energy balance of the building; microclimatic conditions of the building's premises; standard service life of the enclosing structures and their elements; use of renewable energy sources, as well as energy produced by cogeneration.

Assessment of the effectiveness of various design solutions by the method of mathematical modeling of distributed parameters with subsequent calculation of the Fanger comfort index field provides detailed information about thermal comfort in the room, which allows objectively comparing the effectiveness of different air distribution schemes.Keywords: energy efficiency of life, assessment of microclimate parameters, enclosure structures, moisture

ЗМІСТ

стр.

ВСТУП..... 10

1. ПРИЧИНИ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ВНУТРІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИМІЩЕНЬ НА ОСНОВІ ДАНИХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ…….……13

1.1 Параметри комфортного мікроклімату……13

1.2 Мікроклімат в будинку: параметри, вимоги і контроль…….26

1.3 Дослідження мікроклімату у виробничих приміщеннях…….31

2 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ ПРИ РОЗРАХУНКАХ КОНСТРУКЦІЙ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ, ЩО ЗАХИЩАЮТЬ……...……36

2.1 Загальні положення…….36

2.2. Порядок проведення теплотехнічного розрахунку огороджувальних конструкцій будівель та споруд……37

2.3 Розрахунок питомої витрати теплової енергії на опалення житлового будинку……39

2.3.1 Теплотехнічний розрахунок зовнішніх стін……40

2.3.2 Теплотехнічний розрахунок перекриття……...43

2.3.3 Теплотехнічний розрахунок горищного покриття…….45

3. ВИЗНАЧЕННЯ ПОЧАТКУ ОПАЛЮВАЛЬНОГО ПЕРІОДУ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ОПТИМАЛЬНИХ ТА ДОПУСТИМИХ ПАРАМЕТРІВ У ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕННЯХ …….……..…….....57

3.1 Розрахунок систем опалення……47

4. РОЗРОБИТИ ПРОПОЗИЦІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО БАЛАНСУ МІЖ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯМ ТА КОМФОРТНИМ МІКРОКЛІМАТОМ У ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ……56

4.1 Забезпечення комфорту та енергозбереження в житлових будинках…….56

4.2 Оцінка теплового комфорту у приміщеннях на основі аналізу результатів математичного моделювання……...59

ВИСНОВКИ……...70

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……...……..71

ВСТУП

Актуальність теми. На мікроклімат приміщень у житлових будинках сильний вплив надають зовнішні огороджувальні конструкції. Поступово внаслідок зношування огороджувальних конструкцій відбувається порушення внутрішнього мікроклімату приміщень. Відхилення параметрів внутрішнього середовища в найгірший бік спостерігається практично у всіх старих житлових будинках, у яких постійно управляючі компанії виконують поточні ремонти. У процесі експлуатації об'єктів нерухомості відбувається поступове зношування огороджувальних конструкцій та інженерного обладнання, у зв'язку з чим виникають тріщини в елементах конструкції, відбувається зменшення теплозахисних характеристик огорож, підвищується їх вологість та повітропроникність.

В результаті деструкційних процесів, що виникають в огороджувальних конструкціях, з будівельних матеріалів до навколишнього середовища надходять речовини. Підвищена теплопровідність впливає на тепловий режим приміщення і вимагає для його нагрівання додаткових витрат. При підвищенні вологості матеріалу на внутрішніх поверхнях огороджувальних конструкцій з'являється пліснява та грибок. В даний час у зв'язку з підвищенням вимог комфортності житлових будинків виникає необхідність у правильному прогнозуванні негативного впливу зносу будівлі, а саме огороджувальних конструкцій на власників приміщень.

Проаналізувавши існуючу літературу було зроблено висновки, що закономірності зміни мікроклімату в житлових приміщеннях від зносу огороджувальних конструкцій недостатньо досліджені, у зв'язку з чим потрібно виявити залежність зміни внутрішнього середовища приміщень (параметрів мікроклімату) від розвитку зносу їх елементів.

Таким чином, дослідження параметрів енергозбереження та комфортного мікроклімату в житлових будинках в даний час є актуальним завданням.

Об'єкт дослідження. Параметри мікроклімату у багатоквартирних житлових будинках.

Предмет дослідження. Зміна теплотехнічних показників зовнішніх огороджуючих конструкцій для утворення комфортного мікроклімату у багатоквартирних житлових будинках.

Мета роботи - дослідити вплив параметрів мікроклімату у приміщеннях житлових будівель на експлуатаційні показники енергоефективності та розробити рекомендації для оптимізації цих параметрів з метою зниження енергоспоживання та забезпечення комфортних умов проживання.

Завдання:

1. Виявити причини зміни параметрів внутрішнього середовища приміщень на основі даних технічного стану житлових будинків міста та оцінкою їх зміни в залежності від зносу конструкцій будівлі.

2. Визначити теплоспоживання будівлі залежно від товщини утеплювача.

3. Визначити температуру початку опалювального періоду для підтримки оптимальних та допустимих параметрів мікроклімату в житлових приміщеннях у перехідний період року.

4. Проаналізувати отримані дані та розробити пропозиції для створення оптимального балансу між енергозбереженням та комфортним мікрокліматом у житлових будинках.

Наукова новизна.

- визначено вплив фізичного зносу огороджувальних конструкцій на мікроклімат приміщень житлових будівель;

- встановлено, що на теплоспоживання будівлі сильний вплив надають теплозахисні властивості зовнішніх огороджуючих конструкцій, які були

підібрані на стадії проєктування з урахуванням рентабельності вжитих заходів.

Методи досліджень. У процесі роботи було застосовано теоретичні та експериментальні дані, отримані в результаті проведених обстежень технічного стану зовнішніх огороджувальних конструкцій та виконаних вимірів параметрів мікроклімату у житлових приміщеннях багатоквартирних будинків.

Структура і об'єм магістерської роботи. Магістерська робота складається з вступу, чотирьох розділів, виводів, списку використаних джерел. Повний об'єм магістерської роботи складає 70 сторінки тексту, у тому числі 19 рисунків, 6 таблиць. Список використаних джерел містить 25 найменувань.

1 ПРИЧИНИ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ ВНУТРІШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИМІЩЕНЬ НА ОСНОВІ ДАНИХ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ.

1.1 Параметри комфортного мікроклімату

Будівлі та споруди є складними системами, які складаються з різних конструктивних елементів, поєднаних між собою за допомогою стикових з'єднань (рис. 1.1).



Рисунок – 1.1 Конструктивна система будівлі з об'ємно-планувальними рішеннями та кресленнями

Зважаючи на те, що люди більшу частину часу перебувають у приміщеннях, ці об’єкти мають бути не лише енергоефективними, але й забезпечувати комфорт, безпеку та надійність. Комфортний мікроклімат у приміщеннях тісно пов'язаний із енергетичною ефективністю, оскільки значна частина енергоресурсів витрачається на підтримання потрібної температури через системи опалення, охолодження та забезпечення повітрообміну. Згідно з «Технічним регламентом про безпеку будівель і споруд», мікроклімат приміщення визначається як сукупність кліматичних умов внутрішнього середовища, що впливають на організм людини, включаючи температуру, вологість та швидкість руху повітря. Параметри мікроклімату є важливими показниками безпечних умов проживання та перебування в будівлях і спорудах.

У проектній документації передбачається облаштування будівель і споруд системами вентиляції. Вентиляційні та кондиціонувальні системи повинні забезпечувати подачу повітря, у якому рівень шкідливих речовин не перевищує допустимих норм для певних приміщень або робочих зон. Крім того, мають бути виконані такі заходи:

1) зниження проникнення пилу, вологи та небажаних запахів з зовнішнього повітря до приміщення;

2) забезпечення якісного повітрообміну, що сприяє видаленню шкідливих речовин і підтриманню сприятливого для здоров'я хімічного складу повітря;

3) недопущення проникнення шкідливих речовин і запахів із каналізаційних систем, систем опалення, вентиляції, кондиціонування, повітроводів, технологічних трубопроводів та вихлопних газів з автостоянок у приміщення, де перебувають люди;

4) запобігання потраплянню ґрунтових газів (радону, метану) у приміщення, якщо геологічні дослідження виявили їхню наявність на ділянці, де планується будівництво чи експлуатація об’єкта.

Комфортні умови для проживання передбачають:

– створення сприятливих умов щодо температури та вологості повітря у приміщеннях;

– підтримання відповідного складу повітря (достатня кількість кисню, відсутність шкідливих речовин);

– створення сприятливого акустичного середовища.

Повітря у приміщеннях повинно відповідати потребам як людей, так і обладнання чи майна, що там знаходиться. Ці вимоги поділяються на:

- санітарно-гігієнічні, що стосуються здоров'я людей;
- технологічні, пов’язані з умовами експлуатації обладнання чи збереження майна.

Вимоги до якості повітря у приміщеннях поділяються на:

а) газовий склад – визначає допустимі межі відхилення у співвідношенні основних газів;

б) рівень чистоти повітря – визначає максимально допустимий вміст сторонніх домішок, до яких належать тверді частки (наприклад, пил), рідкі краплі (туман) або газоподібні речовини, а також мікроорганізми, включаючи бактерії;

в) метеорологічні характеристики повітря – регламентують параметри, такі як температура, вологість і швидкість переміщення повітряних мас.

Фактори, що впливають на створення комфортного середовища, включають:

- відносну вологість повітря;
- температуру повітря у приміщенні;
- температуру поверхонь конструкцій, які забезпечують захист;
- здатність конструкцій накопичувати тепло;
- температуру підлоги;
- якість повітря, зокрема рівень CO_2;
- швидкість руху повітря;

– освітлення та рівень освітленості;
– захист від шуму;
– одяг людини;
– вид її діяльності.

Отже, поняття «мікроклімат будівель» і «комфортні умови перебування людини у будинках» мають певні відмінності, проте взаємодоповнюють одне одного (рис. 1.2).



Рисунок – 1.2 Види та складники мікроклімату

Одним із ключових факторів створення комфортного мікроклімату є здатність конструкцій будівлі акумулювати тепло. У літній сезон будівельні конструкції протягом дня вбирають частину теплової енергії, поступово віддаючи її у вечірні та нічні години, що сприяє охолодженню повітря в приміщенні. Взимку ці ж конструкції, захищаючи приміщення під час роботи систем опалення, накопичують тепло і поступово передають його у повітря у разі відключення опалення. Завдяки такій властивості знижується відчуття протягів поблизу стін, які додатково випромінюють тепло, створюючи комфортні умови перебування. Комфорт у приміщенні також залежить від теплового випромінювання поверхонь огороджувальних конструкцій. Людина почувається комфортно, якщо температура внутрішніх поверхонь стін узимку не перевищує різницю у 3°С від температури повітря в

приміщенні, а влітку – не більше ніж на 3°С вища (рис. 1.3). Цей параметр напряму залежить від опору теплопередачі стін.

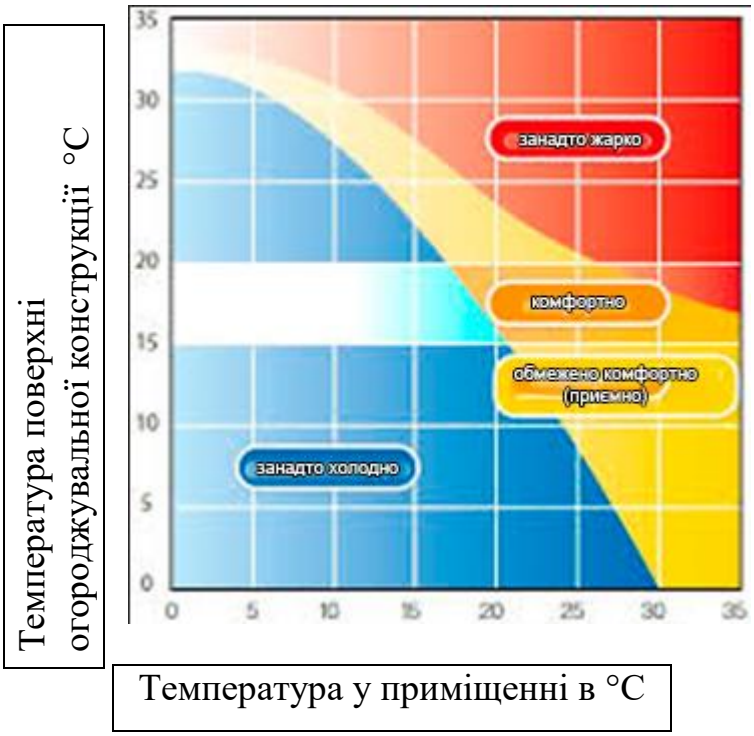


Рисунок 1.3 – Графік розподілу комфортних температур у приміщенні

При прямому контакті через підошви ніг діють інші температурні значення. Щоб уникнути надмірного відбору тепла у людини, температура поверхні підлоги повинна бути не нижчою за 15-20°С. Тривалість перебування в приміщенні також впливає на сприйняття температури. Найбільш комфортною є температура підлоги в межах 22-24°С, при цьому тепла підлога не повинна бути нагріта понад 25-30°С.

Як видно з рисунка 1.4, температура підлоги 15°С вважається прийнятною для перебування протягом перших 3 годин. Після цього поверхня починає здаватися прохолодною, а через 3,8 години сприймається як холодна.

Важливим показником якості повітря є концентрація вуглекислого газу (CO_2). Підвищений рівень CO_2 може викликати такі симптоми, як

головний біль, підвищення артеріального тиску та запаморочення. Концентрації цього газу, що досягають 10% (наприклад, у приміщеннях для бродіння), становлять смертельну небезпеку. Людина вдихає приблизно 500 літрів повітря на годину, яке містить близько 0,03% CO_2, а видихає його з концентрацією приблизно 4%. За цей час споживається близько 33 літрів кисню та виділяється близько 25 літрів CO_2. У приміщеннях із гігієнічно прийнятним мікрокліматом рівень CO_2 не повинен перевищувати 0,1 Для підтримання такого показника необхідно забезпечити приплив близько 30 м³ свіжого повітря на годину для кожної людини. Це повітря має містити близько 0,03% CO_2.

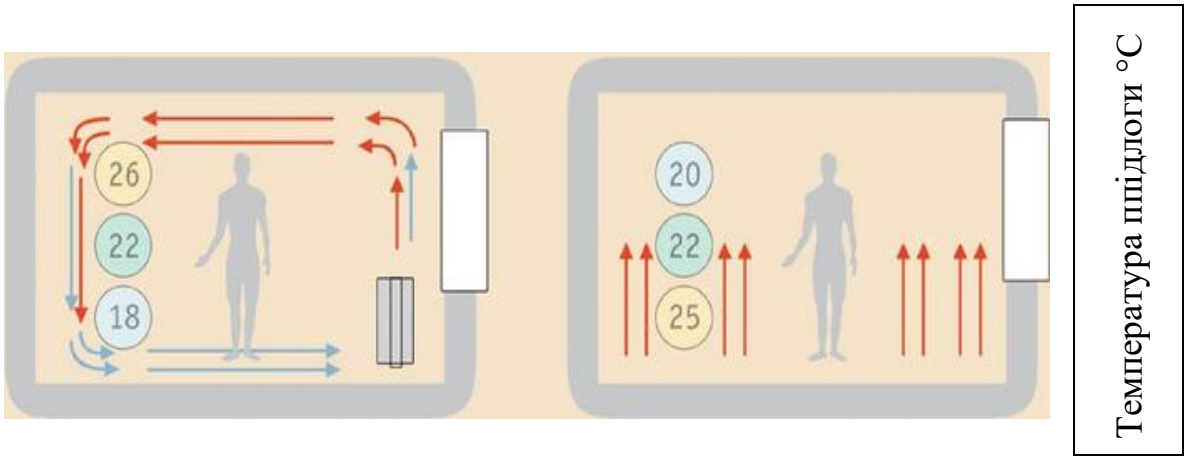


Рисунок 1.4 – Графік комфортних температур підлоги залежно від тривалості перебування людини

На рисунку (рис. 1.4) зображено залежність рівня комфортності температури підлоги від часу перебування людини у приміщенні. Незалежно від тривалості перебування, дискомфорт виникає, якщо температура повітря падає нижче -17°С або перевищує 26°С.



Рисунок 1.5 – Відносна вологість повітря та її вплив на комфорт

Процес перенесення тепла й вологи із внутрішніх приміщень будівель назовні залежить від стабільних характеристик внутрішнього повітря та змінних параметрів зовнішнього середовища. Основні мікрокліматичні параметри, які забезпечують комфорт перебування людей у приміщенні, є ключовими для розрахунків тепло- і масопереносу через огороджувальні конструкції будівлі. У цьому контексті зовнішні конструкції мають відповідати не лише вимогам надійності, безпеки, довговічності, ремонтопридатності та енергоефективності, але також сприяти підтриманню теплового й повітряного комфорту (разом із системами опалення та вентиляції), запобігати утворенню конденсату на внутрішніх поверхнях або всередині конструкцій, а також забезпечувати належний рівень світлового комфорту. Параметри зовнішнього середовища та нормативи до мікроклімату приміщень виступають базою для теплотехнічних розрахунків і вибору зовнішніх конструкцій. Ю.О. Табунщиков детально описав процес встановлення теплового режиму приміщення, використовуючи рівняння теплового балансу повітря та систему рівнянь, що характеризують теплопередачу через зовнішні огородження.

В.К. Савін у своїх дослідженнях розглянув особливості комфортного мікроклімату, повітрообміну та їх зв’язок із зовнішніми кліматичними умовами й рухом повітряних потоків. Він розробив низку рівнянь для

розрахунку повітрообміну в умовах природної та механічної вентиляції, а також для визначення повітропроникності конструкцій залежно від поверховості будівель та температурної різниці. У дослідженнях Савіна зазначено, що температурні перепади у горизонтальному та вертикальному перерізах робочої зони не повинні перевищувати 0,2-0,5 °С/м, адже значні градієнти температур спричиняють дискомфорт: ноги стають холодними, а голова перегрівається, що може вплинути на здоров'я. За умов комфортного мікроклімату людина втрачає 45-55% тепла через випромінювання. Такий рівень теплообміну забезпечується, якщо температурна різниця між внутрішніми поверхнями стін і повітрям у приміщенні не перевищує 4-6 °С. Оскільки внутрішні поверхні стін зазвичай мають нижчу температуру, комфорт досягається завдяки розташуванню нагрівальних приладів під вікнами.

Здоров'я та працездатність людей залежить не лише від теплового режиму приміщення, але й від стану повітряного середовища. Повітряний комфорт забезпечується конструкціями будівлі та системами вентиляції. Повітрообмін може здійснюватися природним шляхом (під дією гравітаційних сил) або за допомогою механічних систем, що примусово рухають повітря.

Процес обчислення природної вентиляції будівлі являє собою складне аеродинамічне завдання, яке потребує врахування руху повітря через усі приміщення, включаючи сходи, огороджувальні елементи, повітроводи, а також вплив архітектурних і геометричних характеристик будівлі, її розташування щодо напрямків вітру та інших чинників. Навіть частковий аналіз задач перенесення маси та енергії із застосуванням класичного рівняння Нав'є-Стокса ускладнений через незамкненість цього рівняння, що виникає внаслідок турбулентності потоків, яка створює незамкненість цього рівняння.

Очищення повітряного середовища та забезпечення руху повітря в робочій зоні приміщення на рівні, що не перевищує нормативні показники,

сприяє насиченню організму людини достатньою кількістю кисню. Це дозволяє організму генерувати енергію, яка допомагає уникнути переохолодження.

Основними джерелами забруднення повітря є:

– процеси фізіологічного обміну людини з навколишнім середовищем, при яких виділяються вуглекислий газ, бактеріальні аерозолі, а також леткі органічні речовини з поверхні шкіри, які накопичуються в приміщенні;

– експлуатація побутових приладів, газових систем і систем опалення;

– поява неприємних запахів, що виникають під час життєдіяльності людини та побутових процесів, таких як приготування їжі чи прання;

– проникнення зовнішнього повітря, забрудненого шкідливими речовинами, до приміщення;

– випаровування токсичних компонентів із матеріалів, використовуваних у будівництві, оздобленні та меблях.

Під час природної вентиляції повітря, що надходить зовні, часто містить пил і шкідливі хімічні сполуки. З одного боку, ці речовини потрапляють у дихальні шляхи людини, а з іншого — осідають на конструкціях приміщення, перетворюючи їх на джерела довготривалого забруднення. Серед найбільш небезпечних джерел забруднень варто виділити сучасні матеріали для стін, підлог, перекриттів, перегородок, світлопрозорих конструкцій, а також лакофарбові вироби, клеї та інші хімічні продукти.

Сонячна енергія, що проникає в приміщення крізь вікна та ліхтарі, має значний вплив на життєдіяльність людини. Випромінювання Сонця являє собою електромагнітні хвилі, які охоплюють діапазон від 0,1 до 1000 мкм. Видиме оком світло має довжину хвилі в межах 0,38–0,78 мкм. Ультрафіолетове випромінювання знаходиться в діапазоні від 0,01 до 0,38 мкм, а інфрачервоне — від 0,78 до 1000 мкм.

Під світловим середовищем приміщення мають на увазі сукупність позитивних чи негативних реакцій організму людини на взаємодію з електромагнітними хвилями Сонця. Світло необхідне не лише для бачення, але й впливає на психоемоційний стан. Людське око, як приймач світла, добре адаптоване до природного сонячного освітлення. Пряме та розсіяне сонячне світло забезпечують приміщення ультрафіолетовим і інфрачервоним випромінюванням.

Ультрафіолетові промені надають різноманітну біологічну дію: вони запобігають рахіту у дітей, авітамінозу у дорослих, а також знезаражують повітря, знищуючи хвороботворну мікрофлору. Сонячна енергія впливає на якість та тривалість життя людини, здійснюючи біологічний, біохімічний, фізіологічний, бактерицидний, психологічний, санітарний, тепловий і соціологічний вплив. Сонячне світло оживляє інтер'єр житла, формуючи зв'язок із навколишнім середовищем. Архітектори та проектувальники зобов'язані враховувати інсоляцію (освітлення приміщень сонячним світлом) і забезпечувати природне освітлення в кожній квартирі будівлі.

Згідно з аналізом, орієнтація кімнат у південних районах на південь або південний схід дозволяє уникати перегріву приміщень влітку завдяки архітектурним елементам, таким як лоджії, і водночас максимально використовувати сонячну енергію взимку для обігріву. Такий підхід забезпечує оптимальне природне освітлення житлових кімнат через вікна, а в громадських і службових будівлях — через віконні прорізи та світлові ліхтарі.

Проектування освітлення приміщень базується на врахуванні специфіки виконуваних процесів, а також характеристик місцевості будівництва. У тому числі враховуються:

– орієнтація будівлі за даними світлового клімату;

– специфіка зорових робіт і світлові характеристики місця будівництва;

– рівномірність природного освітлення;

– напрямок світлових променів на робочу зону;

– тривалість використання природного освітлення;

– тривалість використання денного освітлення;

– вимоги до спектрального складу штучного освітлення, стабільності його інтенсивності й рівномірності розподілу яскравості в полі зору;

– захист від засліплюючої дії прямого сонячного світла.

Розміри та розташування вікон і світлових ліхтарів у будівлях повинні гарантувати необхідний коефіцієнт природного освітлення (КЕО), який виражається у відсотках і визначається як співвідношення між освітленістю всередині приміщення та освітленістю від відкритого небосхилу. При розробці світлового мікроклімату слід керуватися вимогами нормативних документів, що регламентують природне та штучне освітлення, а також даними кліматології та геофізики. Освітленість забезпечується у точках із мінімальними показниками на робочій площині, де перебувають люди. У житлових будинках необхідно передбачати природне освітлення, яке може бути бічним, верхнім або комбінованим. Для одностороннього бічного освітлення нормується мінімальне значення КЕО у точці, що лежить на перетині вертикальної площини, яка відображає розріз приміщення, і робочої поверхні на відстані одного метра від найвіддаленішої стіни від джерела світла. У виробничих, громадських і адміністративних будівлях, окрім нормативної освітленості, беруть до уваги допустимі показники засліпленості та коефіцієнта пульсації світла відповідно до чинних стандартів.

Мікроклімат приміщень визначається відносною вологістю та температурою повітря в холодний період року. Відповідно до цього приміщення поділяють за вологісним режимом на основі зазначених параметрів. Людина, ізолюючи себе від зовнішніх впливів (температури, вітру, сонячного випромінювання, опадів), створює у приміщенні власний мікроклімат, що забезпечує комфортні умови для перебування.

Нормативні документи встановлюють параметри мікроклімату для житлових і громадських будівель, а також містять класифікацію громадських приміщень, що поділяються на шість категорій:

1. Приміщення першої категорії призначені для перебування людей у стані спокою або відпочинку, у положенні сидячи чи лежачи;
2. Приміщення другої категорії використовуються для занять навчанням або розумовою працею;
3. Приміщення третьої категорії призначені для масового перебування людей, які можуть перебувати стоячи у верхньому одязі чи сидячи без нього;
4. Приміщення четвертої категорії розраховані на активні спортивні заняття;
5. Приміщення п’ятої категорії – це місця, де люди перебувають частково роздягненими, як-от роздягальні, кабінети лікарів чи процедурні кімнати;
6. Приміщення шостої категорії включають місця короткочасного перебування, такі як вестибюлі, коридори, санвузли, сходи, курильні, комори тощо.

Попри назву, документ, що регламентує параметри мікроклімату, містить лише нормативні показники, пов’язані з тепловим режимом.

1.2 Мікроклімат в будинку: параметри, вимоги і контроль

Мікроклімат є характеристикою внутрішнього середовища приміщення, яка впливає на стан людини. Згідно з міждержавним стандартом, що регулює вимоги до громадських і житлових будівель, мікроклімат визначається як «стан внутрішнього середовища приміщення, що впливає на людину». Внутрішнє середовище в першу чергу стосується

повітря всередині приміщення. Не випадково стандарт підкреслює, що основними параметрами мікроклімату є температура, вологість і рух повітря.

Мікроклімат значно впливає на самопочуття людини. При оптимальних умовах, як це зазначено в будівельних нормах, людина почувається комфортно, і її організм не змушений адаптуватися до несприятливих зовнішніх факторів. Наприклад, при сприятливих умовах відсутній вплив надмірної спеки, що змусила б тіло активізувати механізми терморегуляції.

Мікроклімат у житлових і громадських будівлях формується багатьма параметрами, серед яких ключовими є:

– температура повітря;
– вологість повітря;
– чистота повітря;
– свіже повітря.

Усі ці характеристики мікроклімату приміщень можна не тільки вимірювати, але й регулювати за допомогою кліматичної техніки. Зупинимося детальніше на кожному з них.

Температура повітря. Вимоги. Норми мікроклімату встановлюють температурний режим у приміщеннях. У теплу пору року рекомендована температура становить 22-25 °С. У холодний сезон показники дещо нижчі: 20-23 °С для житлових кімнат, 24-26 °С для ванної, 23-24 °С для дитячих кімнат, і близько 20 °С для інших приміщень.

Регуляція. Якщо температура нижча за комфортну, необхідно використовувати обігрівач. У разі надмірно гарячих батарей знадобиться терморегулятор, який допоможе суттєво знизити температуру в кімнаті. Влітку охолодження приміщення забезпечується кондиціонером, який у зимовий період може замінити обігрівач за наявності функції нагріву.

Вологість повітря. Вимоги. Оптимальна для людини вологість повітря становить 40-60%. Підвищення цього рівня призводить до вогкості, яка може зіпсувати майно та сприяти утворенню цвілі. Занадто низька вологість також

небажана, оскільки може викликати сухість у горлі, очах, а також зробити шкіру, особливо обличчя й рук, сухою та грубою.

Для мікроклімату приміщень рекомендовані інші показники: 30-45% узимку і 30-60% улітку. Проте не кожна людина почуватиметься комфортно за таких умов. Варто зазначити, що діти потребують більш вологого повітря, ніж дорослі.

Вимірювання. Вологість можна вимірювати за допомогою побутового гігрометра, домашньої метеостанції або багатофункціонального приладу NavyFlex (про нього буде згадано нижче).

Регуляція. Щоб підвищити вологість, застосовують зволожувачі повітря. У боротьбі з високою вологістю необхідно усунути протікання, утеплити промерзаючі конструкції та забезпечити якісну вентиляцію (детальніше можна дізнатися за посиланням).

Чистота повітря. Вимоги. Повітря у квартирі може бути забруднене з різних джерел. Насамперед це частинки, що проникають ззовні через відкриті вікна чи системи вентиляції без очищення. Це може бути пил, пилок, вихлопні гази або промислові викиди. Також можливі випаровування з меблів, оздоблювальних матеріалів чи предметів, включаючи формальдегід. Крім того, існують біологічні забруднення від людей – так звані антропотоксини, що містять ацетон, аміак, феноли, аміни, вуглекислий газ.

Рівень небезпеки забруднювачів може варіюватися. Наприклад, сірководень із сусіднього заводу завдасть більше шкоди, ніж будь-який із антропотоксинів. Проте забезпечення якісного мікроклімату передбачає мінімізацію вмісту забруднювачів у повітрі.

Вимірювання. Точний аналіз складу та чистоти повітря можливий лише зі спеціальним обладнанням, яке використовують у хімічних лабораторіях. Непрямим показником чистоти повітря є концентрація вуглекислого газу. Чим вона вища, тим гірше вентиляція і більше накопичується забруднень у приміщенні.

Регуляція. Очищувати повітря можливо завдяки припливній вентиляції з системою фільтрації, наприклад, використовуючи компактний брізер. Фільтри такого пристрою ефективно затримують пил, пилок, мікроорганізми, гази та запахи. Брізер також може функціонувати як очищувач повітря, видаляючи забруднення, що виникають усередині приміщення. Для посилення ефекту можна використовувати брізер у поєднанні з очищувачем-знезаражувачем повітря, який не лише затримує віруси та інфекції, а й знищує їх, що суттєво знижує ризик захворювання.

Свіжість повітря. Вимоги. Якість повітря визначається рівнем вмісту вуглекислого газу, який вимірюється в ppm. Як і у випадку з вологістю, існують розбіжності між державними стандартами та рекомендаціями фізіологів щодо оптимального рівня. Допустимими параметрами мікроклімату вважаються 800–1400 ppm, але лікарі радять підтримувати значення близько 800 ppm, за якого більшість людей почуваються комфортно. Якщо рівень вуглекислого газу підвищується, виникає відчуття задухи, млявість, втома, знижується концентрація та працездатність.

Вимірювання. Для визначення рівня вуглекислого газу використовуються спеціальні датчики, наприклад, такі, як у базовій станції NavyFlex.

Регуляція. Свіжість повітря залежить від ефективності вентиляційної системи. Необхідно забезпечити постійний приплив свіжого повітря з вулиці та витяжку забрудненого повітря, насиченого вуглекислим газом. Правильно налаштована вентиляція вирішує кілька завдань одночасно: забезпечує чисте повітря, усуває забруднення, а також допомагає регулювати рівень вологості.

У попередньому пункті ми згадували про компактний вентиляційний пристрій – брізер. Його головна задача – організація припливу свіжого повітря. Брізер здатний обслуговувати 4-5 осіб, очищуючи та при необхідності підігріваючи повітря.

Для видалення повітря використовуються витяжки в кухні, ванній кімнаті або санвузлі. Для посилення їхньої роботи можна встановити додатковий витяжний вентилятор.

Управління мікрокліматом. Розібравшись із вимогами до мікроклімату та переліком кліматичної техніки, залишилося зрозуміти, як управляти всією цією системою (рис.1.6).



Рисунок – 1.6 Клімат контроль для дому та квартири

Для тих, хто прагне забезпечити комфортний мікроклімат, але не бажає постійно відслідковувати показники та вручну налаштовувати роботу техніки, є два рішення.

Перший варіант – це система «розумного будинку», що включає датчики та керуючий пристрій для контролю і налаштування параметрів «погоди в домі» (рис. 1.7).



Рисунок – 1.7 Система керування кліматом

Другий варіант – автономна система управління мікрокліматом, яка не потребує складних алгоритмів і дорогого обладнання «розумного будинку» (рис. 1.8).



Рисунок – 1.8 Система розумного будинку: керування кліматом

Як приклад, базова станція MagicAir є центральною складовою саме такої автономної системи. Вона дозволяє вимірювати ключові параметри мікроклімату: температуру, вологість, а також рівень вуглекислого газу (що свідчить про свіжість і частково чистоту повітря). У разі некоректних показників користувач може через мобільний додаток задати бажані параметри кількома дотиками. Базова станція, оснащена ІК-модулем, забезпечить управління кліматичною технікою для підтримання оптимальних умов.

1.3 Дослідження мікроклімату у виробничих приміщеннях

Метою дослідження є вивчення основних параметрів мікроклімату у виробничих приміщеннях, ознайомлення з їх оптимальними та допустимими значеннями, набуття практичних навичок користування нормативними документами, опанування приладів контролю параметрів, методики

проведення досліджень, а також виконання аналізу параметрів мікроклімату в конкретному виробничому середовищі.

Основні теоретичні відомості. Мікроклімат виробничих приміщень визначається як сукупність умов внутрішнього середовища, що впливають на організм людини. До цих умов належать температура, вологість, швидкість руху повітря та теплове випромінювання.

Основними параметрами мікроклімату є: температура, відносна вологість, швидкість руху повітря та інтенсивність теплового випромінювання.

Ці параметри можуть значно варіюватися і мають істотний вплив на самопочуття та здоров’я працівників, а також на продуктивність і якість виконуваної роботи.

Для забезпечення нормального функціонування фізіологічних процесів тепло, яке виділяється організмом людини, має повністю передаватися навколишньому середовищу. Порушення теплового балансу організму може призвести до перегрівання чи переохолодження, що в результаті викликає втрату працездатності, свідомості або навіть теплову смерть. Кількість тепловиділення організмом залежить від рівня фізичного навантаження в умовах конкретного клімату і варіюється від 85 Дж/с у стані спокою до 500 Дж/с при важкій фізичній роботі

Тепловий комфорт досягається за умов, коли тепло, що виділяється організмом (Q тв), повністю поглинається навколишнім середовищем (Q тн), тобто тепловий баланс зберігається (Q тв = Q тн). У таких умовах температура внутрішніх органів підтримується на рівні 36,6°C.

Організм людини здатний зберігати стабільну температуру тіла в межах широких коливань параметрів навколишнього середовища. Наприклад, тіло людини підтримує температуру 36,6°C при навколишній температурі від -40°C до +40°C. При цьому температура окремих ділянок тіла може коливатися від 24°C до 37,1°C.

Найбільш інтенсивний обмін речовин відбувається у печінці, температура якої сягає 38,0…38,5°С. Температура шкіри змінюється відповідно до добового біоритму: максимальні значення (37,0…37,1°С) спостерігаються о 16:00–19:00, мінімальні (36,0…36,2°С) – о 2:00–4:00 за місцевим часом.

Уперше рівняння теплового балансу між людиною та навколишнім середовищем було проаналізовано у 1884 році професором І.І. Флавіцьким. Теплообмін здійснюється через:

- конвекцію внаслідок обтікання тіла повітрям (Q к);
- теплопровідність через одяг (Q т);
- випромінювання на навколишні поверхні (Q в);
- тепломасообмін (Q тм), включаючи випаровування вологи потовими залозами (Q п) і дихання (Q д).

Рівняння теплового балансу визначається формулою 1.1:

$$Q_{тн} = Q_{к} + Q_{т} + Q_{в} + Q_{п} + Q_{д}, \quad (1.1)$$

Конвективний теплообмін визначається за законом Ньютона, згідно з формулою 1.2:

$$g_{к} = \alpha_{к} \times F_{е} \times (t_{пов} - t_{нс}), , \quad (1.2)$$

де $t_{пов}$ - температура поверхні тіла людини (взимку – 27,5°С, влітку – 31°С);

$t_{нс}$ - температура навколишнього середовища;

$F_{е}$ - – ефективна поверхня тіла людини (50…80% геометричної зовнішньої поверхні тіла);

Для практичних розрахунків приймається рівною

1,8 м^2; $\alpha_{к}$ = 4,06 Вт/(м^2×град).

Рівняння Фур'є, яке описує теплопровідність у однорідному полі, має вигляд формули 1.3:

$$g_m = \alpha_o / \Delta_o \times F_e \times (t_{пов} - t_{нс}), \quad (1.3)$$

де α_o - коефіцієнт теплопровідності тканин одягу людини, Вт/град;

Δ_o - товщина тканин одягу людини, м.

Теплообмін випромінювання відбувається через електромагнітні хвилі між тілами, розділеними променепрозорим середовищем. Теплова енергія на гарячій поверхні перетворюється у променисту і передається до холодної поверхні, де знову стає тепловою. Інтенсивність променистого потоку залежить від температури оточуючих поверхонь і визначається узагальненим законом Стефана-Больцмана, за формулою 1.4:

$$g_в = C_{пр} \times F_1 \times \gamma_{1-2} \times \{ (T_1/100) - (T_2/100)\}, \quad (1.4)$$

де T_1 - середня температура поверхні тіла та одягу людини, К;

T_2- середня температура оточуючих поверхонь, К;

γ_{1-2} - коефіцієнт опромінюваності, що залежить від розташування та розмірів поверхонь F_1 і F_2, і визначає частку тепла, що припадає на поверхню F_2 від всього потоку, який випромінюється поверхнею F_1;

$C_{пр} = C_1 \times C_2 / C_0$ приведений коефіцієнт випромінювання, Вт/(м^{2}К^4); C_0 - коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла.

Кількість тепла, яке людина віддає в навколишнє середовище через випаровування вологи, що виділяється потовими залозами, обчислюється за формулою 1.5:

$$g_п = G_п \times r, \quad (1.5)$$

де - $G_п$ - кількість вологи, що виділяється та випаровується, кг/с;

r - прихована теплота випаровування вологи Дж/кг.

Кількість тепла, що віддається через випаровування поту, залежить від температури повітря, інтенсивності роботи, швидкості руху повітря та його відносної вологості.

Кількість тепла, що витрачається на нагрівання повітря під час вдиху, обчислюється за формулою 1.6:

$$g_д = V_{лв} \times \zeta_{вд} \times C_р \times (t_{вид} - t_{вд},) \quad (1.6)$$

де $V_{лв}$ - легенева вентиляція, $м^3/с$;

$\zeta_{вд}$ - густина вологого повітря, що вдихається $кг/м^3$;

$C_р$ - питома теплоємність повітря, Дж/(кг/град);

$t_{вид}$ - температура повітря, що видихається, °С;

$t_{вд}$ - температура повітря, що t вдихується, °С.

Легенева вентиляція – це обсяг повітря, вдихуваного людиною за одиницю часу, і визначається як добуток об’єму повітря, вдихуваного за один цикл, на кількість дихальних циклів за секунду.

Кількість тепла, що виділяється організмом разом із повітрям, яке видихається, залежить від рівня фізичного навантаження, тривалості дихання, а також температури навколишнього середовища.

На теплообмін впливають параметри мікроклімату. Тепловіддача шляхом конвекції залежить від температури повітря, його вологості та швидкості руху в робочій зоні.

Віддача тепла випаровуванням зумовлена відносною вологістю і швидкістю повітряного потоку, тоді як віддача через випромінювання залежить від температури навколишніх предметів та обладнання.

Якщо температура тіла вища за температуру середовища, теплота випромінюється з організму в навколишнє середовище. За вищих температур навколишніх предметів тепло передається у зворотному напрямку – від предметів до організму.

Для нормального функціонування організму температура тіла повинна залишатися стабільною. Надлишкове тепло, що утворюється в процесі діяльності, має відводитися в середовище. Рівновага між теплом, яке виділяється організмом, і здатністю середовища до охолодження забезпечує тепловий комфорт.

При відхиленні параметрів мікроклімату від комфортних організм включає механізми терморегуляції, які контролюються центральною нервовою системою, забезпечуючи баланс між організмом і середовищем.

Терморегуляція буває двох видів: хімічна та фізична.

Хімічна терморегуляція забезпечується зміною рівня обміну речовин: його зниженням у разі перегріву або збільшенням у разі охолодження. Втім, її роль у тепловій рівновазі порівняно мала.

Фізична терморегуляція полягає у віддачі тепла через випромінювання, теплопровідність, конвекцію та випаровування.

Суттєві відхилення параметрів мікроклімату від оптимальних можуть спричинити серйозні фізіологічні порушення, зниження працездатності та навіть професійні захворювання.

2 ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОСПОЖИВАННЯ ПРИ РОЗРАХУНКАХ КОНСТРУКЦІЙ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ, ЩО ЗАХИЩАЮТЬ

2.1 Порядок проведення теплотехнічного розрахунку огороджувальних конструкцій будівель та споруд

У теплової ізоляції встановлено три обов'язкові взаємно пов'язані нормовані показники з теплового захисту будівлі:

а) нормоване значення опору теплопередачі окремих огороджувальних конструкцій;

б) нормовані величини температурного перепаду між температурами внутрішнього повітря і поверхні огороджувальної конструкції і температурою на внутрішній поверхні огороджувальної конструкції вище температури точки роси;

в) нормована питома витрата теплової енергії на опалення будівлі, що дозволяє варіювати показники теплозахисних властивостей конструкцій, що захищають, з урахуванням підтримки необхідних параметрів мікроклімату в приміщеннях.

При проєктуванні теплового захисту житлових та громадських будівель необхідно дотримуватись вимог показників «а» і «б» або «б» і «в»; для виробничих будівель – показників «а» та «б». При цьому вимогам показника "б" повинні задовольняти всі види конструкцій, що захищають.

Перевірку дотримання вимог теплового захисту конструкцій, що захищають, за показником «а» проводять у наступній послідовності:

– визначають нормовані значення опорів теплопередачі R_{req} огороджувальних конструкцій (зовнішніх стін, покриттів, горищних та цокольних перекриттів, вікон, балконних дверей та ліхтарів, зовнішніх дверей та воріт) по градусо-добам опалювального періоду;

– перевіряють на допустиму величину розрахункового перепаду температури t_n;

– розраховують енергетичні параметри заповнення енергетичного паспорта.

Проєктування теплового захисту будівлі на основі питомої витрати теплової енергії на опалення будівлі за показником «б» здійснюють у наступній послідовності:

– встановлюють нормовані значення опору теплопередачі R_{req} огороджувальних конструкцій (зовнішніх стін, покриттів, горищних та цокольних перекриттів, вікон, балконних дверей та ліхтарів, зовнішніх дверей та воріт) залежно від градусо-доби опалювального періоду;

– призначають необхідний повітрообмін та визначають побутові тепловиділення;

– встановлюють клас будівлі (А, В або С) з енергетичної ефективності. У разі вибору класу А або В визначають відсоток зниження питомих витрат, що нормуються;

– визначають нормоване значення питомої витрати теплової енергії на опалення будівлі q_h^{req} залежно від класу будівлі, її типу, поверховості та її підключення до системи теплопостачання;

– розраховують питому витрату теплової енергії на опалення будинків за опалювальний період q_h^{des} і порівнюють його з нормованим значенням q_h^{req}.

За показником «в» проєктування теплового захисту будівель та споруд зводиться до визначення комплексної величини енергозбереження від використання архітектурних, будівельних, теплотехнічних та інженерних рішень, спрямованих на економію енергетичних ресурсів. Це дозволяє знизити, порівняно з показником «а», нормовані значення опору теплопередачі для конкретних видів конструкцій, що захищають, але не нижче мінімальних величин, встановлених в п. 5.13.

2.2 Розрахунок питомої витрати теплової енергії на опалення житлового будинку



Рисунок – 2.1 Утеплення фасаду, фасад будинку

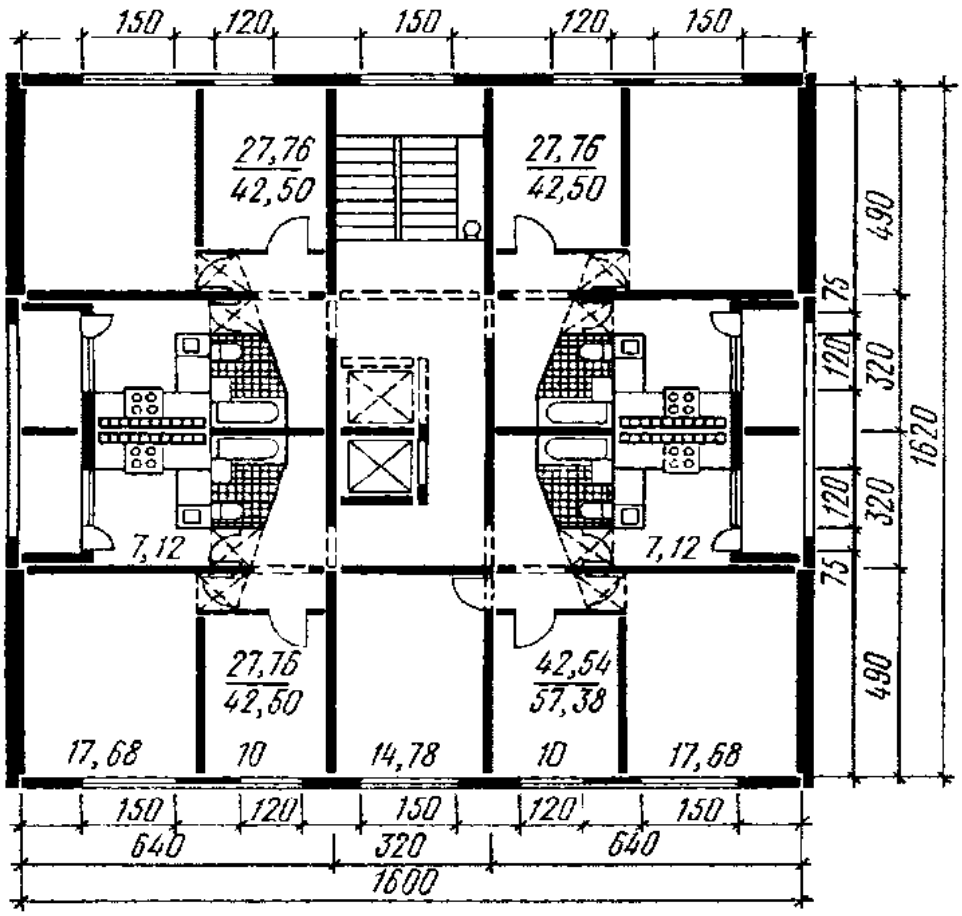


Рисунок – 2.2 Розміри в плані секції типового поверху житлового будинку

Вихідні дані. Об’єктом теплотехнічного дослідження є житловий будинок у місті Новомосковськ. Будівля представляє собою п'яти поверхову трикорпусну будівлю, висота якої складає 21,00 метрів. Загальна площа – 2160 м², загальний об'єм – 5533 м^3. Будівля була побудована у 2012 році. Будівля класу СС 1, прийнята ступінь вогнестійкості – II, довговічність огороджуючи і несучих конструкцій – II.

2.2.1 Теплотехнічний розрахунок зовнішніх стін

Стіни в будинку з керамічної цегли на вапняному розчині М-25 (з утепленням). Зв’язок між зовнішньою та внутрішньою кладкою виконується прокладкою стрижнів Ø4 А240С через п’ять рядів кладки. З зовні виконується утеплювання зовнішніх стін по системі «ДРАЙВІТ». Товщина зовнішніх стін 510 мм.

Таблиця 2.1 – Кліматичні параметри для м. Новомосковськ

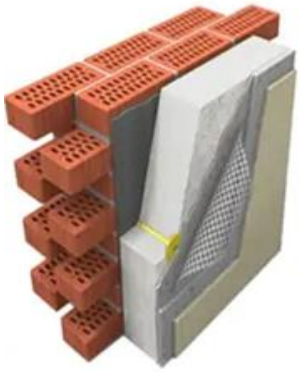
№ п/п	Розрахункова зимова температура *t* зовнішнього повітря і зона вологості	Значення ДСТУ- Н Б В.1.1-27: 2010 таблиця 2 [1]
1.	Абсолютна мінімальна	- 22^{o}C
2.	Найбільш холодної доби, забезпеченістю 0,92	- 27^{o}C
3.	Найбільш холодної п'ятиденки, забезпеченістю 0,92	- 24^{o}C
4.	Зона ДСТУ Б EN 15251:2011	(нормальна)

Таблиця 2.2 – Мікроклімат приміщення й умови експлуатації огородження

№ п/п	Найменування	Значення	Обґрунтування
1.	Розрахункова *t* впровадженого повітря	$\mathbf{t_в}$ =24°С	Таблиця Б.1
2.	Вологість повітря	jφ =45°С	Таблиця Б.1
3.	Вологий режим приміщення нормальний	нормальний	Таб.6[1]
4.	Умови експлуатації огородження	Б	Таб.7.[1]

Метою теплотехнічного розрахунку є визначення необхідної товщини утеплювача для конструкції *зовнішньої стіни*.

Таблиця 2.3 – Конструкція стіни і розрахункові коефіцієнти

Конструкція стіни	Розрахункові характеристики матеріалів
	1 шар – цементно-піщаний розчин М100, ρ_0 = 1800 кг/м^3 δ_1 = 0,05 м; $\lambda_1^{Б}$ = 0,87 Вт/м·К. 2 шар – кладка цегляна з повнотілої цегли силікатної на цементно-пісчаному розчині: ρ_0 =1800 кг/м^3; δ_2 = 0,51 м; $\lambda_2^{Б}$ = 0,87 Вт/м·К. 3 шар – утеплювач: мінераловатні плити на синтетичному зв'яжучому негофрованої структури: ρ_0 =175 кг/м^3; δ_3 – ? $\lambda_3^{Б}$ = 0,072 Вт/м·К. 4 шар – вапняно-піщаний розчин (штукатурка): ρ_0=1800 кг/м^3; δ_4 = 0,03 м; $\lambda_4^{Б}$ = 0,87 Вт/м·К.

Виконання розрахунку:

За картою – схемою температурних зон України (рис. 2.1) визначаємо, що м. Новомосковськ розташоване в І температурній зоні.

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі зовнішніх стін житлових будинків для І температурної зони становить: $R_{q\,min}$ = 4,0 м^2·К/Вт.

Для здійснення теплотехнічного розрахунку приймаємо значення коефіцієнтів тепловіддачі внутрішньої $\alpha_в$ = 8,7 та зовнішньої $\alpha_з$ = 23,0 (м^2×К)/ Вт поверхонь огороджувальної конструкції, що проєктується.

Розраховуємо за теплотехнічними показниками необхідну товщину теплозахисного шару (утеплювача) $\boldsymbol{\delta}_у$, м.

Термічний опір кожного шару огороджуючої конструкції (м^2×К)/Вт, визначається за формулою 2.1:

$$R_{\Sigma\,пр} = \frac{1}{a_{внутр.}} + \sum_i R_i + \frac{1}{a_{зовн.}} \qquad (2.1)$$

де R_i - опір теплопередачі і-го шару конструкції стіни (нумерація шарів від 1 до 4 згідно таблиці 1.1), (м^2 × К)/Вт. Визначається за формулою 2.2;

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_{ip}} \qquad (2.3)$$

де δ_i – товщина і-го шару матеріалу, м;

λ_{ip} – теплопровідність матеріалу і-го шару в розрахункових умовах експлуатації, Вт/(м × К).

Розрахункова товщина утеплювача δ_3, м, визначається за формулою 2.3:

$$\delta_3 = (R_{q\,min} - \frac{1}{a_{внутр.}} - \frac{\delta_1}{\lambda_1} - \frac{\delta_2}{\lambda_2} - \frac{\delta_4}{\lambda_4} - \frac{1}{a_{зовн.}}) \times \lambda_3 \qquad (2.3)$$

δ_3 = (4,0 - 0,11- 0,057 – 0,58 -0,034-0,043) ×0,072 =3,176 × 0,072 = 0,228 м

Приймаємо товщину утеплювача $\delta_у$ = 0,24 м = 240 мм.

Необхідний термічний опір шару утеплювача $R_{\Sigma пр}$ (м^2×К)/Вт, визначається за формулою 2.4:

$$R_{\Sigma пр} = \frac{1}{\alpha_в} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_4}{\lambda_4} + \frac{1}{\alpha_н}, \quad (2.4)$$

Підставляючи знайдені значення до формули 2.2, визначимо термічний опір шару утеплювача:

$R_{\sum пр}$ = 0,11 +0,072 +0,58 +3,33+0,034+ 0,043= 4,17 м^2×К/Вт

Виконуємо перевірку виконання обов'язкової умови проєктування огороджувальних конструкцій за теплотехнічними вимогами за формулою 2.1

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{q\,min} \quad (2.5)$$

$$4{,}17 > 4{,}0\ (м^2 \cdot К) / Вт$$

Прийнята конструкція зовнішніх стін задовольняє теплотехнічним вимогам.

За розрахованими даними товщина зовнішньої стіни становить:

$$\delta = \delta_1 + \delta_3 + \delta_y = 0{,}05 + 0{,}51 + 0{,}24 + 0{,}03 = 0{,}83\ (м) = 830\ мм.$$

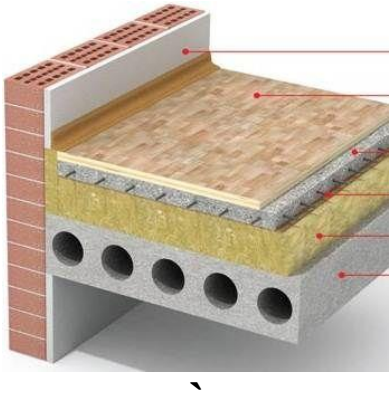
2.3.2 Теплотехнічний розрахунок перекриття

Перекриття виконані з багатопустотних залізобетонних плит перекриття товщиною 220 мм. У даному проєкті використовуються наступні розміри плит:

Таблиця 2.4 – Класифікація плит перекриття та покриття

№ п/п	Найменування елементів	Ескіз і основні	Кіл. шт.	Маса, т	
				одного	загальна
1	Плита перекриття та покриття	ПП 1 6000×1500 мм	12	2,82	50,76
		ПП 2 4800×1500 мм	12	1,3	5,2
		ПП 3 4800×1200 мм	6	1,09	8,72
		ПП 4 3200× 1200 мм	3	1,09	8,72

Таблиця 2.5 – Конструкція перекриття і розрахункові коефіцієнти

Конструкція перекриття	Розрахункові характеристики матеріалів
	1 шар – цементно-піщаний розчин М100, ρ_0 = 1800 кг/м^3 δ_1 = 0,03 м; $\lambda_1^Б$ = 0,87 Вт/м·К. 2 шар – утеплювач – плити пінополістирольні: ρ_0 =50 кг/м^3; δ_2 = ? $\lambda_2^Б$ = 0, 045 Вт/м·К. 3 шар – пароізоляція – (в розрахунок не включається) 4 шар – залізобетонна багатопустотна плита перекриття: ρ_0=2500 кг/м^3; δ_4 = 0,22 м; $\lambda_4^Б$ = 2,04 Вт/м·К.

Виконання розрахунку:

Мінімально допустиме значення теплового опору зовнішніх стін житлових споруд для першої кліматичної зони складає: $R_{q\,min} = 4{,}0$ м^2·К/Вт.

Для виконання теплотехнічного розрахунку враховуються коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої поверхні $\alpha_в = 8{,}7$ та зовнішньої $\alpha_з = 23{,}0$ Вт/ (м^2 ×·К) для огороджувальної конструкції, що проєктується.

Розрахунок необхідної товщини утеплювача $\delta_з$, м, здійснюється за формулою 2.3:

$$\delta_З = (4{,}0 - 0{,}11 - 0{,}034 - 0{,}107 - 0{,}043) \times 0{,}045 = 3{,}706 \times 0{,}045 = 0{,}166 \text{ м}$$

Приймаємо товщину теплоізоляційного шару $\delta_у = 0{,}18$ м =180 мм.

Розрахунок необхідного термічного опору утеплювача $R_{Σпр}$ (м^2×К)/Вт проводиться за формулою 2.4:

Підставивши отримані значення у формулу 2.2, визначаємо термічний опір теплоізоляційного шару:

$$R_{пр} = 0{,}11 + 0{,}034 + 0{,}107 + 4{,}0 + 0{,}043 = 4{,}29 \text{ м}^2\times\text{К/Вт}$$

Перевіряємо виконання обов’язкових теплотехнічних вимог для проєктування огороджувальних конструкцій, використовуючи формулу 2.1

$$R_{Σ\,пр} \geq R_{q\,min} \qquad (2.5)$$

$$4{,}29 > 4{,}0 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$$

Обрана конструкція перекриття відповідає встановленим теплотехнічним нормам.

2.3.3 Теплотехнічний розрахунок горищного покриття

Таблиця 2.6 – Дах в будинку горищний, крокв'яний.

Горище утеплюванне. Крокви даха - дерев'яні.

Особливості конструкції горищного покриття	Параметри матеріалів для розрахунку
	1 шар – бітумно-полімерні покрівельні, ρ_0 = 1200 кг/м^3 δ_1 = 0,035 м; $\lambda_1^{Б}$ = 0,22 Вт/(м^{2o}С). 2 шар – пергамін, ρ_0 = 600 кг/м^3 δ_2 = 0,003 м; $\lambda_1^{Б}$ = 0,17Вт/(м^{2o}С). 3 шар – листи OSB- фанера клеєна: ρ_0 =600 кг/м^3; δ_3 – 0,18 м; $\lambda_3^{Б}$ = 0,18 Вт/(м^{2o}С). 4 шар – утеплювач: мати прошивні із мінеральної вати теплоізоляційні: ρ_0 =125 кг/м^3; δ_4 – ? $\lambda_3^{Б}$ = 0,070 Вт/(м^{2o}С). 5 шар – пароізоляція «RockWoll»: ρ_0 =175 кг/м^3; δ_5 – 0,001 м; $\lambda_3^{Б}$ = 0,95 Вт/(м^{2o}С). 6 шар – дерев'яний брус сосна поперек волокон: ρ_0=500 кг/м^3; δ_6 = 0,165 м; $\lambda_4^{Б}$ = 0,18 Вт/(м^{2o}С).

Виконання розрахунку:

Мінімальне значення опору теплопередачі покриття житлових будинків для першої температурної зони дорівнює: $R_{q\,min} = 6{,}0$ м^2·К/Вт.

Для виконання теплотехнічного розрахунку приймаємо коефіцієнти тепловіддачі: внутрішній αв = 7,6 та зовнішній αз = 23,0 Вт/(м2·К)

Підставляючи відповідні параметри у формулу 2.1, розрахуємо опір теплопередачі для кожного шару конструкції покриття:

$\delta_4 = (6{,}0-0{,}13-0{,}15-0{,}0176-1-0{,}01-0{,}916-0{,}043) \times 0{,}070 = 3{,}73 \times 0{,}070 = 0{,}26$ м

Товщину утеплювача обираємо відповідно до існуючої номенклатури виробів — 300 мм.

Термічний опір шару утеплювача, виражений у (м2×К)/Вт, визначається за формулою 2.4:

Вставляючи отримані значення до формули 1.2, розраховуємо термічний опір шару утеплювача:

$R_{пр} = 0{,}13 +0{,}15+0{,}0176+1+0{,}01+0{,}916+ 4{,}28+0{,}043= 6{,}55$ м^2×К/Вт

Відповідно до встановлених норм для зовнішніх конструкцій будівель і споруд, які опалюються, необхідно забезпечити дотримання умови 2.4:

$$R_{\Sigma\,пр} \geq R_{q\,min} \qquad (2.5)$$

$R_{пр} = 6{,}55$ м^2×К/Вт > $R_{qmin} = 6{,}0$ м^2×К/Вт

Умова дотримується, обраний тип конструкції є правильним.

3 ВИЗНАЧЕННЯ ПОЧАТКУ ОПАЛЮВАЛЬНОГО ПЕРІОДУ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ОПТИМАЛЬНИХ ТА ДОПУСТИМИХ ПАРАМЕТРІВ У ЖИТЛОВИХ ПРИМІЩЕННЯХ

3.1 Розрахунок систем опалення

Головним нормативним документом, що регламентує проєктування систем опалення, вентиляції та кондиціонування будівель і споруд, є відповідні стандарти.

Опалення – це процес штучного нагрівання приміщень протягом опалювального періоду для компенсації тепловтрат і підтримання встановленої температури, допускаючи середню незабезпеченість до 50 годин на рік.

Система чергового опалення – це окрема система або режим експлуатації основної системи, який забезпечує обігрів приміщення чи будівлі у неробочий час або під час перерв у їх використанні.

Комбінована система опалення – це інтеграція постійно працюючої базової системи для часткового обігріву з додатковою системою догріву, що вмикається періодично в робочі години (рис. 3.1).

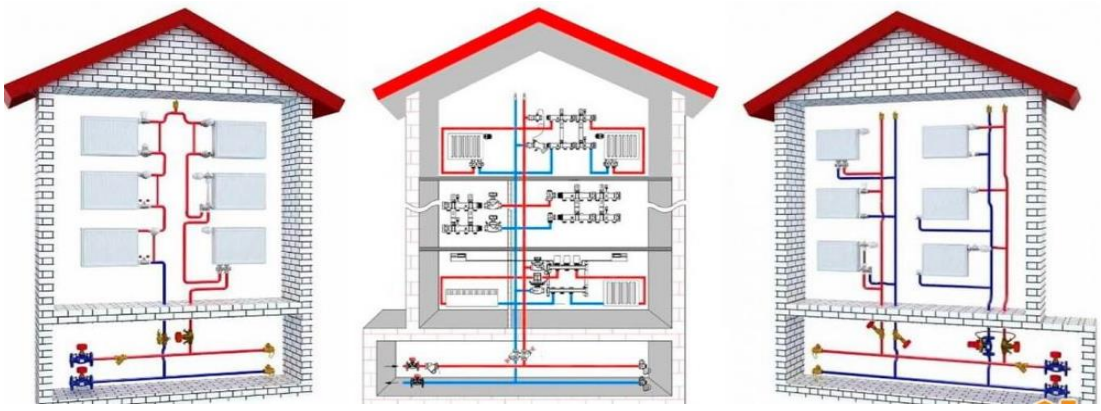


Рисунок – 3.1 Розробка систем опалення будівель і споруд

Процес проєктування систем опалення починається з оцінки тепловтрат через огороджувальні конструкції. Ця оцінка базується на теплотехнічних розрахунках огороджувальних елементів.

Головна мета теплотехнічного розрахунку – визначити необхідний обсяг тепла для компенсації втрат у приміщеннях будівлі. Отримані результати застосовуються для проєктування, вибору та обчислення систем опалення як для окремих приміщень, так і для будівлі в цілому.

Розрахунок теплового навантаження системи опалення включає визначення:

- трансмісійних тепловтрат через огороджувальні конструкції;
- вентиляційних тепловтрат, пов’язаних із нагріванням інфільтраційного повітря.

Для періодичного режиму роботи опалення додається ще компенсаційна теплова потужність для забезпечення комфорту в приміщеннях.

Для раціонального вибору системи опалення необхідно провести детальні розрахунки тепловтрат як для окремих приміщень, так і для всієї будівлі, виключаючи вплив побутових або виробничих тепловиділень

Основи гідравлічного розрахунку трубопроводів систем опалення будівель наведені нижче. Найпоширенішою системою обігріву для житлових будівель є водяне опалення. Менш популярними є парове, повітряне та пічне опалення.

Крім основних, можуть застосовуватись додаткові системи, такі як електро-, паро- або повітряне опалення. Гідравлічні розрахунки для систем водяного опалення проводяться після вибору та обчислення параметрів опалювальних приладів. Подібні підходи використовуються для розрахунку паропроводів і конденсатопроводів у парових системах.

Для обраної системи опалення будівлі виконуються розрахунково-проєктні роботи, результати яких заносяться в таблицю гідравлічного

розрахунку трубопроводів, а також створюється аксонометричне креслення системи опалення згідно із заданим порядком.

1. На планах поверхів позначаються місця розташування опалювальних приладів, стояків, магістральних трубопроводів, розширювального бака (у системах із природною циркуляцією), а також теплового пункту (котла з обв'язкою).

2. Розробляється аксонометрична схема трубопроводів системи опалення, яка зазвичай виконується у масштабі планів будівлі.

3. На планах та аксонометричних схемах умовними позначеннями відображаються всі конструктивні елементи системи, включаючи їхні параметри та технічні характеристики.

4. В аксонометричній схемі вказуються теплові навантаження, що припадають на кожен опалювальний прилад. Теплове навантаження стояка визначається як сума навантажень приладів, які до нього підключені.

5. Вибирається головне циркуляційне кільце системи (ГЦК), що має мінімальний можливий циркуляційний тиск на одиницю довжини трубопроводу. Це кільце вважається гідравлічно найменш вигідним. Для цього кільця здійснюється розрахунок за формулою (3.1):

$$\frac{\Delta p_p}{\sum l} \to \min; \begin{cases} \Delta p_p \to \min; \\ \sum l \to \max; \end{cases} \qquad (3.1)$$

де $\Delta \rho_\rho$ Па – наявний циркуляційний тиск у кільці;

Σl м – загальна довжина циркуляційного кільця.

У тупикових однотрубних схемах головне циркуляційне кільце зазвичай проходить через найбільш віддалений стояк, зокрема через нижній опалювальний прилад цього стояка. Для тупикових схем двотрубних систем це правило застосовується аналогічно.

У системах з попутнім рухом теплоносія ГЦК проходить через один із середніх стояків, який має найбільше теплове навантаження, – для

однотрубних систем; через нижній прилад цього стояка – для двотрубних систем.

Такі принципи визначення ГЦК є актуальними як для систем опалення з природною, так і з примусовою циркуляцією теплоносія.

6. Головне циркуляційне кільце розбивається на окремі ділянки, що представляють собою сегменти трубопроводів з незмінними параметрами витрати теплоносія та діаметром труб. Для кожного сегмента визначаються його номер, величина теплового навантаження і протяжність.

7. Витрата води, яка протікає через розрахункову ділянку, обчислюється за формулою 3.2:

$$G = \frac{Q}{c(t_г - t_0)} \text{ кг/с} \qquad (3.2)$$

де Q, Вт – теплове навантаження для конкретної ділянки трубопроводу;

$t_г - t_0$, °С – різниця температур між гарячим та охолодженим теплоносієм у системі опалення;

с, Дж / (кг К) – питома теплоємність теплоносія. Для води: с = 4187 ≈ 4190 Дж / (кг К).

У розрахункових таблицях витрата води на кожній ділянці записується в кг/год, тому обчислення проводяться за формулою (3.3):

$$G = \frac{3.6Q}{4.19(t_г - t_0)} = \frac{Q}{1.16(t_г - t_0)}, \text{ кг/год} \qquad (3.3)$$

де 3,6 – перевідний коефіцієнт з Вт у кДж.

Для того щоб приблизно перевести витрату G з кг у м³, отримане значення слід поділити на густину теплоносія ρ, кг/м³, яка відповідає

температурі теплоносія на певній ділянці. Об'єм охолодженої води, що повторно подається з системи опалення до елеватора, обчислюється за наступною формулою (3.4):

$$G_п = G_{зм} - G_м = \frac{3,6}{4,19}\sum Q\left(\frac{1}{t_г - t_0} - \frac{1}{T_г - T_0}\right), \text{ кг/год} \qquad (3.4)$$

де $G_{зм}$, кг/год – витрата води, яка циркулює у системі опалення, враховуючи температури гарячої та охолодженої води в подаючій і зворотній магістралях, які відповідно дорівнюють $t_г$ та t_0, ^{0}C;

$G_м$, кг/год – обсяг гарячої води, що постачається до елеватора з тепломережі, де температури гарячої та охолодженої води складають $T_г$ і T_0 ^{0}C (часто припускається, що T0 = t0);

Σ Q Bm – сумарна кількість тепла, спожита системою опалення, що враховує теплове навантаження разом із втратами тепла в трубопроводах.

8. Для обраного головного циркуляційного кільця (ГЦК) визначають розрахунковий циркуляційний тиск $\Delta \rho_р$. Па.

а) У системах з природною циркуляцією води:

$$\Delta \rho = \Delta \rho_р + \Delta \rho_{mр} \qquad (3.5)$$

де природний (гравітаційний) циркуляційний тиск:

$$\Delta p = g\sum_{i=1}^{m} h_i(\rho_{i-1} - \rho_i) \qquad (3.6)$$

і додатковий природний циркуляційний тиск від охолодження води у трубопроводах:

$$\Delta p_{mp} = g \sum_{j=1}^{n} h_j (\rho_{j-1} - \rho_j) \qquad (3.7)$$

Зазвичай Δρmρ визначається за графіками (таблицями) пропорційно відстані від головного стояка до розрахункової точки.

У формулі (3.7):

g = 9,8 м/с^2 – прискорення вільного падіння;

i,j – порядкові номери в окремому стояку (або в двох стояках для двотрубної системи) умовних точок охолодження, розташованих вертикально посередині приладу (i = 1...m) чи ділянки труби між приладами (j =1…n);

h_i, h_J, м – висота від середини котла чи елеваторного вузла до відповідної умовної точки охолодження приладу чи ділянки труби;

ρ_i, ρ_J та ρ_{i+1}, $\rho_{J=1}$, кг/м^3 - густина води при температурі на вході та виході для приладу чи ділянки труби.

У системах із примусовою (штучною) циркуляцією розрахунковий циркуляційний тиск визначається за формулою (3.8):

$$\Delta p_p = \Delta p_n + Б(\Delta p + \Delta p_{mp}), \text{ Па} \qquad (3.8)$$

де $\Delta \rho_{\rho}$, Па – тиск, створений насосом чи елеватором, додатково до природного $\Delta \rho_\rho + \Delta \rho_{m\rho}$ за формулою (3.5);

Б – коефіцієнт, що враховує рекомендовану нормами частку впливу природного циркуляційного тиску: для двотрубних систем – 0,4-0,5, для однотрубних – 1.

Для систем довільної довжини ΔρН можна орієнтовно приймати з умови за формулою (3.9):

$$\Delta \rho_H = 80 \Sigma l, \qquad (3.9)$$

де Σl – сума довжин ділянок розрахункового кільця.

Природний тиск, що становить менше 10 % від створюваного насосом ($\Delta\rho+\Delta\rho_{тр} < 0.1\,\Delta\rho_{Н}$), у розрахунках не враховується, тобто $\Delta\rho = \Delta\rho_{Н.}$

9. Визначається $R_{ор}$ – орієнтовна питома втрата тиску на тертя, що припадає на 1 м довжини трубопроводу кільця. Розрахунок проводиться за методом визначення питомих втрат за формулою (3.10):

$$R_{ор} = 0.9 \times T\,\Delta\rho_{р.} / \Sigma l\ , \text{Па/м} \qquad (3.10)$$

де Т – частка втрат на тертя: для систем із природною циркуляцією – 0,5, із примусовою – 0,65;

10. Підбираються діаметри труб і ділянок за таблицею гідравлічного розрахунку трубопроводів для водяного опалення. Для передбачуваного Ø dy, мм, і заданої витрати води G, кг/год, визначається питома втрата тиску R, Па/м, та швидкість води v, м/с. Для малих Ø труб (підведень до приладів) значення R зазвичай беруть меншим за Rор, а швидкості – мінімальними. В інших випадках допускається, що R ≈ Rор. Швидкість обирається з умови v ≤ vmax. Для dy, мм: <15; 15; 20; 25; 32; ≥40 допустимі швидкості vmax, м/с, становлять відповідно: 0,25; 0,30; 0,65; 0,80; 1,0; 1,5.

Втрати тиску на тертя у трубопроводах визначаються за рівнянням Дарсі-Вайсбаха для втрат по довжині трубопроводу за формулою (3.11):

$$\Delta p_{довж} = \frac{\lambda\rho v^2}{2d} l = \frac{\lambda}{d} p_д l = Rl, \text{ Па} \qquad (3.11)$$

де λ – коефіцієнт Дарсі;

l , м – довжина трубопроводу з постійним діаметром d, м;

ρ, кг/м^3 - густина води;

v, м/с – швидкість теплоносія;

$\rho_д$, Па – динамічний тиск теплоносія;

R_1 , Па/м - питомі втрати на тертя води зі стінками трубопроводу.

11. Визначаються втрати тиску у місцевих опорах за формулою (3.12):

$$Z = \sum \xi \frac{\rho v^2}{2} = \sum \xi p_\partial \text{ Па} \qquad (3.12)$$

де $\sum \zeta$ – сума коефіцієнтів місцевих опорів. Для систем опалення ці значення беруться з довідників. Значення ζ і R1 зручно знаходити за номограмами.

12. Обчислюється сума втрат тиску R1 і Z для кожної ділянки. Після цього знаходиться загальна сума втрат тиску у системі ∑(R1 + Z), Па. Для головного циркуляційного кільця перевіряється виконання умови за формулою (3.13):

$$\sum (R_1 + Z) = (0{,}9\ldots0{,}95) \times \Delta \rho_\rho \qquad (3.13)$$

де Δρρ – Залишається запас у 5…10 % для компенсації неврахованих гідравлічних опорів.

Якщо умова (3.13) не виконується, значення R1 і Z на окремих ділянках кільця змінюються. Приймаються нові d і v, після чого визначаються відповідні R, R1, ∑ζ, Z і сума R1 + Z. Перевірка повторюється.

Розраховане за цією методикою головне циркуляційне кільце (ГЦК) приймається основним. Результати гідравлічного розрахунку ГЦК узгоджуються з відповідними значеннями d, v, R1 + Z для інших циркуляційних кілець. Кожне кільце системи має спільні точки з ГЦК, у яких здійснюється розподіл або злиття теплоносія. У кожному кільці є два півкільця: одне з них співпадає з частиною ГЦК, інше – розраховується окремо. Для узгодження розраховуються не менше 2–3 півкілець системи, що задовольняють умову (3.14):

$$\Delta = \left|\sum(\boldsymbol{Rl}+\boldsymbol{Z})_{г.ц.к.} - \sum(\boldsymbol{Rl}+\boldsymbol{Z})_{п.к.}\right| / \sum(\boldsymbol{Rl}+\boldsymbol{Z})_{г.ц.к.} \leq 0{,}15 \qquad (3.14)$$

де $\Delta \leq 15\ \%$ – неузгодженість втрат тиску у півкільці $\sum (R1 + Z)_{пк}$ з втратами тиску на відповідній ділянці ГЦК $\sum (R1 + Z)_{гцк}$.

Різницю тисків (неузгодженість) компенсують, наприклад, за допомогою кранів подвійного регулювання чи дроселювальної шайби.

Якщо гідравлічний розрахунок виконано лише частково (розраховано одну з приблизно рівнозначних віток), то для спрощення на нерозрахованих ділянках приймаються діаметри труб за аналогією до розрахованих.

У випадках, які потребують підвищеної точності, або для нерівнозначних віток (за довжиною, тепловим навантаженням чи втратами тиску), необхідно виконати повний гідравлічний розрахунок усіх віток та півкілець системи.

4 РОЗРОБИТИ ПРОПОЗИЦІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО БАЛАНСУ МІЖ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯМ ТА КОМФОРТНИМ МІКРОКЛІМАТОМ У ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ

4.1 Забезпечення комфорту та енергозбереження в житлових будинках

Житлово-комунальне господарство в нашій країні має величезні резерви економії енергії. Особливо це стосується багатоквартирних житлових будинків, збудованих до 2000 року. А оскільки ці будинки становлять основну частину житлового фонду, то енергозберігаючі заходи найефективніше здійснювати під час їх реконструкції та капітального ремонту.

Оскільки реконструкція житлових будівель дозволяє не лише продовжити їх життєвий цикл, а й значно покращити якість квартир, оснастити будинки сучасним інженерним обладнанням, підвищити їхню енергоефективність, цей напрямок є найбільш доцільним при вирішенні житлової проблеми.

Основний принцип, на якому повинні ґрунтуватися заходи щодо енергозбереження – це вирішення завдань створення у житлових будинках необхідного мікроклімату.

Одним із наслідків прагнення до енергозбереження стало підвищення вимог до герметичності будівель, зокрема зниження нормативної повітропроникності вікон за рахунок використання склопакетів. Оскільки в сучасних багатоповерхових будинках зазвичай використовується природна вентиляція, застосування герметичних вікон призвело до порушення принципу цих систем, у яких вікно є основним елементом, через нещільність якого здійснюється приплив свіжого повітря, а за відсутності нормативного

повітрообміну підвищується вологість, погіршується якість повітря, що знижує комфортність проживання. При поганій якості повітря у мешканців відзначаються проблеми зі здоров'ям: знижується імунітет та стійкість до інфікування, що особливо важливо за умов зараження коронавірусної інфекції.

Головними перевагами вентиляції з природним спонуканням є низька вартість та практично повна відсутність необхідності її обслуговування. Недоліки пов'язані із залежністю від атмосферних умов (температура повітря, вітер), що призводить до нестабільної роботи системи.

Якщо розглядати ефективність роботи природної вентиляції, якою оснащені існуючі житлові будинки і продовжують оснащуватися новобудови, протягом усього року, а не тільки за опалювальний період, то видно, що вона не забезпечує необхідного за санітарними нормами повітрообміну, оскільки її робота розраховується за чинними на даний час норм, виходячи із зовнішньої температури +5°С.

На (рис. 4.1) представлений графік зміни середньої температури зовнішнього повітря протягом року по місяцях у м. Київі, з якого наочно видно, що сім місяців протягом року вентиляція з природним спонуканням в житлових будинках практично не працює.

Компенсація нестачі свіжого повітря за рахунок відкривання в житлових кімнатах вікон досить часто буває неприйнятною через несприятливі екологічні умови, низьку або високу температуру зовнішнього повітря, шумове забруднення, що створює дискомфорт. Зокрема, в умовах великих міст відкривання вікон може сприяти проникненню пилу, викидів транспорту або шкідливих промислових газів, що значно погіршує якість повітря в приміщенні.

Відкривання вікон у таких ситуаціях залишається небажаним, особливо за наявності у квартирі кондиціонера, який при цьому отримує додаткове навантаження через спроби компенсувати зміну температури та підвищену вологість.

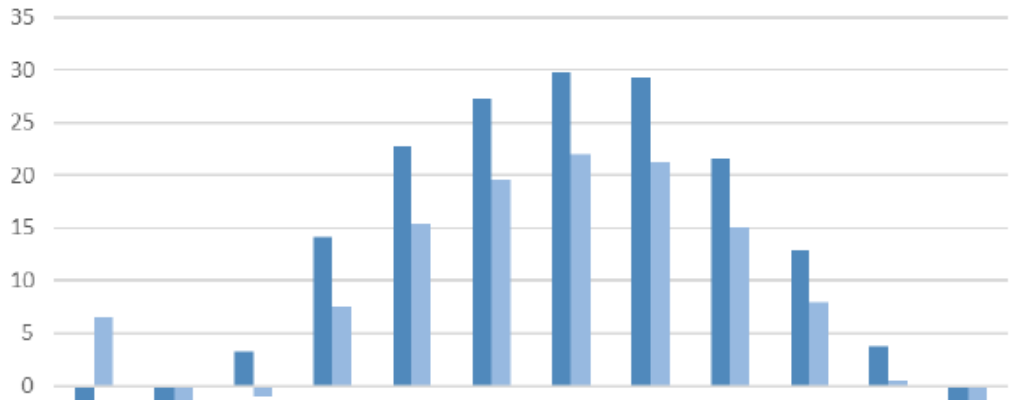


Рисунок. 4.1 – Графік середньої температури зовнішнього повітря вдень і вночі по місяцях у м. Київі протягом року

Для забезпечення роботи природної вентиляції останнім часом стали застосовувати різні типи повітряних клапанів із ручним регулюванням: стінові, віконні та підвіконні. Їхня ефективність значною мірою залежить від правильного вибору конструктивного рішення, розміщення, місця встановлення, ув'язування із системами вентиляції та опалення будівлі. Однак дослідження роботи таких клапанів у квартирах житлової будівлі в холодну пору року показали їхню неефективність в умовах України, за винятком південних районів.

Нині якість мікроклімату виходить першому плані проти енергозбереженням. Правильний вибір схем повітрообміну та інженерного обладнання може стати одним із головних напрямів у боротьбі з вірусною інфекцією. Вирішити одночасно завдання забезпечення необхідним повітрообміном, нормалізації повітряно-теплового режиму у квартирах та зниження витрат на вентиляцію можливе лише при застосуванні механічної припливно-витяжної вентиляції.

Перевагою механічних систем припливу є забезпечення подачі розрахункової витрати припливного повітря в кожну квартиру, можливість очищення припливного повітря від пилу, організації енергозбереження за

рахунок утилізації теплоти повітря, що видаляється для нагрівання припливного.

У житлових будинках краще використання поквартирних систем вентиляції з пластинчастими рекуператорами, які є більш надійними в умовах небезпеки зараження вірусною інфекцією.

Оскільки спільне використання кількох енергозберігаючих заходів дає більший результат при підвищенні енергоефективності будівель, при реконструкції шестиповерхового двосекційного житлового будинку в м. Києві після попереднього техніко-економічного обґрунтування, що враховує не лише кліматичні умови, а й вартість теплової енергії в регіоні та термін окупності, було запропоновано варіант проєкту, що включає утеплення зовнішніх цегляних стін мінераловатними матами

4.2 Оцінка теплового комфорту у приміщеннях на основі аналізу результатів математичного моделювання

Основне призначення систем вентиляції та кондиціювання повітря – створення комфортного мікроклімату в приміщеннях. При цьому якість повітряного середовища зрештою визначатиметься можливістю правильного прогнозування параметрів мікроклімату, що формуються прийнятою проєктом схемою розподілу повітря.

В даний час все більшої популярності при вирішенні завдань повітряного розподілу набувають методи математичного моделювання, що базуються на чисельному рішенні диференціальних рівнянь збереження. Дані методи дозволяють розрахувати параметри повітряного середовища (тривимірні поля температури, швидкості, вологості), які формуватимуться в приміщенні під час роботи систем вентиляції та кондиціювання повітря. При цьому практичним виходом подібних розрахунків має стати інформація про

тепловий комфорт/дискомфорт у приміщенні, що створюється тим чи іншим проєктним рішенням.

Для такого роду оцінки може бути використана функція комфортності PMV, введена Оле Фангером і враховує вплив параметрів мікроклімату (температура, рухливість, вологість повітря, температура поверхонь, що огороджують) на тепловий баланс людини.

Використання індексу комфортності Фангера в даний час є методом № 1 в оцінці теплового комфорту, увійшовши в нормативні документи різних країн. У той же час паралельно йдуть розробки різних модифікацій моделі Фангера, дослідження, присвячені впливу нестаціонарності, клімату, можливості індивідуального регулювання систем тепловідчуття людини.

Результатом математичного моделювання розподілених параметрів мікроклімату, на відміну інженерних методик, є багатовимірний масив даних (розподілу швидкості, температури, тиску, вологовмісту) в «кожній» точці обсягу. Тому з метою оцінки теплового комфорту з урахуванням результатів моделювання слід аналізувати розподіл функції PMV за обсягом робочої зони.

Питомі втрати людини в навколишнє середовище qtotal за умови стаціонарності процесу за формулою 4.1:

$$q_{total} = q_r + q_c + E_{sk} + E_{res} + C_{res}, \qquad (4.1)$$

де q_c, q_r - питомі тепловтрати людини за рахунок конвекції та випромінювання відповідно, Вт/м^2;

E_{sk} – питомі тепловтрати за рахунок випаровування зі шкіри, які є комбінацією випаровування вологи, що виділяється за рахунок терморегуляційних механізмів E_{rsw} (потовиділення) та за рахунок природного дифузного влаговиділення E_{diff} × ($E_{sk} = E_{rsw} + E_{diff}$);

E_{res} – питомі приховані тепловтрати при диханні;

C_{res} – питомі явні втрати втрати при диханні.

Системи терморегуляції людини успішно вирішують завдання забезпечення теплового балансу (рівність тепла, що виділяється і віддається їм в навколишнє середовище) у широкому діапазоні зовнішніх умов, тому фактичні тепловтрати людини дорівнюватимуть тепловиробництву (порушення теплового балансу призводить до фатальних для людини наслідків) за формулою 4.2:

$$q_{totai} = M - W, \quad (4.2)$$

де M – питома (на одиницю площі поверхні людини) виділяється людиною метаболічна теплота, Вт/м^2;

W – питома механічна робота, що здійснюється людиною.

При цьому необхідність напруги терморегуляційних систем сприймається людиною як відчуття дискомфорту в середовищі з невідповідними кліматичними параметрами .

Тепловтрати людини $q_{totail}^{комф}$ при фактичних параметрах навколишнього середовища, але за умови, що він знаходиться в стані теплового комфорту, досягаються при певних значеннях температури поверхні шкіри та величини випаровування потовиділенням, а саме за формулою 4.3 та 4.4:

$$E_{totail}^{комф} = 0{,}42 \times [(M - W) - 58{,}15], \quad (4.3)$$

$$t_{sк}^{комф} = 35{,}7 - 0{,}0275 \times (M - W). \quad (4.4)$$

Тобто

$$q_{totail}^{комф} = q_c|t_{sк} = t_{sк}^{комф} + q_r|t_{sк} = t_{sк}^{комф} + E_{rsw}^{комф} + E_{diff} + E_{res} + C_{res} \quad (4.5)$$

Розмір $L = q_{total} - q_{total}^{комф}$ є різниця між фактичними тепловтратами людини, що визначаються рівнем фізичного навантаження, і тепловтратами в навколишнє середовище із заданими параметрами мікроклімату за умови відсутності напруги терморегуляційних функцій організму. Тоді з урахуванням того, що за формулою 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11;

$$q_c = f_{cl} \times h_c (t_{cl} - t_a) \quad (4.6)$$

$$q_r = 3{,}96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] \quad (4.7)$$

$$E_{dlff} = 3{,}05 \times [5{,}73 - 0{,}007 \times (M - W) - p_a] \quad (4.8)$$

$$E_{res} = 0{,}0173M \times (5{,}87 - p_a) \quad (4.9)$$

$$C_{res} = 0{,}0014M \times (34 - t_a) \quad (4.10)$$

$$t_{cl} = t_{sk} - R_{cl} \times (q_c + q_r) = 35{,}7 - 0{,}028 \times (M - W) - R_{cl} \times (q_c + q_r) \quad (4.11)$$

де h_c – коефіцієнт конвективної тепловіддачі, який визначається залежно від переважання вільної або вимушеної конвекції у поверхні людини;

f_{cl} – коефіцієнт, що враховує збільшення площі поверхні одягненої людини та визначається залежно від величини термічного опору одягу,

t_{cl}, t_a – температура поверхні одягу людини і температура навколишнього повітря відповідно, °С;

R_{cl} – термічний опір одягу, м^2×°С/Вт.

$$L = q_{total} - q_{totail}^{комф} = (M - W) - (f_{cl} \times h_c \times (t_{cl} - t_a) + 3{,}96 \times 10^{-8} \times f_{cl} \times [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] + 0{,}42 \times [(M - W) - 58{,}15] + 3{,}05 \times [5{,}73 - 0{,}007 \times (M - W) - p_a] + 0{,}0173M \times (5{,}87 - p_a) + 0{,}0014\,M \times (34 - t_a) \quad (4.12)$$

Оввів індекс комфортності PMV, по суті, що відображає ступінь напруженості терморегуляційних функцій організму таким чином за формулою 4.13:

$$PMV = (0{,}303 \times e^{-0,036\ M} + 0{,}028) \times L \qquad (4.13)$$

Вигляд множника при функції L отримано О. Фангер на основі аналізу статистичних даних сприйняття якості мікроклімату групою людей.

Нагадаємо, що результатом математичного моделювання є розподіл швидкості, температури, вологості по всьому об'єму приміщення. Тоді практичним результатом розрахунку буде картина розподілу індексу комфортності РМУ по всьому об'єму приміщення, зокрема, за обсягом робочої зони.

Метод дослідження. Інструментом дослідження у цій роботі є гідродинамічний обчислювальний комплекс STAR –CCM+, заснований на чисельному рішенні тривимірних диференціальних рівнянь збереження.

Рівняння, що описують протягом обсягу приміщення (1) – (5), аналогічні.

Рівняння збереження маси за формулою 4.14:

$$\partial_\rho / \partial_t + \Delta (\rho \times \overline{V}) = 0 \qquad (4.\ 14)$$

– рівняння збереження імпульсу за формулою 4.15:

$$\partial\rho \times \overline{V} / \partial_t + \Delta (\rho \times \overline{V} \times \overline{V}) = \Delta\, \rho + \Delta(\tau + \tau_t) + \rho\, \breve{g} \qquad (4.15)$$

Тензор в'язких напруг τ_t – визначено за допомогою реологічного закону Ньютона за формулою 4.16:

$$\tau = \mu \times (\Delta \overline{V} + [\Delta \overline{V}]^{T}) - 2/3 \times \mu \Delta \times \overline{V} I \qquad (4.16)$$

а тензор турбулентних напруг τ_t – відповідно до узагальненої гіпотезою Буссінеска за формулою 4.17:

$$\tau_t = \mu_t \times (\Delta \overline{V} + [\Delta \overline{V}]^{T}) - 2/3 \times \mu_t \Delta \times \overline{V} I - 2/3 \rho k I \qquad (4.17)$$

– рівняння збереження енергії за формулою 4.18:

$$\partial \rho E / \partial_t + \Delta (\overline{V} [\rho E \times \rho]) = \Delta(\overline{V} [\tau + \tau_t]) - \Delta(q + q_t) \qquad (4.18)$$

де ρ – щільність повітря;

$\overline{V}$ – швидкість потоку;

E – енергія потоку;

q, q_t - молекулярна та турбулентна складові вектора щільності теплового потоку;

t, – час.

Для знаходження характеристик турбулентності потрібне використання тієї чи іншої моделі турбулентності.

Постановка задачі. Нижче як приклад показано розподіл T, V і індексу комфортності PMV за обсягом приміщення при різних схемах повітророзподілу:

1. Подача струменем, що настилається на стелю, за допомогою решітки АМН 300×150, Арктос (ВР № 1).

2. Подача закрученим струменем за допомогою вихрового дифузора 00-11-200, шла (ВР № 2).

3. Подача динамічним потоком за допомогою розподільника повітря ВГК 400×200, Арктос (ВР № 3).

Геометрія розрахункової області представлена (рис. 4.2). Ширина приміщення – 6 м.

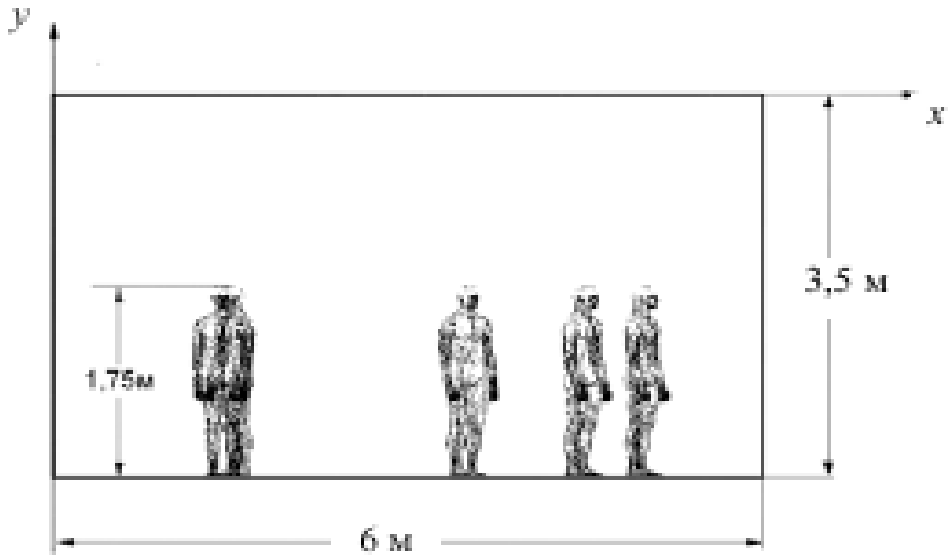


Рисунок – 4.2 Геометрія розрахункової галузі

Припливне повітря подається до приміщення з Т =21 °С і витратою L = 300 м^3/год. Загальні явні тепловиділення людей становлять 300 Вт.

Облік радіаційного теплообміну при розглянутих теплових навантаженнях виконаний відповідно до роботи шляхом завдання джерельного члена в обсязі приміщення.

Для проведення математичного моделювання була побудована кінцевооб'ємна розрахункова сітка розмірністю 2,1 - 3 млн осередків з подрібненням в областях знаходження джерел тепловиділень (людей), поширення припливних струменів.

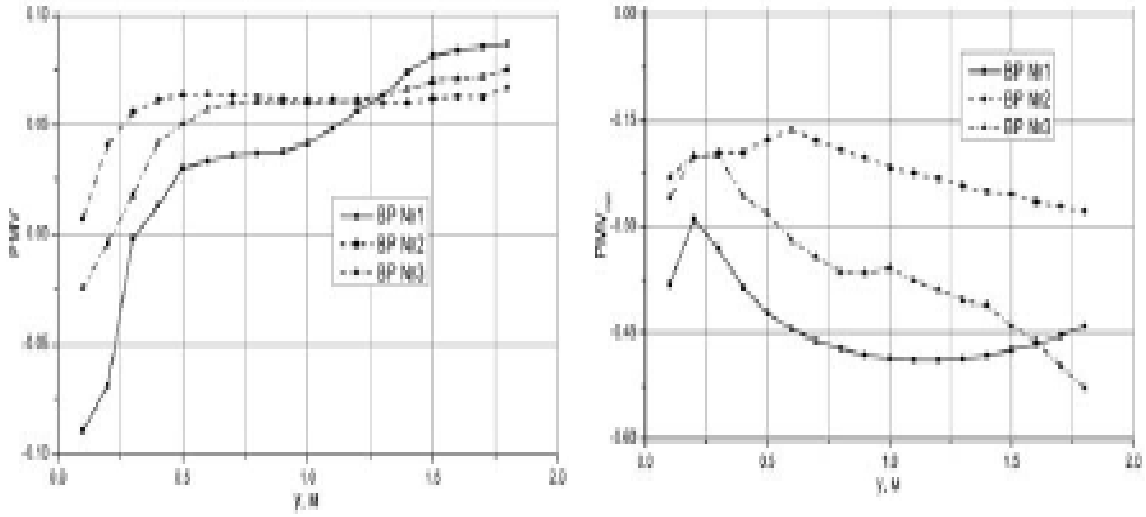
Результати та обговорення. Для побудови полів індексу комфортності Фангера авторами написаний програмний код мовою С, що підключається до обчислювального середовища STAR – CCM + і використовує як вхідні аргументи масиви фізичних величин, що отримуються в результаті моделювання.

Для цього дослідження при розрахунку поля РМУ за формулами (4.12) і (4.13) прийнято значення теплопродукції людини М = 58,2 Вт/м^2 та термічного опору одягу R_{cl} = 0,14 м^2°С/Вт. Інші параметри мікроклімату

безпосередньо визначалися у процесі математичного моделювання у пакеті STAR – CCM +.

Як видно із рис. 4.3 і 4.5, зміна як середнього, так і мінімального значення PMV по висоті робочої зони виявляється найбільш помітним при вентиляції приміщення за схемою ВР № 1, в той час як подача повітря припливу за схемами ВР № 2 і ВР № 3 дає більш рівномірний розподіл параметра PMV.

Відповідно до класифікації приміщень за якістю теплового комфорту (Ергономіка термального середовища), якщо за визначальні величини прийняти середні значення PM, то всі три варіанти вентиляції приміщення в даному випадку підпадають за параметром PMV під категорію *A* (найвища якість). Якщо оцінювати не середні, а локальні значення параметра PMV, то всі варіанти будуть визначені як категорія комфортності *B* за параметром PMV.

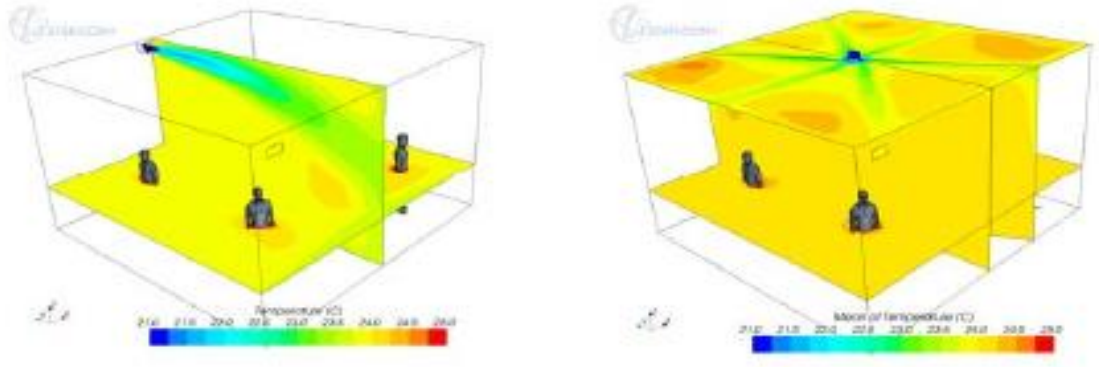


а) б)

Рисунок – 4.3 а) Зміна середнього (по горизонтальному перерізу) значення PMV за висотою робочої зони

б) Зміна мінімального (по горизонтальному перерізу) значення PMV за висотою робочої зони

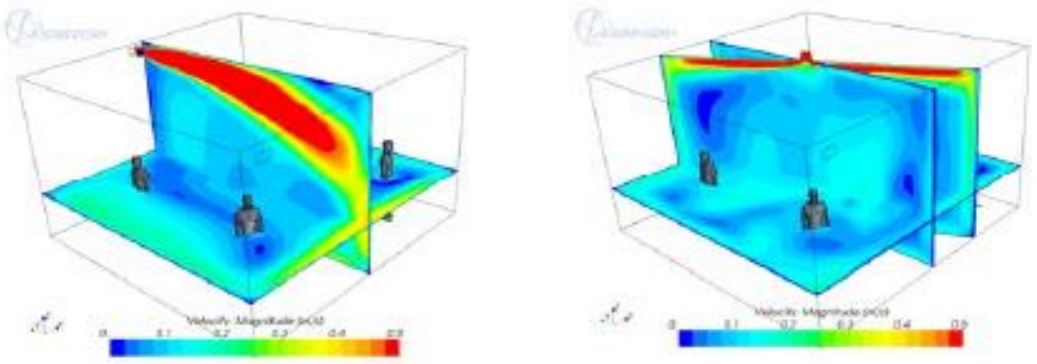
Поля температури, швидкості та індексу комфортності, що формуються при різних способах подачі повітря, представлені на рис. 15-18.



а) б)

Рисунок – 4.5 а) Поле температури. Схема ВР №1

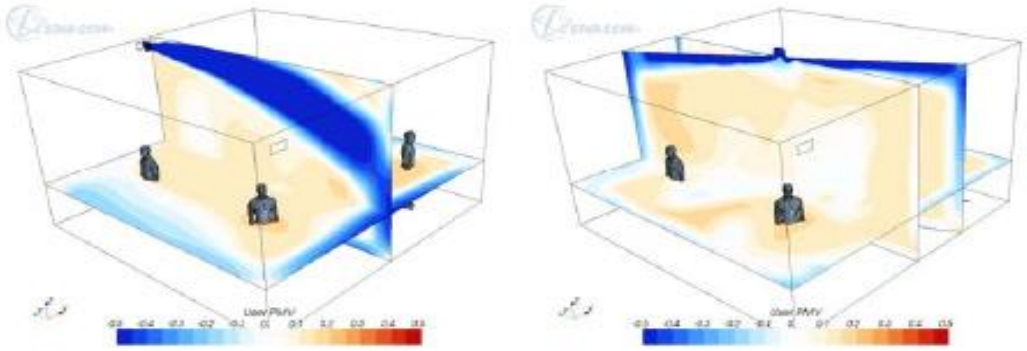
б) Поле температури. Схема ВР №2



а) б)

Рисунок – 4.6 а) Поле модуля швидкості. Схема ВР №1

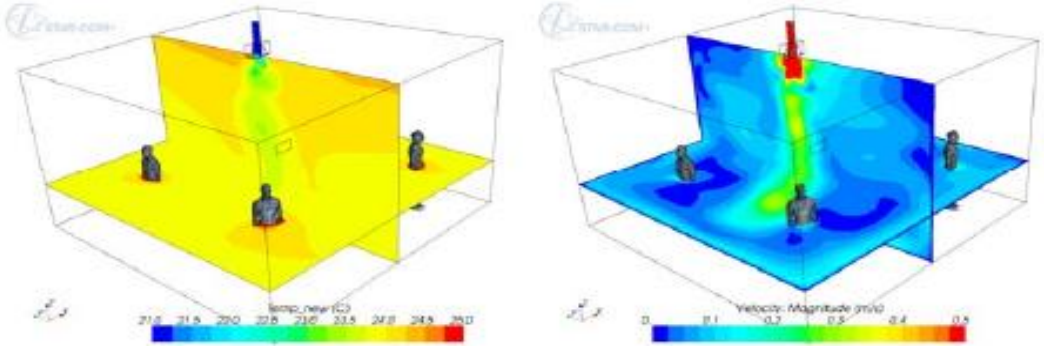
б) Поле модуля швидкості. Схема ВР №2



а) б)

Рисунок – 4.7 а) Поле індексу комфортності Фангера. Схема ВР №1

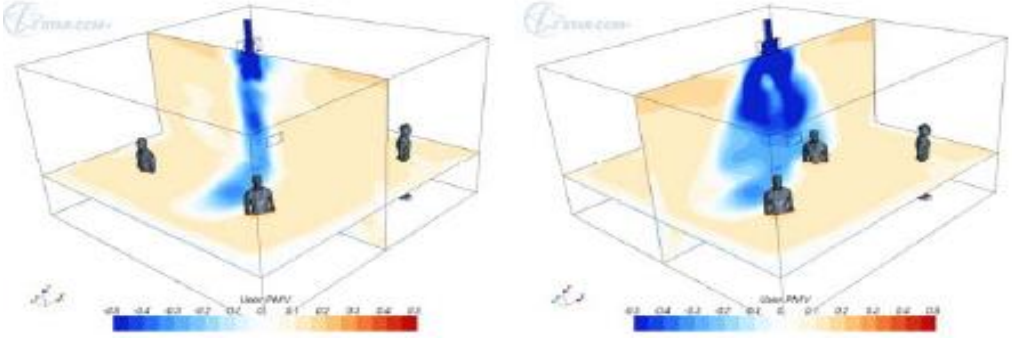
б) Поле індексу комфортності Фангера. Схема ВР №2



а) б)

Рисунок – 4.8 а) Поле температури. Схема ВР №3

б) Поле модуля швидкості. Схема ВР №3



а) б)

Рисунок – 4.9 а) Поле індексу комфортності Фангера. Схема ВР №3

б) Поле індексу комфортності Фангера. Схема ВР №3

Як видно з наведених малюнків, при подачі повітря за схемою ВР № 1 поле температури в робочій зоні рівномірно, однак у розподілі індексу комфортності PMV спостерігаються знижені значення поблизу поверхні стін. Як видно із (рис. 4.5 а)), при даній схемі у стін формується протягом зі швидкостями до 0,4 м/с, на відміну від значення 0,1 в іншій частині робочої зони. Підвищені швидкості призводять до локального зниження індексу комфортності. Таким чином, спостерігається одночасний вплив на тепловідчуття людини швидкості та температури навколишнього середовища.

З рис. 4.5-4.9 видно, що при подачі за схемою ВР № 2 температура в обсязі приміщення виявляється дещо вищою (рис. 4.4 б)), ніж при інших розглянутих способах подачі повітря (рис. 4.5 а)), та (рис. 4.7 а)). Це тим, що, як видно з (рис. 4.4 б)), частина припливного потоку потрапляє, поширюючись вздовж поверхні стелі, на витяжну решітку, в результаті асиміляційна здатність виявляється заниженою, що призводить до збільшення температури в робочій зоні.

При подачі схемою ВР № 3 під розподільником повітря формується зона з локально зниженими значеннями температури і підвищеними значеннями швидкості, що призводить до відхилення параметра PMV від нейтрального нульового значення. Однак, незважаючи на це, значення PMV лежать у діапазоні, який забезпечує досить високий рівень теплового комфорту середовища.

Таким чином, найбільш рівномірний розподіл робочої зони параметра PMV, що відображає тепловідчуття людини, спостерігається для схем № 2 і № 3 і має найбільші градієнти для схеми № 1.

Очевидно, що для завдань, пов'язаних з кондиціюванням приміщень при більш суттєвих теплових навантаженнях, будуть складніші поля PMV, і відмінності між різними схемами подачі повітря стануть суттєвішими.

Висновок:

Методи математичного моделювання дозволяють отримувати тривимірні розподіли параметрів мікроклімату за обсягом приміщення.

Роздільний аналіз полів швидкості та температури ускладнює об'єктивну інтерпретацію результатів математичного моделювання з погляду комфорту, створюваного у приміщенні системами вентиляції та кондиціювання. Порівняння проєктних рішень слід вести, аналізуючи зокрема розподіл індексу комфортності Фангера.

Аналіз зіставлення трьох варіантів подачі повітря для вентиляції приміщення показав, що в даному випадку всі три схеми повітророзподілу дозволяють досягти хорошої якості теплового комфорту повітряного середовища. У той самий час подача повітря схемами ВР № 2 і ВР № 3 виявляється ефективнішою з погляду рівномірності полів індексу комфортності за обсягом робочої зони.

Оцінка ефективності різних проєктних рішень методом математичного моделювання розподілених параметрів із наступним розрахунком поля індексу комфортності Фангера дає докладну інформацію про тепловий комфорт у приміщенні, що дозволяє об'єктивно порівнювати ефективність різних схем розподілу повітря.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз факторів, що впливають на характеристики мікроклімату в приміщеннях із дефектами огороджувальних конструкцій та систем ОВК, свідчить про необхідність врахування моральних, фізичних та інших аспектів у процесі експлуатації будівлі й систем для прогнозування мікрокліматичних параметрів.

2. Розроблена модель впливу факторів на мікроклімат у приміщеннях із дефектами огороджувальних конструкцій та систем ОВК дає змогу на етапах проєктування, реконструкції будівель чи систем передбачати параметри мікроклімату та їх вплив на комфорт і продуктивність людини.

3. Доведено, що для визначення енергетичної ефективності будівель необхідно враховувати такі дані: кліматичні умови регіону; функції, які виконує будівля, її архітектурні, планувальні та конструктивні особливості; геометричні параметри будівлі, зокрема орієнтацію та розташування зовнішніх конструкцій; теплотехнічні та енергетичні властивості будівлі, включно з її енергетичним балансом; вимоги до мікроклімату і санітарно-гігієнічні умови приміщень; нормативний термін служби зовнішніх конструкцій, їх складових та інженерних систем; застосування відновлюваних джерел енергії, пасивних сонячних технологій, систем захисту від сонця, а також використання енергії, отриманої методом когенерації.

4. Підхід до оцінки стану елементів житлових будівель базується на комплексному аналізі результатів досліджень мікроклімату приміщень, ступеня зносу конструктивних елементів і інженерних систем будівлі.

5. Розроблені рекомендації спрямовані на підвищення енергоефективності будівель і споруд.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондар-Підгурська О. В. Науково-методичні підходи до оцінки енергоефективності як фактора конкурентоспроможності промислової продукції в інноваційній моделі розвитку України. *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки*. Кіровоград, 2012. Вип. 22, ч.II. С. 470.

2. ДСТУ 3755-21. Енергозбереження. Номенклатура показників енергоефективності та порядок їхнього внесення у нормативну документацію. [Чинний від 2021-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 1999. 8 с.

3. Енергоефективність як ресурс інноваційного розвитку: Національна доповідь про стан та перспективи реалізації державної політики енергоефективності у 2018 році / С.Ф. Єрмілов, В.М. Геєць, Ю.П Ященко, В.В. Григоровський, В.Е. Лір та ін. Київ : НАЕР, 2019. 93 с.

4. Єрмілов С.Ф. Державна політика енергоефективності в українському та європейському контексті: *матеріали VII Міжнародного енергоекологічного конгресу «Енергетика. Екологія. Людина»*, м. Київ, березень 2007 р. Київ, 2007. С. 133–136.

5. Микитенко В.В. Енергоефективність промислового виробництва : монографія. Київ : Об’єднаний інститут економіки НАН України, 2004. 282с.

6. Рубан-Максимець О.О. Особливості розрахунку показників енергетичної ефективності на базі статистичної звітності України. *Проблеми загальної енергетики.* Київ, 2009. № 20. С. 21–26.

7. Поглиблений огляд політики та програм України у галузі енергоефективності. Брюссель: Секретаріат Енергетичної Хартії, 2013. 144 с.

8. Управління енергоефективністю 2-е видання: довідкове керівництво. Париж: МЭА, 2011. 71 с.

9. Дешко В.І., Шовкалюк М.М., Шевченко О.М., Шовкалюк Ю.В. Аналіз нормативів споживання теплоти в Україні та світі. *Нова тема.* 2018. №2. С. 6–10.

10. Фаренюк Г.Г. Основи забезпечення енергоефективності будинків та теплової надійності огороджувальних конструкцій. Київ : Гама - Принт, 2019. 216 с.

11. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель : наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 р. №169. *Офіційний вісник України.* 2018. № 55. С. 301.

12. Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката : наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 р. № 172. *Офіційний вісник України.* 2018. № 55. С. 334.

13. Directive 2010/31/eu of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast). *Official Journal of the European Communities.* 2010. № L153. P. 13-35.

14. ДСТУ Б EN 15217:2013. Енергетична ефективність будівель. Методи представлення енергетичних характеристик та енергетичної сертифікації будівель (EN 15217:2007, IDT). [Чинний від 2014-04-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонрозвитку України, 2014. 44 с.

15. ДСТУ Б EN 15603:2013. Енергетична ефективність будівель. Загальне енергоспоживання та проведення енергетичної оцінки (EN 15603:2008, IDT). [Чинний від 2014-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонрозвитку України, 2014. 92 с.

16. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергетична ефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження (EN ISO 13790:2008, IDT). [Чинний від 2013-07-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонрозвитку України, 2013. 135 с.

17. Праховник А. В., Дешко В. І., Шевченко О. М.. Енергетична сертифікація будівель. *Наукові вісті НТУУ «КПІ».* 2011. № 1. С. 140–153.

18. КТМ 204 Україна 244-94. Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні. [Чинний від 2018-12-14]. Вид. офіц. Київ, 2018. 189 с.

19. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. [Чинний від 2022-09-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2022. 27 с.

20. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження – пріоритетний напрямок державної політики України : Українські енциклопедичні знання. Київ, 2018. 512 с.

21. ДБН В.2.6-33:2018. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проєктування. [Чинний від 2018-12-01]. Київ : Мінрегіонбуд України. 2018. 25 с.

22. ДСТУ 9190:2022. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання. [Чинний від 2023-03-01]. Київ : Мінрегіонбуд України. 2023. 156 с.

23. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. [Чинний від 2011-11-01]. Київ : Мінрегіонбуд України. 2011. 135с.

24. ДСТУ-Н Б В.3.2-3:2014. Настанова з виконання термомодернізації житлових будинків. [Чинний від 2015-10-01]. Київ : Мінрегіон України. 2015. 67 с.

25. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 р. № 2118-VIII. *Голос України.* 2017. №134. С. 18.