

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет інженерних систем та екології

Кафедра теплогазопостачання і вентиляції

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри

проф., д. екон. н.

Предун К.М.

« _____ » _____ 2024 р.

Пояснювальна записка

до атестаційної роботи

магістра

на тему: Ефективність застосування комбінованих систем опалення
виробничих приміщень

Виконав: студент 5 курсу, групи ТВм-22-1

Галузь знань: 19 Архітектура та будівництво

Спеціальність: 192 – Будівництво та цивільна інженерія

Спеціалізація: «Теплогазопостачання і вентиляція»

Кривий Д.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник Сенчук М.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

м. Київ – 2024 року

**КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

Факультет: Інженерних систем та екології _____
Випускова кафедра: Теплогазопостачання та вентиляції _____
Освітній ступінь: магістр _____
Спеціальність: Будівництво та цивільна інженерія _____
Освітня програма: Теплогазопостачання і вентиляція _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Декан факультету
проф., д.т.н. Приймак О.В.

„___” _____ 2024 року

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

КРИВОГО ДМИТРА ІГОРОВИЧА

(прізвище, ім'я та по батькові здобувача)

1. Тема роботи _____
Ефективність застосування комбінованих систем опалення виробничих приміщень
затверджена наказом ректора КНУБА №2585/2 від 31 жовтня 2024 року
2. Керівник роботи
Сенчук Михайло Петрович, канд. техн. наук, доцент
_____ (прізвище, ім'я та по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
3. Строк подання здобувачем роботи до захисту 20 червня 2024 року
4. Зміст пояснювальної записки за розділами:
- Р. 1. Теоретичні основи комбінованих систем опалення
 - Р. 2. Інженерні рішення комбінованих систем
 - Р. 3. Порівняльний аналіз комбінованих систем із застосуванням різного вентиляційного обладнання
 - Р. 4. Технології та організація монтажу інженерних систем
 - Р. 5. Охорона праці та навколишнього середовища

5. Графічний матеріал за розділами:

Р. 1. Інформаційний матеріал по сучасним комбінованим системам опалення виробничих приміщень

Р. 2. Креслення систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря виробничого цеху переробки молока

Р. 3. Результати техніко-економічного аналізу режимів різних варіантів комбінованої системи опалення виробничого цеху

Р. 4. Календарний план-графік та монтажне креслення системи опалення

6. Календарний план виконання роботи:

Види робіт та їх зміст	Дата виконання
Розділ 1. Опис та аналіз сучасних комбінованих систем	19.02
Розділ 2. Виконання розрахунків та проєктування систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря виробничого цеху переробки молока	12.03
Розділ 3. Аналіз комбінованої системи опалення з техніко-економічним обґрунтуванням вибору обладнання для догрівуючої системи	24.04
Розділ 4. Календарне планування монтажу та монтажне креслення системи опалення	15.05
Розділ 5. Розробка заходів з охорони праці та захисту навколишнього середовища	23.05
Остаточне оформлення роботи	19.06
Направлення роботи для перевірки на плагіат	20.06
Попередній захист роботи на випусковій кафедрі	
Направлення роботи на рецензування	

7. Консультанти розділів атестаційної випускної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Перевірів	
		дата	підпис
Розділ 1.	Сенчук М.П.		
Розділ 2.	Сенчук М.П.		
Розділ 3.	Сенчук М.П.		
Розділ 4.	Сенчук М.П.		
Розділ 5	Клімова І.В.		

8. Дата видачі завдання _____

Зав. кафедри _____ Предун К.М.

Керівник _____ Сенчук М.П.

Здобувач _____ Кривий Д.І

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
Розділ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ.....	9
1.1 Види комбінованих систем опалення.....	10
1.2 Принципи роботи комбінованих систем опалення	21
1.3 Переваги та недоліки комбінованих систем опалення.....	23
Розділ 2 ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ.....	25
2.1 Вихідні дані.....	26
Характеристика об'єкту будівництва	26
Об'ємно-планувальні характеристики будівлі.....	26
Розрахункові параметри зовнішнього повітря.....	27
Розрахункові параметри внутрішнього повітря.....	27
2.2 Тепловий та повітряний режими будівлі.....	28
2.2.1 Розрахунок огорожувальних конструкцій	28
2.2.2 Розрахунок теплонадходжень в приміщеннях.....	37
Теплонадходження від освітлення.....	38
Теплонадходження від людей.....	38
Теплонадходження від сонячної радіації.....	38
Тепловиділення від устаткування, обладнання та під час виконання технологічних процесів.....	38
Теплонадходження від остигання обладнання, матеріалів тощо при переході на черговий режим використання приміщення.....	39
2.2.3 Розрахунок тепловтрат в приміщеннях.....	39
Розрахунок трансмісійних тепловтрат через огорожувальні конструкції.....	39
Характеристика трансмісійних тепловтрат приміщення через огорожувальні конструкції, що контактують із ґрунтом.....	41
Розрахунок тепловтрат на нагрівання вентиляційного повітря.....	41
Витрати теплоти на нагрівання обладнання, матеріалів, виробів тощо.....	43
2.2.4 Розрахунок повітрообміну приміщень.....	43
2.3 Проектування інженерних систем будівлі.....	47
2.3.1 Проектування та розрахунок водяної системи опалення будівлі.....	47
Технічні рішення будови системи опалення.....	50
Розрахунок та підбір опалювальних приладів.....	51
2.3.2 Проектування вентиляції будівлі.....	53
Технічні рішення по системам вентиляції приміщень різного призначення.....	53
Проектування систем вентиляції приміщень будівлі.....	55
Аеродинамічний розрахунок повітропроводів.....	57

	Підбір вентиляційного обладнання.....	58
2.3.3	Проектування кондиціонування будівлі.....	60
	Технічні рішення по системам кондиціонування приміщень..	60
	Проектування систем кондиціонування приміщень будівлі...	61
	Підбір обладнання кондиціонування.....	63
РОЗДІЛ 3	ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РІЗНОГО ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	65
3.1	Загальна характеристика систем кондиціонування повітря....	66
3.2	Опис інженерних рішень по запроектованій комбінованій системі	69
3.3	Стани зі змінним режимом.....	72
3.4	Опис запроектованих варіантів систем кондиціонування.....	78
3.5	Техніко-економічне обґрунтування.....	85
РОЗДІЛ 4	ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ МОНТАЖУ ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ.....	92
4.1	Технології монтажу елементів системи вентиляції.....	93
4.2	Організація виконання будівельно-монтажних робіт.....	99
РОЗДІЛ 5	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	102
5.1	Дослідження основних потенційних ризиків та негативних впливів, що виникають під час встановлення систем опалення та вентиляції.....	103
5.2	Заходи профілактики.....	104
	Висновки.....	108
	Список використаної літератури.....	109
	Додаток А. Результати підбору огороджувальних конструкцій.....	111
	Додаток Б. Розрахунок тепловтрат.....	112
	Додаток В. Розрахунок повітрообміну.....	113
	Додаток Г. Гідравлічний розрахунок.....	114
	Додаток Д. Аеродинамічний розрахунок для загальнообмінної вентиляції.....	115

ВСТУП

У сучасному світі проблема забезпечення оптимальних умов температурного режиму виробничих приміщень набуває все більшого значення. Ефективне опалення не лише створює комфортне середовище для працівників, а й має значний вплив на продуктивність та якість виробництва. З цією метою, в останні десятиліття велика увага приділяється розробці та впровадженню комбінованих систем опалення виробничих приміщень.

Ця робота спрямована на вивчення ефективності застосування комбінованих систем опалення виробничих приміщень. Її результати не лише допоможуть зрозуміти переваги та недоліки таких систем, а й нададуть практичні рекомендації щодо їх вибору та впровадження.

Комбіновані системи опалення є інтегрованим підходом до забезпечення оптимальних умов температурного режиму за допомогою різних джерел енергії та технологій. Їх принципи роботи базуються на інтеграції різних систем опалення, що дозволяє забезпечити ефективне використання ресурсів та знизити витрати на енергію.

Актуальність дослідження

Умови роботи виробничих приміщень напряму впливають на продуктивність та якість виробництва. Відповідне опалення є одним з важливих аспектів створення комфортного та безпечного робочого середовища для працівників. Тому вивчення ефективності комбінованих систем опалення виробничих приміщень має велике значення для підвищення ефективності виробництва та забезпечення сталого розвитку підприємств.

Мета та завдання дослідження

Метою цієї роботи є вивчення ефективності застосування комбінованих систем опалення виробничих приміщень з метою визначення їхнього впливу на економічні та екологічні показники підприємств.

Для досягнення поставленої мети передбачається вирішення наступних завдань:

1. Аналіз теоретичних основ комбінованих систем опалення.
2. Вивчення різних видів комбінованих систем опалення та їх характеристик.
3. Оцінка переваг та недоліків застосування комбінованих систем опалення виробничих приміщень.
4. Порівняльний аналіз різних варіантів комбінованих систем.

Дослідження в цій області є актуальним та має великий потенціал для практичного застосування, що робить його об'єктивно важливим для подальшого вивчення та аналізу.

РОЗДІЛ 1
ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ
ОПАЛЕННЯ

1.1. Види комбінованих систем опалення

Комбінована система опалення це - система, яка включає постійно діючу фонову систему опалення для часткового обігріву та періодично працюючу додаткову систему під час робочих годин [6].

Комбінована система опалення складається з фонові та догрівуючої.

Фонова система опалення — це система, яка постійно підтримує мінімально необхідну температуру в приміщенні, незалежно від того, чи перебувають там люди. Вона забезпечує базовий рівень тепла, запобігаючи надмірному охолодженню будівлі, що може призвести до проблем з конденсацією та пошкодженням конструкцій. Така система зазвичай працює з меншою потужністю та споживає менше енергії в порівнянні з основною системою опалення, яка використовується для досягнення комфортної температури під час активного користування приміщенням.

Догрівуюча система опалення — це система, яка активується періодично для підвищення температури в приміщенні до комфортного рівня під час його активного використання. Вона доповнює фонову систему опалення, забезпечуючи додаткове тепло тоді, коли це необхідно, наприклад, у робочий час або коли в приміщенні знаходяться люди. Така система зазвичай має більшу потужність і здатна швидко підняти температуру в приміщенні в порівнянні з фонові системою.

Комбіновані системи опалення використовують різні джерела енергії або різні типи обладнання для забезпечення ефективного та економічного обігріву приміщень.

Основні види комбінованих систем опалення

Сонячні колектори і газовий/електричний котел

Через кліматичні особливості України повністю забезпечити потребу в опаленні сонячний колектор не зможе, тому він працює в поєднанні з газовим, електричним теплопостачанням або опаленням на твердому паливі. Геліосистеми опалення оснащуються баками, що накопичують тепло - комбінованими з

традиційними системами теплопостачання або окремими. Об'єм теплового акумулятора визначають, виходячи з площі абсорбера колектора, середнім значенням є 75 літрів на квадратний метр поглинаючої поверхні. Сонячна та традиційна системи працюють у режимі взаємного доповнення. Варто знати, що максимальна ефективність сонячних колекторів досягається шляхом обслуговування ними теплої підлоги. Підлога відноситься до ділянок з низькотемпературним опаленням, а значить, для його функціонування не потрібно нагрівати воду до +50 °С або навіть +70 °С, як для радіаторів, достатньо +30 °С. До такої температури колектор може нагріти воду самостійно без використання електричних тенів. Таким чином, за певних умов можна досягти того, що геліосистема стане повністю автономним джерелом опалення. Але наявність резервного джерела тепла все ж таки необхідна, на випадок похмурої погоди і для роботи в темний час доби.

Тепловіддача та простота в експлуатації роблять сонячний колектор придатним для опалення практично у будь-якій сфері, де потрібен підігрів. Пристрої, що розглядаються, себе зарекомендували в організації чергового опалення, нагріванні води в басейнах, теплопостачанні теплиць і в повному постачанні гарячою водою в теплу пору року.

Цей тип комбінованої системи використовує енергію сонячного світла за допомогою сонячних теплових колекторів. Потім зібране тепло передається рідині, як правило, воді або рідині-теплоносії, яка циркулює через теплообмінник для забезпечення опалення приміщення або гарячої води. Газовий котел служить резервним джерелом тепла в періоди низької сонячної радіації або високої потреби в опаленні.

Котел на твердому паливі з сонячними колекторами

Використання пелетного твердопаливного котла у поєднанні з сонячними колекторами є ефективним рішенням для опалення та гарячого водопостачання. Така система дозволяє максимально використовувати переваги кожного джерела енергії, знижуючи залежність від традиційних енергоресурсів.

Сонячні колектори забезпечують нагрівання води за рахунок сонячної

енергії, що є безкоштовним та екологічно чистим джерелом. Вони можуть ефективно працювати в теплі місяці року, забезпечуючи необхідне тепло для підлоги та гарячого водопостачання. Однак, їх продуктивність може знижуватися в похмурі дні або вночі.

У такі періоди пелетний твердопаливний котел вступає в роботу, забезпечуючи безперебійне теплопостачання. Пелети – це екологічно чистий вид палива, який виготовляється з відновлюваних ресурсів, таких як деревні відходи. Пелетні котли відзначаються високою ефективністю та можливістю автоматичного подавання палива, що забезпечує комфортне та економне опалення.

Комбінація цих двох систем дозволяє зменшити витрати на опалення та гаряче водопостачання, а також знизити негативний вплив на довкілля. Сонячні колектори покривають потреби у теплі в сонячні дні, а пелетний котел забезпечує додаткове тепло у холодніші періоди, що робить систему стабільною та ефективною протягом усього року.

Така інтеграція дозволяє досягти більшої енергоефективності та комфорту, забезпечуючи надійне теплопостачання незалежно від погодних умов.

Під час експлуатації будь-якого твердопаливного котла рекомендується використовувати значну буферну ємність. Мінімальний об'єм води в буферній ємності має бути 25 літрів на кожен кіловат (кВт) потужності котла. Буферна ємність потрібна для вирівнювання теплового балансу під час роботи котла в «літній» період (для підігріву гарячої води) та в «перехідні» періоди року, коли температура повітря на вулиці змінюється від +10°C до -10°C. Такий температурний режим становить 90% тривалості всього опалювального періоду (для більшості кліматичних зон України). У цьому випадку використання буферної ємності дозволяє заощаджувати дрова (до 20%) та захищає котел від перегріву і аварійного вимкнення при закипанні води.

Схеми підключення твердопаливного котла показані на рисунку 1.1

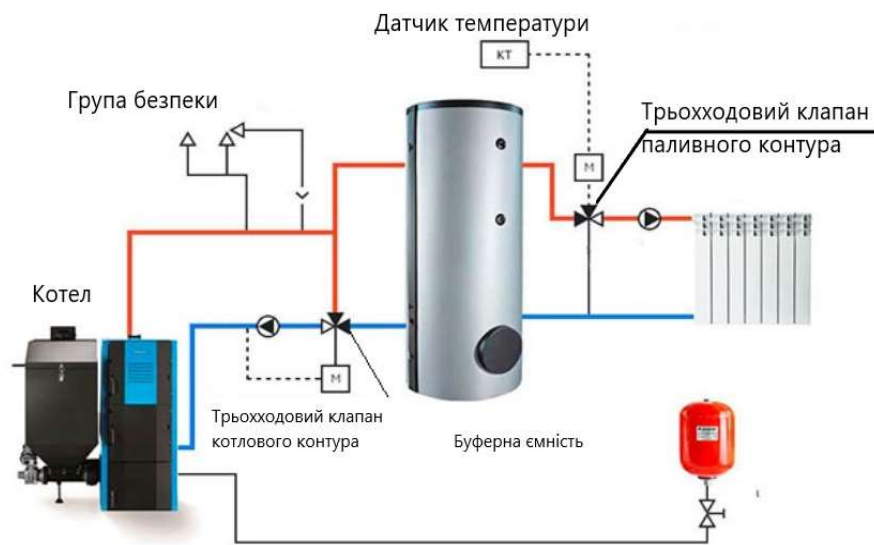


Рис 1.1. Схема підключення твердопаливного котла

Тепловий насос з електричним котлом

Використання теплового насоса разом з електричним котлом є ефективним рішенням для забезпечення опалення та гарячого водопостачання. Така комбінована система дозволяє оптимізувати витрати на енергію та забезпечити надійне тепlopостачання незалежно від зовнішніх умов.

Тепловий насос працює на принципі переносу тепла з одного середовища в інше, використовуючи енергію з навколишнього середовища (повітря, ґрунту або води) для нагрівання приміщень або води. Його основні переваги включають високу ефективність, яка може досягати коефіцієнта перетворення (COP) від 3 до 5, екологічність завдяки використанню відновлюваної енергії, та економічність, що знижує витрати на опалення.

Електричний котел служить додатковим джерелом тепла, яке може використовуватися в разі недостатньої потужності теплового насоса або в періоди пікового навантаження. Його основні переваги включають простоту встановлення та обслуговування, майже 100% ККД, оскільки вся спожита електроенергія перетворюється в тепло, та надійність, оскільки електричні котли можуть

працювати незалежно від погодних умов і не залежать від зовнішніх джерел палива.

Поєднання теплового насоса та електричного котла дозволяє забезпечити ефективно та надійне теплопостачання. Тепловий насос покриває основні потреби в теплі за рахунок відновлюваної енергії, знижуючи витрати на електроенергію, а електричний котел може автоматично включатися в разі, якщо продуктивність теплового насоса знижується, наприклад, при дуже низьких температурах. Така система легко адаптується до різних умов і дозволяє забезпечити комфортний рівень тепла в приміщеннях протягом усього року.

Таким чином, комбінація теплового насоса та електричного котла є раціональним рішенням для забезпечення енергоефективного, екологічного та надійного опалення і гарячого водопостачання. Ця система дозволяє оптимально використовувати природні ресурси і знижувати витрати на енергію, забезпечуючи при цьому високий рівень комфорту. Приклад наведено на рисунку 1.2

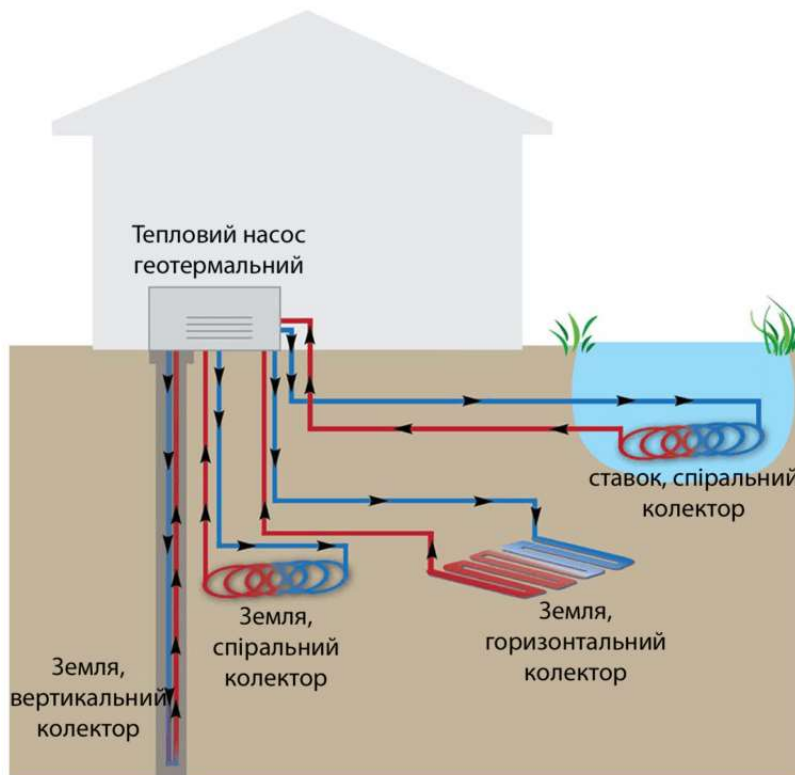


Рис. 1.2. Опалення будинку тепловим насосом

Тепловий насос та газовий котел

Використання газового котла разом з тепловим насосом є ефективним та раціональним рішенням для забезпечення опалення та гарячого водопостачання. Така комбінація дозволяє поєднати переваги обох технологій, забезпечуючи надійне та економічне теплопостачання.

Тепловий насос працює за принципом переносу тепла з одного середовища в інше, використовуючи енергію з навколишнього середовища (повітря, ґрунту або води) для нагрівання приміщень або води. Його основні переваги включають високу ефективність (коефіцієнт перетворення може досягати від 3 до 5), екологічність завдяки використанню відновлюваної енергії та економічність, що знижує витрати на опалення.

Газовий котел забезпечує додаткове або резервне джерело тепла, особливо у періоди пікового навантаження або в разі недостатньої потужності теплового насоса. Основні переваги газового котла включають високу потужність, надійність незалежно від зовнішніх умов, та швидке нагрівання води та приміщень.

Поєднання газового котла та теплового насоса дозволяє досягти оптимальної ефективності та надійності. Тепловий насос покриває основні потреби в теплі за рахунок відновлюваної енергії, знижуючи витрати на газ, а газовий котел автоматично включається в разі зниження продуктивності теплового насоса при дуже низьких температурах або у випадку пікового навантаження. Така система легко адаптується до різних умов і дозволяє забезпечити комфортний рівень тепла в приміщеннях протягом усього року.

Таким чином, комбінація газового котла та теплового насоса є раціональним рішенням для забезпечення енергоефективного, надійного та екологічного опалення і гарячого водопостачання. Ця система дозволяє оптимально використовувати природні ресурси, знижувати витрати на енергію та забезпечувати високий рівень комфорту в будь-яких умовах.

Сонячні колектори і тепловий насос

Використання сонячних колекторів у поєднанні з тепловим насосом є

ефективним і екологічно чистим рішенням для опалення та гарячого водопостачання. Така комбінація дозволяє максимально використовувати відновлювані джерела енергії, знижуючи витрати на енергоресурси та зменшуючи вплив на навколишнє середовище.

Сонячні колектори забезпечують енергію в сонячні дні, нагріваючи воду, яка використовується для опалення і гарячого водопостачання. Тепловий насос переносить тепло з навколишнього середовища для опалення приміщень та нагрівання води, що забезпечується від сонця або навколишнього середовища.

Ця система дозволяє ефективно використовувати сонячну енергію в сонячні дні, а також автоматично переключатися на тепловий насос у хмарну або нічну пору, забезпечуючи стабільне теплопостачання. Зменшуючи залежність від традиційних джерел енергії, така система є екологічно чистою та економічно вигідною, забезпечуючи комфорт та знижуючи витрати на енергію. Схема роботи сонячного колектора показана на рис. 1.3, будова колектора показана на рис. 1.4.

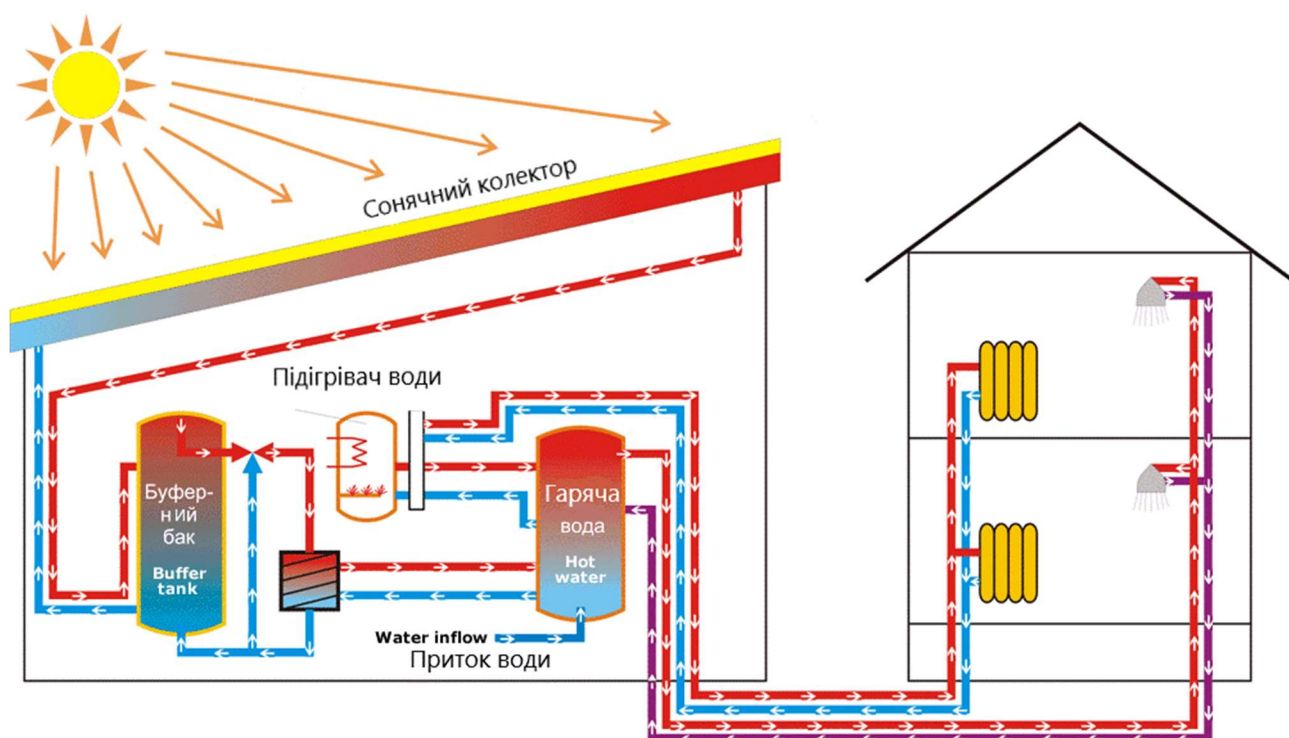


Рис. 1.3. Схема роботи сонячного колектора



Рис. 1.4. Будова сонячного колектора

Системи накопичення теплової енергії

Система зберігання теплової енергії являє собою резервуар різного об'єму, що дає змогу акумулювати надлишкове тепло і використовувати його під час підвищеного попиту. Використання систем зберігання теплової енергії є досить поширеною практикою. Наприклад, в Європі ця технологія як частина централізованої системи тепlopостачання найбільше застосовується в Данії, Німеччині та Швеції. Зокрема, системи зберігання енергії використовуються для покриття пікових навантажень, підвищення стабільності системи та забезпечення більшої гнучкості у виробництві енергії з альтернативних джерел. Таким чином, системи зберігання мають наступні переваги для централізованих систем тепlopостачання:

Дають змогу накопичувати теплову енергію в періоди низького попиту для використання в часи високого попиту.

Забезпечують ефективне використання надлишкової теплової енергії, що підвищує енергоефективність станції.

Допомагають краще використовувати відновлювані джерела енергії.

Наприклад, бак-акумулятор у данському місті Грем дозволяє інтегрувати значні обсяги відновлюваної енергії, що генерується сонячними колекторами площею майже 45 тисяч м². У результаті "чиста" енергія забезпечує близько 60%

річної потреби міста в теплопостачанні.

Проте навіть без відновлюваної генерації системи зберігання енергії можуть запобігти забрудненню навколишнього середовища. Використання накопиченого тепла дозволяє зменшити кількість працюючих генераторних установок, що, в свою чергу, скорочує використання викопного палива та знижує викиди CO₂. За прогнозами Міжнародного агентства з відновлюваної енергетики (IRENA), до 2030 року встановлена потужність систем зберігання теплової енергії зросте втричі і досягне 800 ГВт-год у світовому масштабі.

Зазначимо, що інвестиційною програмою "Київтеплоенерго", що реалізується спільно з ЄБРР, також передбачено будівництво бака-акумулятора об'ємом 20 тисяч м³ на ТЕЦ-6. Він буде накопичувати надлишкову теплову енергію протягом дня з подальшим використанням у періоди підвищеного попиту, що суттєво покращить показники енергоефективності ТЕЦ.

Поєднані системи опалення та VRF-системи кондиціонування

Інтегровані системи опалення та охолодження пропонують безпроблемне рішення для підтримки комфорту в приміщенні цілий рік. Поєднуючи функції опалення та охолодження в одній системі, ці системи забезпечують ефективний контроль температури при мінімізації споживання енергії. Незалежно від того, чи використовуються теплові насоси, системи зі змінним потоком холодоагенту (VRF) чи інші передові технології, інтегровані системи оптимізують комфорт, оптимізують роботу та сприяють екологічності, зменшуючи вплив будівельних робіт на навколишнє середовище.

Поєднані системи опалення та VRF (Variable Refrigerant Flow) системи кондиціонування являють собою сучасне рішення для забезпечення комплексного клімат-контролю в будівлях, що поєднує функції опалення, охолодження та вентиляції. Такі системи стають все більш популярними завдяки своїй енергоефективності, гнучкості та здатності створювати комфортні умови протягом усього року.

Основними компонентами цих систем є теплові насоси, VRF-системи і вентиляційні установки. Теплові насоси відповідають за перетворення тепла з

зовнішнього середовища, такого як ґрунт, вода або повітря, у тепло для опалення приміщень. Влітку тепловий насос працює як кондиціонер, забираючи тепло з приміщення і виводячи його назовні. Узимку цей процес змінюється, і тепловий насос відбирає тепло з навколишнього середовища і переносить його в будівлю, забезпечуючи опалення.

VRF-системи складаються з одного або кількох зовнішніх блоків і декількох внутрішніх блоків, що розміщені в різних приміщеннях будівлі. Ці системи використовують змінний потік холодоагенту для ефективного охолодження та обігріву приміщень. Основна перевага VRF-систем полягає в можливості індивідуального контролю температури в кожному приміщенні. Кожен внутрішній блок може працювати в режимі охолодження або обігріву, що дозволяє створювати комфортні умови для кожного користувача. Додатково VRF-системи можуть працювати в режимі рекуперації тепла, де тепло, відведене з одного приміщення, використовується для обігріву іншого, що значно підвищує загальну енергоефективність системи.

Системи вентиляції забезпечують постійний обмін повітря, підтримуючи здоровий мікроклімат у приміщеннях. Вони можуть бути оснащені фільтрами для очищення повітря та рекуператорами тепла, що дозволяє знизити енерговитрати шляхом використання тепла відпрацьованого повітря для нагрівання свіжого.

Однією з ключових переваг поєднаних систем опалення та VRF є їх висока енергоефективність. Використання теплових насосів і VRF-систем дозволяє значно знизити енерговитрати в порівнянні з традиційними системами опалення та кондиціонування. Рекуперація тепла додатково підвищує ефективність, зменшуючи потребу в додатковій енергії для обігріву або охолодження приміщень. Це, у свою чергу, зменшує споживання викопного палива і скорочує викиди парникових газів, таких як CO₂, що робить ці системи екологічно безпечнішими.

Поєднані системи також відзначаються гнучкістю та комфортом. Можливість індивідуального контролю температури в кожному приміщенні дозволяє створювати оптимальні умови для кожного мешканця чи працівника

будівлі. VRF-системи можуть працювати в широкому діапазоні температур, забезпечуючи комфорт у будь-яку пору року, від холодної зими до спекотного літа.

Компактність та естетичність поєднаних систем є ще однією їх перевагою. Вони займають менше місця в порівнянні з окремими системами опалення та кондиціонування, а внутрішні блоки VRF-систем можуть бути інтегровані в інтер'єр приміщення, що покращує його естетичний вигляд.

Проте існують і деякі виклики, пов'язані з використанням поєднаних систем опалення та VRF. Монтаж таких систем вимагає високої кваліфікації та досвіду від підрядника, а регулярне технічне обслуговування є необхідним для забезпечення довговічності та ефективної роботи системи. Висока початкова вартість може бути ще одним бар'єром, однак ці інвестиції компенсуються низькими експлуатаційними витратами. Для ефективного функціонування системи також необхідно провести детальне проектування, враховуючи особливості будівлі та потреби її мешканців.

Загалом, поєднані системи опалення та VRF кондиціонування представляють собою передове рішення для створення енергоефективного та комфортного клімату в будівлях. Вони забезпечують високу гнучкість, індивідуальний контроль температури та значне зниження енерговитрат, що робить їх привабливими для сучасного будівництва та реконструкції.

Підсумовуючи, комбіновані системи опалення пропонують ряд варіантів інтеграції багатьох технологій опалення для досягнення енергозбереження, екологічних переваг і підвищення комфорту. Вибір конкретної комбінованої системи опалення залежить від таких факторів, як характеристики будівлі, енергетичні ресурси та місцеві кліматичні умови. Оскільки попит на стійкі рішення для опалення продовжує зростати, комбіновані системи опалення відіграватимуть дедалі важливішу роль у переході до низьковуглецевого майбутнього.

1.2. Принципи роботи комбінованих систем опалення

У пошуках енергоефективності та екологічності комбіновані системи опалення стали багатообіцяючим рішенням. Ці системи об'єднують різні технології опалення для оптимізації споживання енергії, забезпечуючи комфорт. Розуміння принципів їх роботи має вирішальне значення для максимізації їхніх переваг [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Комбіновані системи опалення, як правило, поєднують дві або більше технологій опалення, таких як сонячні теплові котли, теплові насоси та традиційні котли на твердому паливі. Використовуючи сильні сторони кожної технології, ці системи прагнуть досягти вищої ефективності та меншого впливу на навколишнє середовище порівняно з автономними системами.

Основні принципи роботи комбінованих систем:

1) Енергетична інтеграція - комбіновані системи опалення відмінно підходять для інтеграції різноманітних джерел енергії. Вони віддають перевагу використанню відновлюваної енергії, коли це доступно, наприклад сонячної енергії чи твердого палива, а за потреби плавно переходять на звичайні джерела, такі як природний газ чи нафта. Ця інтеграція оптимізує використання енергії та зменшує залежність від невідновлюваних ресурсів.

2) Відповідність навантаженню - ефективні комбіновані системи опалення розроблені таким чином, щоб узгодити опалювальне навантаження з найбільш відповідним джерелом енергії. Наприклад, у періоди високого попиту на опалення система може віддати перевагу використанню котла на твердому паливі або теплового насоса для ефективного задоволення навантаження. І навпаки, у періоди низького попиту він може покладатися на сонячну енергію або накопичену теплову енергію для підтримки рівня комфорту.

3) Стратегії керування - розширені стратегії керування відіграють вирішальну роль у роботі комбінованих систем опалення. Ці стратегії включають складні алгоритми, які відстежують різні параметри, такі як зовнішня температура, температура в приміщенні, ціни на енергію та ефективність системи.

На основі даних у реальному часі та налаштувань користувача система керування визначає оптимальне поєднання технологій опалення для мінімізації енергоспоживання та експлуатаційних витрат.

4) Зберігання енергії - накопичення енергії є важливим компонентом багатьох комбінованих систем опалення. Термоакумулятори, наприклад, дозволяють зберігати надлишок тепла, виробленого сонячними колекторами або котлами на твердому паливі, для подальшого використання, коли потреба в опаленні є високою. Це допомагає згладити коливання попиту та пропозиції енергії, підвищуючи надійність і ефективність системи.

5) Гібридизація – один із принципів, який зазвичай використовується в комбінованих системах опалення. Поєднуючи різні технології опалення в одній установці, наприклад гібридному тепловому насосі, що включає як повітря, так і землю, ці системи можуть використовувати сильні сторони кожної технології, одночасно компенсуючи їхні обмеження. Такий підхід максимізує ефективність і стійкість, особливо в регіонах зі змінними кліматичними умовами.

6) Резервування системи - для забезпечення надійності комбіновані системи опалення часто включають функції резервування. Це означає, що якщо одна опалювальна технологія виходить з ладу або працює погано, система може автоматично переключитися на альтернативне джерело, щоб підтримувати безперебійну роботу. Резервування мінімізує час простою та забезпечує безперервне забезпечення опалення, особливо в таких критичних додатках, як лікарні чи промислові об'єкти.

7) Інтеграція з іншими системами - комбіновані системи опалення часто інтегруються з іншими системами будівлі, такими як вентиляція, кондиціонування та гаряче водопостачання. Цей цілісний підхід, відомий як проектування інтегрованої системи, забезпечує синергію між різними енергетичними системами, ще більше підвищуючи загальну ефективність і стійкість.

Підсумовуючи, комбіновані системи опалення забезпечують універсальний та ефективний підхід до задоволення потреб в опаленні, одночасно зменшуючи

вплив на навколишнє середовище. Завдяки інтеграції багатьох технологій опалення та застосуванню вдосконалених стратегій керування ці системи оптимізують використання енергії, підвищують надійність і мінімізують експлуатаційні витрати. Оскільки суспільство продовжує віддавати пріоритет стійкості та енергоефективності, принципи роботи систем комбінованого опалення відіграватимуть ключову роль у формуванні майбутнього технологій опалення.

Комбіновані системи опалення стають все більш популярними як спосіб оптимізації споживання енергії та підвищення комфорту в житлових, комерційних і промислових будівлях. Завдяки інтеграції багатьох технологій опалення ці системи пропонують універсальність, ефективність і довговічність.

1.3. Переваги та недоліки комбінованих систем опалення

Комбіновані системи опалення являють собою інтегровані підходи до забезпечення тепла в будівлях, поєднуючи різні технології опалення для забезпечення оптимальної ефективності та комфорту для користувачів. Ось кілька переваг і недоліків таких систем:

Переваги:

1) Енергоефективність - комбіновані системи опалення можуть поєднувати різні джерела енергії, такі як сонячні панелі, біомаса та традиційні газові котли, щоб оптимізувати використання енергії та зменшити витрати.

2) Спрощене управління - об'єднання різних технологій в єдину систему дозволяє централізовано контролювати всі аспекти опалення, зменшуючи складність і підвищуючи зручність для користувачів.

3) Зниження викидів - використовуючи відновлювані джерела енергії та ефективні технології, комбіновані системи можуть значно скоротити викиди парникових газів та інших забруднюючих речовин.

Недоліки:

1) Високі витрати на встановлення - будівництво та встановлення комбінованих систем опалення може потребувати значних інвестицій, особливо порівняно з традиційними системами опалення.

2) Складність обслуговування - інтегровані системи можуть вимагати спеціалізованого обслуговування та технічної підтримки, що може збільшити експлуатаційні витрати.

3) Метеозалежність - деякі компоненти комбінованих систем, наприклад сонячні панелі або теплові насоси, можуть бути менш ефективними в умовах обмеженої сонячної активності або низьких температур.

Незважаючи на ці недоліки, комбіновані системи опалення продовжують набирати популярність завдяки своїм перевагам в енергоефективності та сталому розвитку. Вирішити ці проблеми можна шляхом постійного вдосконалення технологій і підвищення їх доступності для широкого кола споживачів.

РОЗДІЛ 2
ІНЖЕНЕРНІ РІШЕННЯ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ

2.1. Вихідні дані

Характеристика об'єкту будівництва:

Виробничий цех по переробці молока

Місто: Київ

Кліматична зона: I

Географічна широта: 50°24'

Барометричний тиск : 765 гПа

Орієнтація зовнішньої стіни входу : ПнСх

Об'ємно-планувальні характеристики будівлі

Таблиця 2.1

Об'ємно-планувальні характеристики будівлі

Приміщення	Орієнтація	Ширина, м	Довжина, м	Висота, м	Розмір застеленого пройому, м2	Площа, м2	Об'єм, м3	К-ть робітників
Виробничий цех	Сх	11,9	27,1	4	(1,6)	214,3	857,2	12
	Зх				(0)			
Зона експедиції	Сх	3,55	9,4	4	0	32,91	131,64	3
	Зх				0			
Відділення приймання молока	Сх	6,23	6,25	4	0	38,67	154,68	3
	Зх				0			
Побутові приміщення	Пн	6,26	17,05	4	0	106,32	425,28	9
	Пд				2,2(4)			
Склад пакувальних матеріалів	Пд	6,35	5,4	4	0	43,88	175,52	3

Розрахункові параметри зовнішнього повітря

Кліматичні характеристики вибраної території будівництва отримуємо згідно з [11]. Дані наведено в табл. 2.2. Коефіцієнт надійності визначаємо відповідно до джерел [8, 9].

Таблиця 2.2

Розрахункові параметри зовнішнього повітря

Період року	Коефіцієнт забезпеченості, $k_{заб}$	Розрахункова температура зовнішнього повітря, t_{ext} , °C	Відносна вологість, ϕ_{ext} , %
Теплий	0,99	28	73
Холодний	0,92	-22	88

Розрахункові параметри внутрішнього повітря

При розробці вентиляційних систем для промислових споруд, характеристики внутрішнього повітря визначають відповідно до вказівок [8], а класифікацію приміщень беруть згідно з [12]. Отримані результати наведено в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Розрахункові параметри внутрішнього повітря

Приміщення	Період року	Категорія робіт	Категорія приміщення	Температура внутрішнього повітря, t_{wz} , °C	Відносна вологість, ϕ , %	Швидкість повітря, v , м/с
Виробничий цех	хп	III	B	23	75	0,3
Зона експедиції	хп	II	Д	23	75	0,3
Відділення приймання молока	хп	II	Д	23	75	0,3
Побутові приміщення	хп	Ia	-	22	75	0,2
Склад пакувальних матеріалів	хп	IIa	-	22	75	0,2

2.2. Тепловий та повітряний режими будівлі

2.2.1. Розрахунок огорожувальних конструкцій

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій опалювальних будинків та споруд і внутрішніх міжквартирних конструкцій, які розділяють приміщення, температури повітря у яких відрізняються на 3°C та більше, обов'язкове виконання умов:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{qmin}$$

$$\Delta t_{пр} \leq \Delta t_{сг}$$

$$\tau_{vmin} > t_{min}$$

, де: $R_{\Sigma пр}$ - вагомий опір теплопередачі огорожувальної системи (для термічно однорідних огорожувальних структур дорівнює опору теплопередачі), $m^2 \cdot K/Вт$; R_{qmin} - найнижчий допустимий рівень опору теплопередачі конструкції, $m^2 \cdot K/Вт$. Показники для житлових та громадських будівель в залежності від кліматичних зон; $\Delta t_{пр}$ - різниця температур між внутрішнім повітрям та температурою внутрішньої поверхні огорожувальної структури, °C; $\Delta t_{сг}$ - допустимий згідно санітарно-гігієнічних вимог інтервал температур між внутрішнім повітрям та приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, °C; τ_{vmin} - найнижчий показник температури на внутрішній поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, °C; t_{min} - найнижче припустиме значення температури на внутрішній поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього та зовнішнього повітря, °C.

У холодний період року вологісний режим приміщень встановлюється з урахуванням відносної вологості та температури внутрішнього повітря, які вказано в табл. 2. При температурі внутрішнього повітря менше 12°C і відносній вологості у діапазоні від 60 до 75% встановлюється нормальний режим експлуатації приміщень. При виборі огорожувальних конструкцій необхідно керуватися умовами їх експлуатації, які залежать від вологісного режиму

приміщень та вологості в зоні.

За вимогами ДБН В.2.6-31:2021 опір теплопередачі огорожувальних конструкцій $R_{\text{заг}}$ повинен бути не менше нормативного R_{qmin} .

Згідно з [3], необхідно встановлювати опір теплопередачі внутрішніх конструкцій (стін, перегородок, перекриття) між приміщаннями з різними температурами повітря, коли різниця розрахункових температур у цих приміщеннях перевищує 4°C .

1) Зовнішні стіни (ЗС):

Коефіцієнти тепловіддачі для огорожувальної конструкції: $\alpha_{\text{в}}=8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$
 $\alpha_{\text{з}}=23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$

Значення мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції промислових будинків: $R_{\text{qmin}} = 1,7 \text{ м}^2\text{К}/\text{Вт}$

Зовнішні стіни складаються з таких шарів:

- 1) Залізобетон : $\rho_{\text{з}}= 2400 \text{ кг}/\text{м}^3$ $\delta_{\text{з}}= 0,3 \text{ м}$ $\lambda_{\text{з}}= 1,74 \text{ Вт}/\text{мК}$ $s_{\text{з}}=16,77 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К}$;
- 2) Утеплювач- плити пінополістерольні: $\rho_{\text{п}}= 15 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\lambda_{\text{п}}= 0,045 \text{ Вт}/\text{мК}$,
 $s_{\text{п}}=0,28 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К}$;
- 3) Розчин вапняно-піщаний: $\rho_{\text{ш}}= 1800 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\delta_{\text{ш}}= 0,015 \text{ м}$, $\lambda_{\text{ш}}= 0,76 \text{ Вт}/\text{мК}$,
 $s_{\text{ш}}=9,6 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К}$.

Встановлюємо теплову інерцію зовнішньої стіни за формулою:

$$\sum_{i=1}^n R_i \cdot s_{ip} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \cdot s_{ip} = \frac{0,3}{1,74} \cdot 16,77 + \frac{0,015}{0,76} \cdot 9,6 = 3,07 > 1,5 \quad (2.1)$$

Встановлюємо необхідну товщину утеплювача за формулою 2.2:

$$\delta_{\text{ут, min}} = \lambda_{\text{ут}} \cdot \left(R_{\text{qmin}} - \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} - \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}} \right) = 0,045 \cdot \left(1,5 - \frac{1}{8,7} - \left(\frac{0,3}{1,74} + \frac{0,015}{0,76} \right) + \frac{1}{23} \right) = 0,056 \text{ м}$$

Приймаю товщину утеплювача 60 мм.

Приведений опір теплопередачі становить, формула 2.3 :

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{з}}} + \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} + \frac{\delta_{\text{з}}}{\lambda_{\text{з}}} + \frac{\delta_{\text{ш}}}{\lambda_{\text{ш}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} = \frac{1}{23} + \frac{0,06}{0,045} + \frac{0,3}{1,74} + \frac{0,015}{0,76} + \frac{1}{8,7} = 1,68 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} > 1,5 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі рівний :

$$U = \frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{1,68} = 0,595 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.4)$$

2) Безгорищне покриття:

Коефіцієнти тепловіддачі для огорожувальної конструкції: $\alpha_{\text{в}}=8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$
 $\alpha_{\text{з}}=12 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції промислових будинків: $R_{\text{qmin}} = 1,6 \text{ м}^2\text{К}/\text{Вт}$

Безгорищне покриття складається з:

1) Залізобетон : $\rho_{\text{з}}= 2400 \text{ кг}/\text{м}^3$ $\delta_{\text{з}}= 0,22 \text{ м}$ $\lambda_{\text{з}}= 1,74 \text{ Вт}/\text{мК}$ $s_{\text{з}}=16,77 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К};$

2) Утеплювач- плити пінополістерольні: $\rho_{\text{п}}= 15 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\lambda_{\text{п}}= 0,045 \text{ Вт}/\text{мК}$,
 $s_{\text{п}}=0,28 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К};$

3) Розчин цементно-піщаний: $\rho_{\text{ш}}= 1600 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\delta_{\text{ш}}= 0,03 \text{ м}$, $\lambda_{\text{ш}}= 0,7 \text{ Вт}/\text{мК}$,
 $s_{\text{ш}}=8,69 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К};$

4) Бітум: $\rho_{\text{б}}= 1000 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\delta_{\text{б}}= 0,001 \text{ м}$, $\lambda_{\text{б}}= 0,17 \text{ Вт}/\text{мК}$, $s_{\text{б}}=4,56 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К};$

5) Рубероїд: $\rho_{\text{р}}= 600 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\delta_{\text{р}}= 0,1 \text{ м}$, $\lambda_{\text{р}}= 0,17 \text{ Вт}/\text{мК}$, $s_{\text{р}}=3,53 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К};$

Визначаємо теплову інерцію покриття за формулою 2.5:

$$D = \sum_{i=1}^n R_i \cdot s_{ip} = \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} \cdot s_{ip} = \frac{0,22}{1,74} \cdot 16,77 + \frac{0,03}{0,7} \cdot 8,69 + \frac{0,001}{0,17} \cdot 4,56 + \frac{0,1}{0,17} \cdot 3,53 = 4,6 > 1,5$$

Встановлюємо потрібну товщину утеплювача за формулою 2.6:

$$\delta_{\text{ут,min}} = \lambda_{\text{ут}} \cdot \left(R_{\text{qmin}} - \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} - \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{з}}} \right) = 0,045 \cdot \left(1,7 - \frac{1}{8,7} - \left(\frac{0,22}{1,74} + \frac{0,03}{0,7} + \frac{0,001}{0,17} + \frac{0,1}{0,17} \right) + \frac{1}{12} \right) = 0,036 \text{ м}$$

Приймаю товщину утеплювача 40 мм.

Приведений опір теплопередачі становить, формула 2.7:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_{yt}}{\lambda_{yt}} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{\delta_{ш}}{\lambda_{ш}} + \frac{\delta_6}{\lambda_6} + \frac{\delta_p}{\lambda_p} + \frac{1}{\alpha_{вн}} = \frac{1}{12} + \frac{0,04}{0,045} + \frac{0,22}{1,74} + \frac{0,03}{0,7} + \frac{0,001}{0,17} + \frac{0,1}{0,17} + \frac{1}{8,7} = 1,85 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} > 1,6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі рівний:

$$U = \frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{1,85} = 0,54 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.8)$$

3) Підлога (ПП):

Коефіцієнти тепловіддачі для огорожувальної конструкції: $\alpha_в=8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$
 $\alpha_3=6 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$

Мінімально допустимий опір теплопередачі огорожувальної конструкції промислових будинків: $R_{\text{qmin}} = 1,8 \text{ м}^2\text{К}/\text{Вт}$

1) Дерев'яний настил (на робочих місцях): $\rho_3=500 \text{ кг}/\text{м}^3$ $\delta_3=0,04 \text{ м}$ $\lambda_3=0,18 \text{ Вт}/\text{мК}$ $s_3=3,87 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К}$;

2) Бетон КЛВ-15 : $\rho_3= 2400 \text{ кг}/\text{м}^3$ $\delta_3= 0,1 \text{ м}$ $\lambda_3= 1,74 \text{ Вт}/\text{мК}$ $s_3=16,77 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К}$;

3) Бетон КЛВ-7,5 : $\rho_3= 2400 \text{ кг}/\text{м}^3$ $\delta_3= 0,1 \text{ м}$ $\lambda_3= 1,74 \text{ Вт}/\text{мК}$ $s_3=16,77 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К}$;

4) Ущільнений щебнем ґрунт:

$\rho_3= 350 \text{ кг}/\text{м}^3$ $\delta_3= 0,1 \text{ м}$ $\lambda_3= 0,19 \text{ Вт}/\text{мК}$ $s_3= 2 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К}$.

Теплові втрати через огорожувальні конструкції, що мають контакт з ґрунтом, розраховуються відповідно до EN ISO 13370, включаючи коефіцієнт теплопередачі підлогової плити, $U_{\text{equiv},k}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$, розраховують залежно від характеристичного параметру V' , м [17].

Характеристичний параметр V' визначають як співвідношення загальної площі першого поверху до половини периметру підлоги, що межує з ґрунтом (див. Рис 2.1), для всієї будівлі. При цьому припускається, що теплопровідність ґрунту залишається тією ж $\lambda_g = 2,0 \text{ Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$, а ефект бокової теплоізоляції не враховується.

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} = \frac{540}{0,5 \cdot 64} = 16,36 \quad (2.9)$$

Так, коефіцієнт теплопередачі підлогової плити першого поверху розраховується відповідно до характеристичного параметра B' згідно з наведеними даними на рис. 2.1:

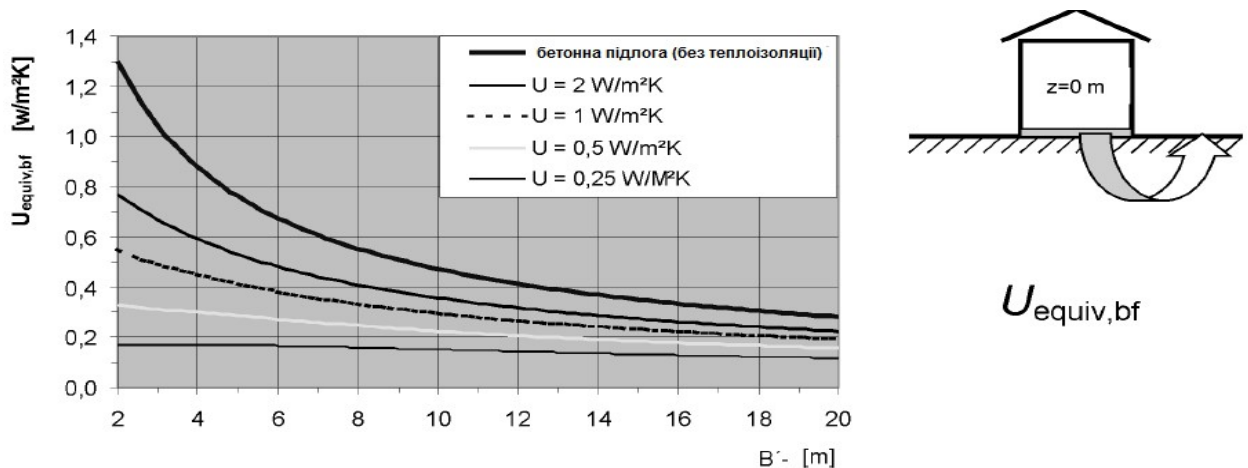


Рис. 2.1. Коефіцієнт теплопередачі підлогової плити першого поверху, що знаходиться на рівні землі

Коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій U_k , Вт/(м²·К) дорівнює:

$$U_k = 0,32$$

Характеристики конструкцій зовнішніх і внутрішніх огорожень, що використовуються для будівництва, мають забезпечувати відповідні умови експлуатації будівлі відповідно до встановлених нормативних вимог щодо теплозбереження, повітропроникності та стану вологості зовнішніх огорожувальних конструкцій.

Теплова інерція бетону:

$$D_{nn} = R_{nn} \cdot s_{nn} = \frac{0,1}{1,74} \cdot 16,77 = 0,96 \geq 0,5 \quad (2.10)$$

Знаходимо теплосасвоєння внутрішньої поверхні за формулою:

$$Y_{\text{пп}} = 2 \cdot s_{\text{пп}} = 2 \cdot 16,77 = 33,54 \geq 17 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.11)$$

Оскільки умова не дотримується кладемо на робочих місцях плити з жорсткого пінополіуритану.

Теплова інерція жорсткого пінополіуритану:

$$D_{\text{пп}} = R_{\text{пп}} \cdot s_{\text{пп}} = \frac{0,04}{0,18} \cdot 3,87 = 0,86 \geq 0,5 \quad (2.12)$$

Визначаємо теплосасвоєння внутрішньої поверхні за формулою:

$$Y_{\text{пп}} = 2 \cdot s_{\text{пп}} = 2 \cdot 3,87 = 7,74 < 17 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.13)$$

4) Вікна (В)

Коефіцієнти тепловіддачі для огорожувальної конструкції: $\alpha_{\text{в}}=8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$
 $\alpha_3=23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$

Значення мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції промислових будинків: $R_{\text{qmin}} = 0,52 \text{ м}^2\text{К}/\text{Вт}$

Беремо вікна з двокамерними склопакетами 4М1-8-4і з $R_k = 0,51 \text{ м}^2\text{К}/\text{Вт}$

Тоді коефіцієнт теплопередачі рівний :

$$U = \frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{0,52} = 2,128 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.14)$$

5) Ворота

Коефіцієнти тепловіддачі для огорожувальної конструкції: $\alpha_{\text{в}}=8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$
 $\alpha_3=23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$

Значення мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції промислових будинків: $R_{\text{qmin}} = 0,18 \text{ м}^2\text{К}/\text{Вт}$

Ворота складаються з таких матеріалів як:

- 1) Сталь: $\rho_{\text{с}}= 7850 \text{ кг}/\text{м}^3$ $\delta_{\text{с}}= 0,001 \text{ м}$ $\lambda_{\text{с}}= 58 \text{ Вт}/\text{мК}$ $s_{\text{с}}=126,5 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К}$;
- 2) Утеплювач- плити пінополістерольні: $\rho_{\text{п}}= 15 \text{ кг}/\text{м}^3$, $\lambda_{\text{п}}= 0,045 \text{ Вт}/\text{мК}$,
 $s_{\text{п}}=0,28 \text{ Вт}/\text{м}^2\text{К}$;

Приведений опір теплопередачі становить, формула 2.15 :

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{\alpha_{\text{в}}} + \frac{\delta_{\text{ут}}}{\lambda_{\text{ут}}} + \frac{\delta_{\text{с}}}{\lambda_{\text{с}}} + \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} = \frac{1}{23} + \frac{0,03}{0,045} + \frac{0,001}{58} + \frac{1}{8,7} = 0,83 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} > 0,55 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі рівний :

$$U = \frac{1}{R_{\Sigma}} = \frac{1}{0,83} = 1,2 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.16)$$

6. Внутрішні стіни

Коефіцієнт тепловіддачі огорожувальних конструкцій

$$\alpha_{\text{в}} = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Залізобетонна перегородка 80 мм

$$R_{qmin} = R_{\text{потр}}^{\text{вс}} = \frac{Q_{\text{в1}} - Q_{\text{в2}}}{\alpha_{\text{в1}} \Delta T_{\text{сг}}} = \frac{20 - 16}{8,7 \cdot 7,0} = 0,065 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} - \text{для приміщення 18}$$

$$R_{\text{к}} = 0,34 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} - \text{фактичний опір внутрішніх стін}$$

$$R_{\text{к}} \geq R_{qmin}^{\text{вс}}$$

$$0,34 \geq 0,065$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі рівний :

$$U = \frac{1}{R_{qmin}^{\text{вс}}} = \frac{1}{0,34} = 2,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \quad (2.17)$$

$$R_{qmin} = R_{\text{потр}}^{\text{вс}} = \frac{Q_{\text{в1}} - Q_{\text{в2}}}{\alpha_{\text{в1}} \Delta T_{\text{сг}}} = \frac{22 - 16}{8,7 \cdot 7,0} = 0,098 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} - \text{для приміщення 13}$$

$$R_{\text{к}} = 0,34 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}} - \text{фактичний опір внутрішніх стін}$$

$$R_{\text{к}} \geq R_{qmin}^{\text{вс}}$$

$$0,34 \geq 0,098$$

Тоді коефіцієнт теплопередачі рівний :

$$U = \frac{1}{R_{qmin}^{\text{вс}}} = \frac{1}{0,34} = 2,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$$

Розрахунок повітропроникності огорожувальної конструкції

Будівлю можна розділити на дві зони згідно з розподілом теплового напору

повітря: нижню зону (зону притоку повітря) і верхню зону (зону витоку повітря), які розділені нейтральною площиною, де тепловий напір дорівнює нулю.

Мета розрахунку - перевірити, чи відповідають умовам непрозорі та світлопрозорі огорожувальні конструкції промислової споруди:

$$R_g \geq R_{g,n},$$

де R_g – опір повітропроникності огорожувальної конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па} / \text{кг}$; $R_{g,n}$ – необхідний опір повітропроникності, $(\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}) / \text{кг}$.

1. Знаходимо розрахункову суму тисків ΔP , Па, за формулою:

$$\Delta P = \Delta P_{T,r} + \Delta P_v, \quad (2.18)$$

де $\Delta P_{T,r}$ - термогравітаційний напір, Па; ΔP_v - вітровий напір, Па;

Термогравітаційний тиск знайдемо за формулою:

$$\Delta P_{T,r} = (H - h_i)(\gamma_z - \gamma_v) = (7,1 - 3,55)(13,6 - 12,0) = 5,7 \text{ Па}, \quad (2.19)$$

де H – висота будівлі (від рівня підлоги першого поверху до верху карнизу, центру витяжних отворів ліхтаря або виходу витяжної шахти), м; h_i – висота від рівня підлоги першого поверху до середини огорожувальної конструкції i -го поверху, для якої виконується розрахунок, м; γ_z , γ_v – питома вага відповідно зовнішнього та внутрішнього повітря, $\text{Н} / \text{м}^3$:

$$\gamma_z = \frac{353}{273 + t_z} = \frac{3463}{273 - 18} = 13,6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3} \quad (2.20)$$

$$\gamma_v = \frac{353}{273 + t_v} = \frac{3463}{273 + 16} = 12,0 \frac{\text{Н}}{\text{м}^3} \quad (2.21)$$

Вітровий тиск знаходимо за формулою:

$$\Delta P_v = 0,03 \cdot v^2 \cdot \gamma_z \cdot \beta_v = 0,03 \cdot 4,1^2 \cdot 13,6 \cdot 0,4 = 2,7 \text{ Па}, \quad (2.22)$$

де v – максимальна із середніх швидкостей вітру за румбами за січень, м/с, повторюваність яких складає 16 % та більше/4/; β_v – коефіцієнт, що враховує зміну швидкості повітря за висотою будівлі, який береться за табл.3.

$$\text{Тоді, } \Delta P = 5,7 + 2,7 = 8,4 \text{ Па}$$

Визначаємо опори паропроникності $R_{g_n}^{н.к}$ та $R_{g_n}^{с.к}$:

– для непрозорих огорожень:

$$R_{g_n}^{н.к} = \frac{\Delta P}{G_n} = \frac{8,4}{1} = 8,4 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}, \quad (2.23)$$

де G_n – допустима повітропроникність огорожувальної конструкції, для зовнішніх непрозорих конструкцій $G_n = 1 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, таб.7/3/.

– для світлопрозорих огорожень:

$$R_{g_n}^{н.к} = \frac{(\frac{\Delta P}{\Delta P_0})^{2/3}}{G_n} = \frac{(\frac{8,4}{10})^{2/3}}{10} = 0,089 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}, \quad (2.24)$$

де G_n – допустима повітропроникність огорожувальної конструкції, для зовнішніх світлопрозорих конструкцій $G_n = 10 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, таб.7/3/; $\Delta p_0 = 10 \text{ Па}$ – різниця тисків на поверхнях огороження, за якої визначається масова повітропроникність світлопрозорої конструкції під час випробувань.

3. Визначаємо дійсні опори повітропроникності для непрозорих огорожень:

1) Залізобетон : $\delta_3 = 0,3 \text{ м}$ $R_g = 58860 \text{ (м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па)/кг}$

2) Утеплювач- плити пінополістерольні: $\delta_3 = 0,07 \text{ м}$ $R_g = 79 \text{ (м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па)/кг}$

3) Розчин вапняно-піщаний: $\delta_{ш} = 0,015 \text{ м}$ $R_g = 142 \text{ (м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па)/кг}$

Отже, для непрозорих огорожувальних конструкцій:

$$R_g = R_{g1} + R_{g2} + R_{g3} = 58860 + 79 + 142 = 59081 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}$$

$$R_{gH}^{н.к} = 8,4 \leq R_g = 59081 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}$$

Висновок: непрозорі частини огорожувальної конструкції задовольняють умовам повітропроникності.

4. Визначаємо опори повітропроникності для світлопрозорих огорожень для типу скління 2-III- це подвійне скління у роздільних рамах і ущільненням прокладками з напівшерстяного шнура $G_{с.к} = 7,69 \text{ кг/м}^3$ при $\Delta p_0 = 10 \text{ Па}$:

$$R_g = \frac{\left(\frac{\Delta P}{\Delta P_0}\right)^{2/3}}{G_{с.к}} = \frac{\left(\frac{8,4}{10}\right)^{2/3}}{7,69} = 0,12 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{кг}}$$

$$R_{gH}^{н.к} = 0,089 \leq R_g = 0,12 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{Па}}{\text{кг}} \quad (2.25)$$

Висновок: світлопрозорі частини огорожувальної конструкції задовольняють умовам повітропроникності.

Результати підбору огорожувальних конструкцій наведено в Додатку А.

2.2.2. Розрахунок теплонадходжень в приміщення

Основне завдання вентиляції - це усунення шкідливих викидів, що потрапляють у приміщення. Основні забруднення, які негативно впливають на робочу зону, включають надмірну теплоту, вологу у вигляді водяної пари, газу та пил.

Розрахунок теплонадходжень по приміщенням наведено нижче за текстом та в Додатку Б.

Теплонадходження від освітлення

$$Q_{\text{осв}} = E_{\text{осв}} \cdot F_{\text{п}} \cdot q_{\text{осв}} \cdot \eta_{\text{осв}}, \quad (2.26)$$

де $E_{\text{осв}}$ - освітленість робочих поверхонь, лк; $F_{\text{п}}$ - площа підлоги, м²,табл.2.1;
 $E_{\text{осв}} = 150$ лк; $q_{\text{осв}}$ - питомі тепловиділення від люмінесцентних ламп, Вт/(м²·лк)
 $q_{\text{осв}} = 0,056$ Вт/(м²·лк); $\eta_{\text{осв}}$ - частка теплоти, що надходить в приміщення:
 $\eta_{\text{осв}} = 0,55$ від люмінесцентних ламп.

Теплонадходження від людей

$$Q_{\text{лhf}} = q_{\text{лhf}} \cdot n_{\text{л}}, \quad (2.27)$$

де $q_{\text{лhf}}$ – питомі тепловиділення однією людиною, згідно з , Вт.; $n_{\text{л}}$ – кількість людей.

Теплонадходження від сонячної радіації

$$Q_{\text{осв}} = E_{\text{осв}} F_{\text{пр}} q_{\text{осв}} \rho_{\text{осв}} \quad (2.28)$$

Тепловиділення від устаткування, обладнання та під час виконання технологічних процесів

$$Q_{\text{ст}} = 1000 \cdot N \cdot (1 - k_{\text{п}} \cdot \eta + k_{\text{т}} \cdot k_{\text{п}} \cdot \eta) \cdot k_{\text{с}}, \quad (2.29)$$

де N - номінальна встановлена напруженість електродвигуна, кВт; $k_{\text{п}}$ -коефіцієнт повноти загрузки електродвигуна ($k_{\text{п}}= 1$ при загрузці від 1до 0,5); η - ККД електродвигуна, таб.2.11/4/; $k_{\text{т}}$ -коефіцієнт переходу теплоти в приміщення ;
 $k_{\text{с}}$ -коефіцієнт попиту на електроенергію ($k_{\text{с}}= 0,2$ при роботі металоріжучих станків крупносерійного виконання, $k_{\text{с}}=0,4$ при роботі ковальних машин).

Загальна потужність електродвигунів встановлено на механічного устаткуванні для приміщень.

Теплонадходження від остигання обладнання, матеріалів тощо при переході на черговий режим використання приміщення

$\Phi_{Q_{обл}}$, Вт, при змінному тепловому режимі приміщення (зниження внутрішньої температури повітря при переході з робочого на черговий режим):

$$\Phi_{Q_{обл}} = 0,278 \cdot G_{обл} \cdot c_{обл} \cdot (\theta_{int.i} - \theta_{вч}) \cdot \beta_n, \quad (2.30)$$

де $G_{обл}$ – маса обладнання, кг; $c_{обл}$ – середня питома теплоємність матеріалу обладнання, кДж/(кг·°C); $\theta_{int.i}$ – розрахункова внутрішня температура повітря під час роботи основної системи опалення, °C; $\theta_{вч}$ – розрахункова внутрішня температура повітря під час роботи чергової системи опалення, °C; $\beta_n = 1$.

2.2.3. Розрахунок тепловтрат в приміщеннях

Тепловий режим будівлі визначається тепловим балансом між втратами тепла і його надходженням при встановленій температурі внутрішнього повітря. Цей баланс включає:

Тепловтрати опалюваними приміщеннями через зовнішні огорожувальні конструкції, що контактують із зовнішнім повітрям;

Тепловтрати опалюваними приміщеннями до приміщень з нижчою розрахунковою температурою;

Тепловтрати опалюваними приміщеннями через неопалювані приміщення;

Тепловтрати опалюваними приміщеннями через підлогу та ґрунт;

Вентиляційні тепловтрати на нагрівання інфільтраційного повітря в опалюваних приміщеннях, за винятком теплоти, що передається повітрям всередині будівлі;

Компенсаційну теплову потужність в опалюваних приміщеннях під час періодичного режиму роботи системи опалення;

Витрати тепла на нагрівання матеріалів, виробів, обладнання та

транспортних засобів;

Надходження тепла від електричних приладів, освітлювальних пристроїв, технологічного обладнання, трубопроводів, людей та інших джерел.

Розрахунок трансмісійних тепловтрат через огорожувальні конструкції

Тепловтрати приміщення за рахунок теплообміну через його огороження розраховуються за розрахунковими значеннями $\Phi_{T,i}$, Вт, з урахуванням основних можливих конфігурацій розташування приміщення, які визначаються за формулою:

$$\Phi_{T,i} = (N_{T,ie} + N_{T,ij} + N_{T,iue} + N_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \quad (2.31)$$

де $N_{T,ie}$ – показник трансмісійних тепловтрат через зовнішні огорожувальні конструкції приміщення, Вт/°С; $N_{T,ij}$ – показник трансмісійних тепловтрат опалюваного приміщення через огорожувальну конструкцію до суміжного опалюваного приміщення з іншою розрахунковою температурою, Вт/°С; $N_{T,iue}$ – показник трансмісійних тепловтрат опалюваного приміщення через неопалюване приміщення на вулицю, Вт/°С; $N_{T,ig}$ – показник трансмісійних тепловтрат через огорожувальні конструкції до ґрунту, Вт/°С; $\theta_{int,i}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря ([1], дод. А, табл. А1), °С; θ_e – температура зовнішнього повітря, °С.

У холодний період року для опалюваних виробничих приміщень під час їх невикористання (в режимі очікування) приймають розрахункову температуру внутрішнього повітря нижче нормованої не більше, ніж на 4 °С, але не менше, ніж 5 °С в виробничих приміщеннях.

Необхідно забезпечити відновлення нормованої температури до початку використання приміщення або перед початком роботи.

Для визначення розрахункової температури повітря, $\theta_{int,i}$, у приміщеннях з висотою понад 4 метри, можна скористатися такими формулами:

Знайдемо внутрішню температуру повітря у верхній зоні приміщення, °С:

$$\theta_{int,i}^{p3} = \theta_{int,i}^{p3} + grad(t) \cdot (h_{пр} - 2), \quad (2.32)$$

де $\theta_{int,i}^{p3}$ – внутрішня температура повітря в робочій зоні приміщення, яка відповідає розрахунковій температурі внутрішнього повітря, °С; $h_{пр}$ – висота приміщення (від підлоги до стелі), м; $grad(t)$ – підвищення внутрішньої температури повітря вище робочої зони, °С /м, на 1 м висоти визначається за формулою:

$$grad(t) = 0,02 \cdot \theta_{int,i}^{p3} \quad (2.33)$$

У розрахунках збільшення витрат тепла у висотних приміщеннях враховується коефіцієнт на висоту приміщення, $f_{h,i}$.

Характеристика трансмісійних тепловтрат приміщення через огорожувальні конструкції, що контактують із ґрунтом

Характеристика трансмісійних тепловтрат через огорожувальні конструкції приміщення до масиву землі $H_{T,ig}$ знаходиться за формулою:

$$H_{T,ig} = f_{g1} \cdot f_{g2} \cdot (\sum_k A_k \cdot U_{equiv,k}) \cdot G_w, \frac{Вт}{°С}, \quad (2.34)$$

де $f_{g1} = 1,45$ – коригувальний коефіцієнт, який враховує сезонні зміни температури ґрунту (за відсутності національних даних); G_w – коефіцієнт корекції, який враховує вплив ґрунтових вод (коли рівень ґрунтових вод знаходиться нижче плити підлоги) $h_{г.в} > 1,0$ м $G_w = 1,0$; при $h_{г.в} \leq 1,0$ м $G_w = 1,15$); f_{g2} – коригувальний коефіцієнт для можливого зниження зовнішньої температури, який враховує різницю між середнім коливанням і розрахунковим значенням температури зовнішнього повітря (середню амплітуду коливання), визначається за формулою:

$$f_{g2} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{me}}{\theta_{int,i} - \theta_e}, \quad (2.35)$$

де θ_{me} – середньорічна температура зовнішнього повітря, °С.

Розрахунок тепловтрат на нагрівання вентиляційного повітря

Розрахункові теплові втрати приміщення на підігрів вентиляційного повітря в опалюваних приміщеннях $\Phi_{V,i}$, Вт, знаходять за формулою:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e), \text{ Вт}, \quad (2.36)$$

де $H_{V,i}$ – характеристика вентиляційних тепловтрат приміщення, Вт/°С.

Розрахункове значення характеристики тепловтрат опалювального приміщення при підігріві зовнішнього вентиляційного повітря, яке надходить через вентиляційну систему (інфільтрацію, провітрювання тощо):

$$H_{V,i} = V_i^c \cdot \rho \cdot c_p, \frac{\text{Вт}}{^\circ\text{C}}, \quad (2.37)$$

де ρ – щільність повітря при розрахунковій температурі приміщення, кг/м³; c_p – питома теплоємність повітря за розрахункової температури приміщення кДж/(кг·К); V_i^c – об'ємний потік повітря, що надходить до опалювального приміщення, м³/с, яка визначається залежно від організації системи вентиляції в приміщенні.

У відсутність організованого подачі свіжого повітря у приміщення, об'ємна витрата повітря V_i визначається як більше значення між інфільтраційним та санітарно-гігієнічним повітрообмінами:

$$V_i = \max(V_{inf,i}, V_{min,i}), \frac{\text{м}^3}{\text{ГОД}} \quad (2.38)$$

Мінімальна питома витрата вентиляційного повітря згідно санітарно-гігієнічних вимог для виробничих приміщень:

- для основного режиму роботи системи вентиляції при перебуванні людей більше двох годин безперервно у приміщенні, з природним провітрюванням – 30

м³/(люд·год), без природного провітрювання – 60 м³/(люд·год);

▪ для чергового режиму роботи системи вентиляції рекомендується обирати мінімальне значення витрати зовнішнього повітря від 0,1 дм³/(с·м²) до 0,2 дм³/(с·м²).

Витрати теплоти на нагрівання обладнання, матеріалів, виробів тощо

$\Phi_{Q_{обл}}$, Вт, при змінному тепловому режимі приміщення (зниження внутрішньої температури повітря при переході з робочого на черговий режим):

$$\Phi_{Q_{обл}} = 0,278 \cdot G_{обл} \cdot c_{обл} \cdot (\theta_{int.i} - \theta_{вч}) \cdot \beta_H, \quad (2.39)$$

де $G_{обл}$ – маса обладнання, кг; $c_{обл}$ – середня питома теплоємність матеріалу обладнання, кДж/(кг·°C); $\theta_{int.i}$ – розрахункова внутрішня температура повітря під час роботи основної системи опалення, °C; $\theta_{вч}$ – розрахункова внутрішня температура повітря під час роботи чергової системи опалення, °C; $\beta_H = 1$.

2.2.4. Розрахунок повітрообміну приміщень

Об'єм повітря, який поступає до приміщення, через надлишки явної теплоти обчислюється за наступною формулою:

$$G = G_{вч}^{м.е.} + \frac{3,6 Q_{я}^{над} - c G_{вч} (t_{вч} - t_{in})}{c(t_1 - t_m)}, \text{ кг/год} \quad (2.40)$$

$$L_{mn} = \frac{G}{\rho_{mn}}, \text{ м}^3/\text{год}; \quad L_{xn} = \frac{G}{\rho_{xn}}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (2.41)$$

де ρ_{mn} , ρ_{xn} – густина повітря відповідно при t_{in}^{mn} та t_{in}^{xn} .

Об'єм повітря, який надходить у приміщення, на основі маси виділення шкідливих речовин з розведенням їх концентрації до ГДК визначається за наступною формулою:

$$G = G_{\text{вз}}^{\text{МЗ}} + \frac{m_{\text{рв}} - G_{\text{вз}}(q_{\text{вз}} - q_{\text{ин}})}{(q_{\text{и}} - q_{\text{ин}})}, \text{кг} / \text{год} \quad (2.42)$$

Розрахунки виконуються для всіх приміщень, після чого отримані результати використовуються для складання таблиці повітряного балансу.

Виробничий цех

$\Delta Q^{\text{III}} = 315050 \text{Вт}$ - теплонадлишки явної теплотт; $G_{\text{мо}} = 19530 \text{ м}^3/\text{год}$ – об'єм повітря, що видаляється місцевими витяжними системами вентиляції; $t_{\text{вз}}^{\text{III}} = 26,5^\circ \text{C}$ - температура повітря робочої зони; $t_{\text{ин}}^{\text{III}} = 24^\circ \text{C}$ - температура зовнішнього повітря; $t_{\text{и}}^{\text{III}} = 27^\circ \text{C}$ - температура повітря, що видаляється.

Визначаємо кількість повітря, що подається в приміщення подається загальнообмінною вентиляцією, формула 2.43:

$$G_{\text{и}} = \frac{3.6 \cdot \Delta Q^{\text{III}} - G_{\text{вз}} \cdot c \cdot (t_{\text{вз}} - t_{\text{ин}})}{c \cdot (t_{\text{и}} - t_{\text{ин}})} = \frac{3.6 \cdot 315050 - 19530 \cdot 1,2 \cdot 1,005(26,5 - 24)}{1.005 \cdot (27 - 24)} = 373007 \text{кг} / \text{год}$$

Визначимо об'єм повітря

$$L = \frac{385521}{1.2} = 321267 \text{м}^3 / \text{год} \quad (2.44)$$

Подачу повітря будемо забезпечувати природним шляхом через нижні припливні отвори, а видалення - також природним шляхом через ліхтар, тобто застосовуємо аерацію.

Зона експедиції

$\Delta Q^{\text{III}} = 29260 \text{Вт}$ - теплонадлишки явної теплотт; $G_{\text{мо}} = 9650 \text{ м}^3/\text{год}$ – об'єм повітря, що видаляється місцевими витяжними системами вентиляції; $t_{\text{вз}}^{\text{III}} = 26,5^\circ \text{C}$

- температура повітря робочої зони; $t_{in}^{III} = 24^{\circ}\text{C}$ - температура зовнішнього повітря;
 $t_1^{III} = 27^{\circ}\text{C}$ - температура повітря, що видаляється;

Визначаємо кількість повітря, що подається в приміщення подається загальнообмінною вентиляцією:

$$G_l = \frac{3.6 \cdot \Delta Q^{III}}{c \cdot (t_1 - t_{in})} = \frac{3.6 \cdot 29260}{1.005 \cdot (27 - 24)} = 28630 \text{ кг / год} \quad (2.45)$$

Визначимо об'єм повітря

$$L = \frac{28360}{1.2} = 23633 \text{ м}^3 / \text{год} \quad (2.46)$$

Подачу повітря будемо здійснювати механічним шляхом за допомогою припливно витяжної установки.

Відділення приймання молока:

$\Delta Q^{III} = 2360 \text{ Вт}$ - теплонадлишки явної теплотт; $t_{wz}^{III} = 26,5^{\circ}\text{C}$ - температура повітря робочої зони; $t_{in}^{III} = 24^{\circ}\text{C}$ - температура зовнішнього повітря; $t_1^{III} = 27^{\circ}\text{C}$ - температура повітря, що видаляється;

Визначаємо кількість повітря, що подається в приміщення подається загальнообмінною вентиляцією:

$$G_l = \frac{3.6 \cdot \Delta Q^{III}}{c \cdot (t_1 - t_{in})} = \frac{3.6 \cdot 2360}{1.005 \cdot (27 - 24)} = 2386 \text{ кг / год} \quad (2.47)$$

Визначимо об'єм повітря

$$L = \frac{10386}{1.2} = 8565 \text{ м}^3 / \text{год} \quad (2.48)$$

Подачу повітря будемо здійснювати механічним шляхом за допомогою припливно витяжної установки.

Побутові приміщення

$\Delta Q^{\text{III}} = 6560 \text{ Вт}$ - теплонадлишки явної теплотт; $t_{\text{wz}}^{\text{III}} = 26,5^\circ \text{ C}$ - температура повітря робочої зони; $t_{\text{in}}^{\text{III}} = 24^\circ \text{ C}$ - температура зовнішнього повітря; $t_1^{\text{III}} = 27^\circ \text{ C}$ - температура повітря, що видаляється;

Визначаємо кількість повітря, що подається в приміщення подається загальнообмінною вентиляцією:

$$G_i = \frac{3.6 \cdot \Delta Q^{\text{III}}}{c \cdot (t_1 - t_{\text{in}})} = \frac{3.6 \cdot 6580}{1.005 \cdot (27 - 24)} = 7856 \text{ кг / год} \quad (2.49)$$

Визначимо об'єм повітря

$$L = \frac{10386}{1.2} = 7535 \text{ м}^3 / \text{год} \quad (2.50)$$

Подачу повітря будемо здійснювати механічним шляхом за допомогою припливно витяжної установки.

Склад пакувальних матеріалів

$\Delta Q^{\text{III}} = 3020 \text{ Вт}$ - теплонадлишки явної теплотт; $t_{\text{wz}}^{\text{III}} = 26,5^\circ \text{ C}$ - температура повітря робочої зони; $t_{\text{in}}^{\text{III}} = 24^\circ \text{ C}$ - температура зовнішнього повітря; $t_1^{\text{III}} = 27^\circ \text{ C}$ - температура повітря, що видаляється;

Визначаємо кількість повітря, що подається в приміщення подається загальнообмінною вентиляцією:

$$G_i = \frac{3.6 \cdot \Delta Q^{\text{III}}}{c \cdot (t_1 - t_{\text{in}})} = \frac{3.6 \cdot 3020}{1.005 \cdot (27 - 24)} = 3156 \text{ кг / год} \quad (2.51)$$

Визначимо об'єм повітря

$$L = \frac{3020}{1.2} = 1565 \text{ м}^3 / \text{год} \quad (2.52)$$

Розрахунки наведено в додатку В.

2.3. Проектування інженерних систем будівлі

2.3.1. Проектування та розрахунок водяної системи опалення будівлі

Система водяного опалення - це складна мережа трубопроводів, через яку теплоносії розподіляється між опалювальними приладами, забезпечуючи постійну циркуляцію протягом всього опалювального періоду. Для опалення виробничих приміщень здебільшого використовуються двотрубні системи з насосною циркуляцією теплоносія. Гідравлічний розрахунок системи опалення виробничих приміщень здійснюється за стандартними методиками.

Основною метою гідравлічного розрахунку є визначення діаметрів трубопроводів та забезпечення гідравлічної збалансованості циркуляційних кілець системи опалення, що досягається за допомогою балансувальної регулювальної арматури з урахуванням гідравлічних втрат тиску на ділянках, розрахованих одним із методів гідравлічного розрахунку. В ході гідравлічного розрахунку визначаються налаштування автоматичної запірно-регулювальної арматури (терморегулятори, регулювальна гарнітура, ручні та автоматичні балансувальні клапани тощо), за допомогою яких забезпечується збалансованість циркуляційних кілець системи опалення. Розраховані налаштування зазначаються в проектній документації і встановлюються під час налагодження системи, що забезпечує розрахункову витрату теплоносія в циркуляційних кільцях.

Послідовність виконання гідравлічного розрахунку трубопроводів

Гідравлічний розрахунок здійснюється на основі оптимальних швидкостей руху теплоносія на кожній ділянці або встановленого циркуляційного тиску для опалювальної системи. Під час розрахунку рекомендується використовувати наступні розрахункові швидкості руху теплоносія: для сталевих труб - 0,3-0,5 м/с, для полімерних труб - 0,5-0,7 м/с (за питомих втрат тиску на тертя в межах 100-200 Па/м). Гідравлічний розрахунок систем опалення базується на рівнянні для визначення втрат тиску на розрахунковій ділянці.

$$\Delta P = \Delta P_{\text{л}} + \Delta P_{\text{м}}, \quad (2.53)$$

де $\Delta P_{\text{л}}$ – лінійні втрати тиску, зумовлені опорами тертя в трубопроводах; $\Delta P_{\text{м}}$ – втрати тиску в місцевих опорах, спричинені зміною структури потоку (зміною напрямку, розділенням, злиттям тощо) у фітингах, запірно-регулювальних пристроях та обладнанні.

Втрати тиску в системі під час виконання гідравлічного розрахунку здебільшого розраховуються за двома основними способами: за питомими лінійними втратами тиску та за характеристиками гідравлічного опору.

У насосних системах водяного опалення переважно виконують розрахунки за другим способом, втрати тиску на ділянці визначають за формулою:

$$\Delta P = S \cdot G^2, \quad (2.54)$$

де G – об'єм води, що проходить через розрахункову ділянку, кг/год; S – властивості гідравлічного опору розрахункової ділянки, Па/(кг/год)², яку розраховують за формулою:

$$S = A \cdot \xi_{\text{пр}}, \quad (2.55)$$

де A – питомий динамічний тиск на ділянці, що утворюється при русі теплоносія через неї $G = 1$ кг/год, Па/(кг/год)²; $\xi_{\text{пр}}$ – приведений коефіцієнт опору ділянки:

$$\xi_{\text{пр}} = \left(\frac{\lambda}{d}\right) \cdot l + \Sigma \xi, \quad (2.56)$$

де $\Sigma \xi$ – загальна сума коефіцієнтів місцевих опорів; l – довжина розрахункової ділянки, виражена в метрах.

Втрати тиску при балансуванні в системі, які виникають на ручній балансувальній арматурі (вентиллях, кранах та іншому обладнанні), за винятком конструкцій з вбудованим витратоміром (шайба, труба Вентурі та інші). беруть не

менше ніж 3 кПа.

За питомою величиною G/w визначають фактичну швидкість руху води на ділянці:

$$w = \frac{G}{G'} \cdot \frac{m}{c} \quad (2.57)$$

Характеристика гідравлічного опору розрахункової ділянки дорівнює:

$$S = S_{\text{пр}} \cdot l + S_v \quad (2.58)$$

Кількість води, яка проходить через систему опалення (на виході з теплового вузла), G_{co} , в кілограмах на годину, розраховують за такою формулою:

$$G_{\text{co}} = \frac{3,6 \cdot \Phi_{\text{HL}}}{c \cdot \Delta t_{\text{co}}}, \quad (2.59)$$

де Φ_{HL} – теплова потужність опалювальної системи, Вт; c – питома теплоємність води, що дорівнює 4,19 кДж/(кг·°С); $\Delta t_{\text{co}} = (t_r - t_o)$ – різниця температури теплоносія на вході в систему опалення t_r і на виході з неї t_o , °С.

Витрата мережної води (на ввіді вузла теплового вводу), G_{T} , кг/год, дорівнює:

Питома витрата мережної води на вході в тепловий вузол

$$G_{\text{T}} = \frac{3,6 \cdot \Phi_a}{c \cdot \Delta T}, \quad (2.60)$$

де Φ_a – теплова потужність на вході до абонента, Вт; $\Delta T = (T_1 - T_2)$ – різниця температур теплоносія в системі тепlopостачання на вході до будівлі, °С.

Витрата води $G_{\text{діл } i}$, кг/год, у будь-якій розрахунковій ділянці системи опалення дорівнює:

$$G_{\text{діл } i} = G_{\text{co},i} \cdot \varphi_i, \quad (2.61)$$

де φ_i – відносна частка загальної витрати води, яка протікає через i -ту ділянку, обчислюється відповідно до формули:

$$\varphi_i = \frac{\Phi_{HLi}}{\Phi_{HL}}, \quad (2.62)$$

де Φ_{HLi} – теплове навантаження i -тої розрахункової ділянки, Вт.
Результати розрахунку наведено в додатку Г.

Технічні рішення будови системи опалення

Технічне рішення системи опалення

В приміщеннях підприємства спостерігаються різні режими роботи і нерівномірність тепловтрат та теплонадходжень, тому в даному проекті доцільно буде прийняти комбіновану систему опалення. Водяна система опалення буде працювати в фоновому режимі, також фоновий режим опалення буде підтримувати вентиляція з припливно витяжними установками та компресорно конденсаторними блоками. Система кондиціонування буде працювати як догрівуюча система опалення. Для ефективної роботи водяної системи опалення приймаємо температуру теплоносія 60-80 °С.

Опалювальні прилади

Для підприємств термічної промисловості опалювальними приладами використовують радіатори, покриті алюмінієвим шаром ізоляції, а також тепловентилятори. Такий тип опалювальних приладів є доцільним з техніко-економічних і протипожежних поглядів. Радіатори обладнуються автоматичними повітровипускними клапанами та запірними вентилями для можливості відключення регістра в разі необхідності.

Трубопроводи

Вибираємо сталеві водогазопровідні звичайні труби (ГОСТ 3262-89*1.

Трубопроводи які перетинають ворота ми утеплюємо в ніші, попередньо обладнавши їх кранами для зливу води. У найвищих точках трубопроводів встановлюємо повітровипускні клапани Для запобігання зайвих тепловтрат трубопроводи вкриваємо теплоізоляцією Thermoflex Ultra M.

Розрахунок та підбір опалювальних приладів

Метою теплового розрахунку опалювальних приладів є відбір типорозмірів сталевих панельних радіаторів або конвекторів, визначення кількості секцій секційних радіаторів (чавунних, біметалевих та інших), а також розрахунок площі нагріву приладів з гладких сталевих труб, що забезпечують необхідний тепловий потік у приміщення. Потрібний тепловий потік опалювального приладу $\Phi_{\text{н}}^{\text{потр}}$, Вт, приведений до нормованих умов, визначають за формулою:

$$\Phi_{\text{н}}^{\text{потр}} = \frac{\Phi_{\text{оп}}}{\varphi \cdot b \cdot c \cdot \psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \psi_3}, \quad (2.63)$$

де φ – комплексний коефіцієнт, який урахує відхилення розрахункових значень температурного напору і витрати води в опалювальному приладі від нормованих:

$$\varphi = \varphi_1 \cdot \varphi_2 = \left(\frac{\Delta t_p}{\Delta t_n} \right)^{1+n} \cdot \left(\frac{G_p}{G_n} \right)^p, \quad (2.64)$$

де Δt_p – розрахунковий температурний напір, °С; Δt_n – нормований температурний напір, $\Delta t_n = 70$ °С; $G_p / G_n = 1$ – поправочний коефіцієнт, що враховує змінення теплового потоку ОП при відміні розрахункової витрати води $G_{\text{оп}}$ від $G_n = 360$ – нормована витрата води в ОП, кг/год; n , p і c – емпіричні показники (дод. Є, табл.Є.1 /7/); b – коефіцієнт, що враховує вплив барометричного тиску у районі будівництва; ψ_1 – коефіцієнт, який враховує зменшення теплового потоку опалювального приладу при русі води в ньому для схеми "зверху-вниз" – $\psi_1 = 1$; ψ_2 – коефіцієнт, який враховує зменшення теплового потоку опалювальних приладів при розташуванні їх в два чи більше рядів по вертикалі $\psi_2 = 0,85$; ψ_3 –

Коефіцієнт, що враховує зменшення теплового потоку опалювальних приладів при розташуванні їх у декілька рядів по глибині (при однорядній установці приладів по глибині) – $\psi_3 = 1$).

Температурний напір в опалювальному приладі:

$$\Delta t_p = \Delta t_{вх} - \frac{\Delta t_{оп}}{2} - \Delta t_{в}, \quad (2.65)$$

де: $t_{вх}$ – температура води, яка поступає в опалювальний прилад, $t_{вх} = t_{г} = 130$ °С; $\Delta t_{о.п.}$ – різниця температур води в опалювальному приладі, °С; $t_{в}$ – розрахункова температура повітря в приміщенні, °С.

Різниця температур води в кожному опалювальному приладі двотрубної системи опалення розраховується за формулою:

$$\Delta t_{оп} = \frac{0,86 \cdot \Phi_{п.в.} \cdot b_2 \cdot b_3}{G_{п.в.}}, \quad (2.66)$$

де $\Phi_{п.в.}$ – Загальні тепловтрати приміщень, що обслуговуються приладовою віткою, можна обчислити як суму тепловтрат кожного окремого приміщення, підключеного до цієї вітки. ($\Phi_{п.в.} = \sum \Phi_{1прі}$), Вт; b_3 – коефіцієнт, що враховує спосіб установки опалювального приладу (при відкритій установці), можна розрахувати з урахуванням його впливу на теплові втрати. – $b_3 = 1$); $G_{п.в.}$ – витрата води в приладовій вітці, кг/год:

$$G_{п.в.} = \frac{0,86 \cdot \Phi_{п.в.}}{c \cdot \Delta t_{сo}}. \quad (2.67)$$

Витрату води, $G_{о.п.}$, кг/год, в опалювальних приладах двотрубних систем водяного опалення з горизонтальними приладовими вітками можна розрахувати за допомогою наступної формули:

З урахуванням $(-\Delta\Phi)$ – різниці між сумарними тепловтратами та витратою тепла у приміщенні за нормованої температури внутрішнього повітря, визначеної під час складання теплового балансу, теплову потужність опалювальних приладів можна розрахувати за допомогою наступної формули:

$$\Phi_{\text{оп}} = (|-\Delta\Phi| - 0,9 \cdot \Phi_{\text{тр}}) \cdot b_2 \cdot b_3, \quad (2.68)$$

де $(-\Delta\Phi)$ – недостача тепла в приміщенні, Вт; $\Phi_{\text{тр}}$ – тепловіддача трубопроводів системи опалення, прокладених в опалюваному приміщенні, Вт

Тепловіддача від трубопроводів системи опалення, прокладених у опалюваному приміщенні, розраховується як:

$$\Phi_{\text{тр}} = q_{\text{тр}} \cdot (l_{\text{верт}} + 1,28 \cdot l_{\text{гор}}), \quad (2.69)$$

де $q_{\text{тр}}$ – Тепловий потік одного погонного метра відкрито прокладених у приміщенні вертикальних сталевих труб залежить від їх діаметра і температурного напору. $\Delta t^{\text{тр}}_{\text{т}}$ Вт/м; $l_{\text{верт}}$ – довжина вертикальних труб, м; $l_{\text{гор}}$ – довжина горизонтально прокладених труб, м.

2.3.2. Проєктування вентиляції будівлі

Технічні рішення по системам вентиляції приміщень різного призначення

Системи вентиляції відіграють важливу роль у забезпеченні комфортних та безпечних умов у різних типах приміщень. Вентиляція забезпечує видалення забрудненого повітря та подачу свіжого, що є критично важливим для підтримання здорового мікроклімату, зниження рівня вуглекислого газу, запобігання накопиченню шкідливих речовин і підтримання оптимальної вологості. У цьому розділі розглянемо технічні рішення для систем вентиляції в приміщеннях різного призначення, таких як житлові будинки, офіси, промислові об'єкти та медичні установи.

У житлових приміщеннях найчастіше використовуються природна та механічна вентиляція. Природна вентиляція здійснюється за рахунок природної

циркуляції повітря через вентиляційні канали, вікна, двері та інші отвори в конструкції будівлі. Основні переваги такої системи – низька вартість та простота експлуатації. Однак, ефективність природної вентиляції залежить від погодних умов та може бути недостатньою для забезпечення необхідного рівня комфорту в приміщенні. Механічна вентиляція забезпечує більш контрольований і стабільний обмін повітря. Зазвичай застосовуються наступні види механічної вентиляції: витяжна вентиляція, яка забезпечує видалення повітря з приміщення через вентиляційні канали з допомогою вентиляторів, та приточно-витяжна вентиляція, яка забезпечує як видалення забрудненого повітря, так і подачу свіжого. Така система може бути оснащена фільтрами, рекуператорами тепла та іншими елементами для підвищення ефективності та комфорту.

В офісних приміщеннях основна мета вентиляції – забезпечення комфортних умов для роботи та підтримання високого рівня продуктивності. Центральні системи вентиляції зазвичай використовуються у великих офісних будівлях. Вони включають центральний кондиціонер або вентиляційні установки, які подають оброблене повітря через мережу повітроводів. Для менших офісних приміщень можуть використовуватися локальні вентиляційні установки, такі як фанкойли, які забезпечують охолодження або нагрівання повітря на рівні окремих зон чи кімнат.

У промислових приміщеннях вентиляція повинна забезпечувати видалення шкідливих речовин, пилу, газів та інших забруднень, які утворюються в процесі виробництва. Місцева вентиляція застосовується для видалення забрудненого повітря безпосередньо з місця його утворення. Це можуть бути витяжні парасольки, аспіраційні системи та локальні витяжні установки. Загальнообмінна вентиляція забезпечує обмін повітря у всьому приміщенні, вирівнюючи концентрацію шкідливих речовин і забезпечуючи подачу свіжого повітря.

В медичних установах вентиляція має особливе значення через необхідність підтримання високих стандартів чистоти повітря та контролю інфекцій. Чисті приміщення, такі як операційні та лабораторії, вимагають систем вентиляції з високоефективними фільтрами (HEPA-фільтри) для видалення бактерій, вірусів та

інших мікроорганізмів. Для запобігання перетоку забрудненого повітря між різними зонами використовуються системи з диференційованим тиском, які забезпечують позитивний або негативний тиск у конкретних приміщеннях.

Вибір та проектування систем вентиляції для приміщень різного призначення повинні враховувати специфіку експлуатації, нормативні вимоги та індивідуальні потреби кожного об'єкта. Правильно спроектована та встановлена вентиляційна система забезпечує комфорт, безпеку та ефективність роботи приміщень, сприяючи здоров'ю та добробуту людей.

Проектування систем вентиляції приміщень будівлі

У даній будівлі запроєктовано вискоєфективну центральну систему вентиляції, яка включає приточно-витяжні установки та компресорно-конденсаційні блоки. Така система забезпечує якісний обмін повітря, підтримуючи оптимальні умови для комфорту та здоров'я мешканців або користувачів приміщення.

Приточно-витяжні установки (ПВУ) виконують дві ключові функції: подачу свіжого повітря та видалення забрудненого. Вони складаються з двох основних контурів: припливного та витяжного. Припливний контур забезпечує надходження свіжого повітря ззовні, яке проходить через фільтри, нагрівальні або охолоджувальні елементи, а також рекуператори тепла. Це дозволяє підтримувати стабільну температуру та якість повітря в приміщенні, зменшуючи енергетичні витрати. Фільтри видаляють пил, алергени та інші забруднювачі, забезпечуючи подачу чистого повітря. Нагрівальні елементи використовуються в холодну пору року для підігріву повітря, а охолоджувальні – в теплу пору для його охолодження. Рекуператори тепла дозволяють використовувати теплоту витяжного повітря для нагріву припливного, що зменшує енергоспоживання.

Витяжний контур видаляє використане повітря з приміщення, проходячи через аналогічні компоненти, що дозволяє відновлювати тепло та зменшувати

втрати енергії. Завдяки використанню рекуператорів тепла, приточно-витяжні установки дозволяють значно економити енергію, повертаючи до 70-80% теплової енергії, що виходить з витяжним повітрям. Це особливо важливо для приміщень з великим об'ємом повітрообміну, де енергозбереження грає ключову роль у зниженні експлуатаційних витрат.

Компресорно-конденсаційні блоки (ККБ) є невід'ємною частиною систем кондиціонування повітря. Вони працюють за принципом теплових насосів, використовуючи цикл компресії та конденсації для передачі тепла. Основними компонентами ККБ є компресор, конденсатор, випарник та розширювальний клапан. Компресор стискає холодоагент, підвищуючи його температуру та тиск, після чого він надходить до конденсатора. У конденсаторі холодоагент віддає тепло зовнішньому середовищу та конденсується, перетворюючись з газоподібного стану в рідкий. Після цього рідкий холодоагент проходить через розширювальний клапан, де його тиск та температура знижуються. Випарник виконує функцію поглинання тепла з внутрішнього повітря приміщення, охолоджуючи його та забезпечуючи комфортні умови.

Об'єднання приточно-витяжних установок та компресорно-конденсаційних блоків створює синергетичний ефект, забезпечуючи оптимальні мікрокліматичні умови. ПВУ забезпечують ефективний обмін повітря та збереження енергії, тоді як ККБ забезпечують необхідне охолодження або нагрівання повітря, підтримуючи стабільний температурний режим. Всі креслення та схеми, що ілюструють компоненти та взаємодію систем вентиляції і кондиціонування повітря, представлені на аркуші 2. Ці схеми допомагають зрозуміти складність та ефективність інтегрованого підходу до забезпечення комфортних умов у будівлі.

Таким чином, застосування центральної системи вентиляції з приточно-витяжними установками та компресорно-конденсаційними блоками дозволяє забезпечити високу якість повітря, енергоефективність та комфорт для всіх користувачів будівлі.

Аеродинамічний розрахунок повітропроводів

Розрахунок виконуємо за методом питомих втрат тиску:

1. Визначаємо магістральний напрямок.
2. Визначаємо d повітропроводу за фактичною площею перерізу:

$$F_{\phi} = L_{\text{дiл}} / 3600 V_{\text{розр}}, \text{ м}^2 \quad (2.70)$$

3. Визначаємо динамічний тиск:

$$P_{\text{д}} = (\rho_2 V_2^2) / 2, \text{ Па} \quad (2.71)$$

4. Питомі втрати тиску R на 1 м довжини визначаємо за номограмами

$$\Delta P_m = R l \beta_{\text{ук}} k_1 \quad (2.68)$$

5. Визначаємо втрати тиску на подолання місцевих опорів:

$$P_{z, \text{дiл}} = \sum \zeta P_0 k_2 \quad (2.69)$$

6. Визначаємо повні втрати тиску на ділянці:

$$P_{\text{дiл}} = R l \beta_{\text{ук}} I + \sum \zeta P_0 k_2 \quad (2.70)$$

7. Визначаємо сумарні втрати тиску в системі для вибору вентилятора $\Sigma \Delta P$.

8. Ув'язуємо відгалуження, визначаємо нев'язку:

$$H = (\Delta P_{\text{дiл}} - \Delta P_{z, \text{дiл}}) / \Delta P_{\text{дiл}} * 100\%, \quad H < 10\%. \quad (2.71)$$

Розрахунок виконуємо для загальнообмінної вентиляції та повітряного душування.

Аеродинамічний розрахунок вентиляційних систем виконаний за запроєктованими схемами (наведено на аркуші 4) та відповідно до нормативних

вимог і довідкових даних [8, 6, 18, 20]. Результати розрахунку наведено в Додатку Д.

Підбір вентиляційного обладнання

Для забезпечення ефективної системи вентиляції в даній будівлі використовуються приточно-витяжні установки відомого бренду Aerostar та компресорно-конденсаційні блоки від бренду LG. Припливно-витяжні установки Aerostar складаються з припливного контуру, який забезпечує подачу очищеного свіжого повітря зовнішнього середовища в приміщення через систему фільтрації і регулювання температури, та витяжного контуру, який відводить використане повітря з приміщення, очищаючи його від шкідливих речовин. Компресорно-конденсаційні блоки LG відповідають за управління кондиціонуванням повітря, забезпечуючи необхідну температуру і вологість усередині будівлі. Це комплексне рішення забезпечує ефективну роботу вентиляційної системи, знижуючи енергоспоживання і забезпечуючи комфортні умови для користувачів.

Нижче показано технічні характеристики припливно витяжних установок.

Модель: GreenSTR-5			
ВИТРАТА ПРИПЛИВНОГО ПОВІТРЯ:	4600 m ³ /h	ВІЛЬНИЙ ТИСК НА ПРИТОЦІ	450 Pa
ВИТРАТА ВИТЯЖНОГО ПОВІТРЯ:	1000 m ³ /h	ВІЛЬНИЙ ТИСК НА ВИТЯЖЦІ	300 Pa
Швидкість повітря в припливній секції	2.65 m/s	Зимова темп. по проекту	-19 °C
		Швидкість повітря у витяжній секції	0.58 m/s

Горизонтальна-підвісна установка - Вид зверху

Ширина:	mm	1860 (REC 2000)	Висота:	mm	680 REC(680)
Загальна довжина:	mm	3867	Загальна вага:	kg	742

Номінальне електроспоживання: 33.5 кВт + 6.6 кВт(ККБ)

Розміри установки, вага і комплектація - попередні і можуть бути оптимізовані перед замовленням.

КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ			
Ізоляція	Мінеральна вата	Товщина панелей	50 mm
Дах	без даху	Внутрішня панель	3 оцинкованої сталі
Сторона обслуговування	Знизу	Зовнішня панель	3 пофарбованої оцинкованої сталі RAL7024
Сторона підключення	Права	Внутрішні деталі	3 оцинкованої сталі
		Підвісні кронштейни	

Eurovent data:			
Температурний діапазон установки:	-30/50 °C	Швидкість повітря в секції фільтра:	2.6/0.6 m/s
Model box:	GreenSTRMB2	Зимова темп.зовн.повітря:	-19 °C
Air density:	1.2 kg/m ³	Коеф.теплопередачі:	T2
Мех. міцність корпусу:	D1(M)	Теплові містки:	TB3
Байпас фільтра:	F8(M)		

Рис.2.1. Технічні характеристики припливно витяжних установок

2.3.3. Проектування кондиціонування будівлі

Технічні рішення по системам кондиціонування приміщень

Системи кондиціонування приміщень є невід'ємною частиною сучасних будівель, забезпечуючи комфортні умови для проживання, роботи та відпочинку. Вони дозволяють підтримувати оптимальний рівень температури, вологості та чистоти повітря в приміщеннях, що сприяє покращенню здоров'я та продуктивності людей. Основні типи систем кондиціонування включають спліт-системи, мультиспліт-системи, VRV/VRF-системи (Variable Refrigerant Volume/Flow), чіллер-фанкойлові системи та центральні кондиціонери. Спліт-системи складаються з двох основних частин: зовнішнього блоку, що містить компресор і конденсатор, та внутрішнього блоку, що містить випарник. Вони з'єднані мідними трубками, через які циркулює холодоагент. Переваги спліт-систем включають високу ефективність, низький рівень шуму та можливість кондиціонування окремих приміщень, однак вони вимагають встановлення зовнішнього блоку та обмежують кількість внутрішніх блоків, що можуть підключатися до одного зовнішнього блоку.

Мультиспліт-системи подібні до спліт-систем, але дозволяють підключення кількох внутрішніх блоків до одного зовнішнього блоку. Це забезпечує економію місця на фасаді будівлі та можливість кондиціонування кількох приміщень одночасно. Проте вони мають вищу вартість у порівнянні зі спліт-системами та складніші у монтажі й обслуговуванні. Системи VRV/VRF використовують змінний об'єм або потік холодоагенту для регулювання температури в різних зонах будівлі. Вони відзначаються високою енергоефективністю, гнучкістю в проектуванні та можливістю одночасного нагрівання і охолодження різних приміщень, але потребують значних інвестицій на початковому етапі та складні в проектуванні та монтажі.

Чіллер-фанкойлові системи використовують чіллер для охолодження води, яка потім циркулює через фанкойли, встановлені в приміщеннях. Вони є оптимальними для охолодження великих об'єктів, забезпечують гнучкість в розташуванні фанкойлів та можуть використовуватись для обігріву приміщень.

Недоліками таких систем є висока вартість установки та обслуговування, а також потреба в додатковому обладнанні для обігріву. Центральні кондиціонери включають один або кілька великих кондиціонерів, які обслуговують всю будівлю через систему повітроводів. Вони забезпечують однорідний розподіл температури по всій будівлі та можливість кондиціонування великих об'ємів повітря, але потребують складного проектування та монтажу, а також значних витрат на обладнання та енергоносії.

Технічні рішення для різних типів приміщень включають спліт- та мультиспліт-системи для житлових приміщень, VRV/VRF та чиллер-фанкойлові системи для офісних будівель, центральні кондиціонери для торговельних центрів та чиллер-фанкойлові системи для промислових об'єктів. Інноваційні технології в системах кондиціонування включають інверторні технології, системи з рекуперацією тепла та інтелектуальні системи управління. Інверторні компресори регулюють швидкість обертання компресора, що дозволяє точно підтримувати задану температуру, підвищувати енергоефективність, знижувати рівень шуму та збільшувати термін служби обладнання. Системи з рекуперацією тепла використовують тепло, що відводиться, для нагрівання інших приміщень або води, що знижує витрати на енергоносії та підвищує загальну енергоефективність будівлі. Інтелектуальні системи управління на базі інтернету речей (IoT) дозволяють автоматично регулювати мікроклімат в залежності від зовнішніх умов та присутності людей, а також здійснювати дистанційне управління та моніторинг. Вибір технічних рішень для систем кондиціонування приміщень залежить від багатьох факторів, включаючи тип будівлі, вимоги до мікроклімату, бюджет та енергоефективність. Правильний підхід до проектування та експлуатації систем кондиціонування дозволяє забезпечити комфортні умови, знизити витрати на енергоносії та підвищити загальну ефективність будівлі.

Проектування системи кондиціонування приміщень будівлі

Розрахунок для теплого періоду

а) Вибір розрахункових параметрів зовнішнього повітря.

Для міста Києва температура та відносна вологість навколишнього повітря

Рис.2.2. Процеси зміни стану повітря в h-d діаграмі у теплий період

Визначаємо температуру припливного повітря, °С

$$t_{п} = t_{в} - 3 ;$$
$$t_{п} = 22 - 3 = 19 \text{ }^{\circ}\text{С}.$$

Розрахунок для холодного періоду

Процеси зміни стану повітря в h-d діаграмі у холодний період показані на рис.2.3.

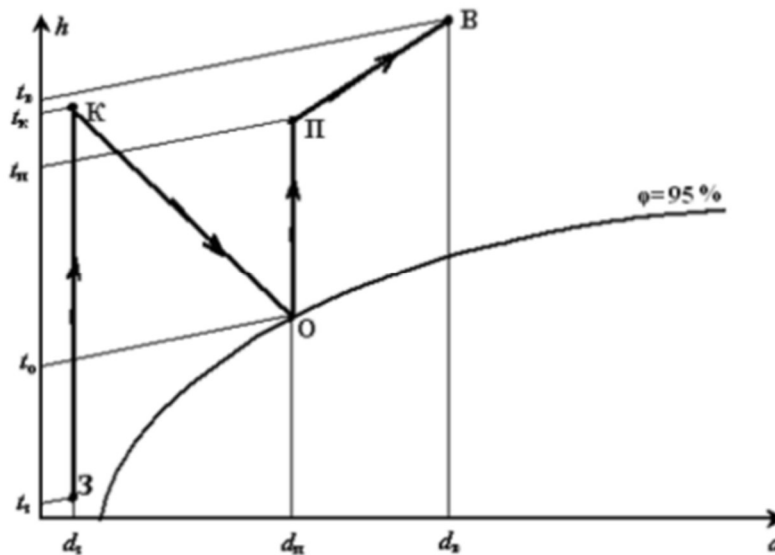


Рис. 2.3. Процеси зміни стану повітря в h-d діаграмі у холодний період

Підбір обладнання кондиціонування

При проектуванні системи кондиціонування на базі VRF (Variable Refrigerant Flow) від бренду LG особлива увага приділяється вибору внутрішніх блоків, які забезпечують розподіл охолодженого або нагрітого повітря по приміщеннях. Касетні внутрішні блоки VRF систем LG встановлюються у підвісну стелю, що робить їх практично непомітними у приміщенні. Вони забезпечують рівномірний розподіл повітря та високий рівень комфорту завдяки своїм конструкційним особливостям: чотиристоронній потік повітря дозволяє подавати повітря з чотирьох сторін, забезпечуючи рівномірне охолодження або

нагрівання приміщення; компактний дизайн дозволяє легко інтегрувати блоки в будь-який інтер'єр, зберігаючи при цьому високу продуктивність; конструкція касетних блоків LG передбачає швидкий та зручний доступ до основних компонентів, що полегшує їх встановлення та технічне обслуговування.

Касетні внутрішні блоки VRF систем LG мають низку переваг, що робить їх оптимальним вибором для різних типів приміщень, включаючи офісні, комерційні та житлові будівлі. Завдяки використанню передових технологій та високоефективних компресорів, касетні блоки LG забезпечують оптимальне споживання енергії, що знижує експлуатаційні витрати. Сучасні вентилятори та інженерні рішення LG дозволяють мінімізувати рівень шуму, що створюється під час роботи блоків, забезпечуючи комфортну атмосферу у приміщенні. Касетні блоки LG підтримують різні варіанти управління, включаючи централізовані системи та індивідуальні пульти, що дозволяє користувачам налаштовувати параметри роботи відповідно до своїх потреб.

Касетні внутрішні блоки VRF систем LG представлені різними моделями з різною потужністю, що дозволяє обрати оптимальний варіант для конкретного приміщення. Основні технічні характеристики включають потужність охолодження від 2,2 кВт до 14,0 кВт і потужність нагрівання від 2,5 кВт до 16,0 кВт. В залежності від моделі та режиму роботи рівень шуму може становити від 27 дБ до 45 дБ, що є комфортним для більшості типів приміщень. Компактні розміри дозволяють легко інтегрувати блоки в стандартні підвісні стелі, з типовими габаритами 570x570 мм для більшості моделей.

Касетні внутрішні блоки LG ідеально підходять для широкого спектра застосувань: офісні приміщення завдяки рівномірному розподілу повітря касетні блоки створюють комфортні умови для роботи співробітників, що підвищує їх продуктивність; торговельні центри завдяки ефективній системі кондиціонування дозволяють підтримувати приємну атмосферу для відвідувачів та персоналу; житлові будівлі завдяки встановленню касетних блоків у підвісну стелю дозволяють зберегти естетичний вигляд інтер'єру та забезпечити оптимальні умови в приміщенні.

РОЗДІЛ 3
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ КОМБІНОВАНИХ СИСТЕМ
ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РІЗНОГО ВЕНТИЛЯЦІЙНОГО
ОБЛАДНАННЯ

3.1. Загальна характеристика систем кондиціонування повітря

Склад і параметри повітря в приміщеннях змінюються під впливом різних факторів, таких як:

а) надходження тепла від сонячного випромінювання, людей, освітлення, обладнання та інфільтраційного повітря;

б) надходження вологи від технічного обладнання, людей, відкритих ємностей з водою тощо;

в) надходження вуглекислого газу;

г) надходження шкідливих речовин та інших домішок.

Щоб підтримувати задані параметри повітря в приміщеннях, необхідна відповідна обробка як зовнішнього, так і рециркуляційного повітря. Перед подаванням у приміщення, повітря очищується від пилу і проходить тепло-вологісну обробку (нагрівання, охолодження, зволоження або осушення). Іноді повітря також очищується від газів, бактерій, запахів, і проходить озонування та іонізацію.

Кондиціонування повітря необхідне для створення та підтримки встановлених нормами параметрів повітряного середовища в приміщеннях будівель, які забезпечують комфорт для людей або сприяють технологічному процесу. Основні параметри включають температуру, вологість, швидкість руху та запиленість повітря в обслуговуваних зонах приміщень.

Класифікація систем кондиціонування повітря здійснюється за такими показниками [14]:

а) За призначенням: технологічні, комфортні та комфортно-технологічні.

У технологічних системах створюються необхідні параметри для здійснення технологічного процесу.

Комфортні системи забезпечують створення та автоматичну підтримку комфортних умов для людей у приміщенні.

б) За принципом дії: прямоточні, рециркуляційні, з частковою

рециркуляцією.

У прямоточних системах повітря використовується лише один раз. Навколишнє повітря обробляється до необхідних параметрів і подається в приміщення, звідки видаляється за допомогою системи витяжної вентиляції. Прямоточні системи використовуються в ситуаціях, коли рециркуляція повітря неможлива через обмеження на повторне використання повітря. Ця система є неекономічною та недостатньо гнучкою в експлуатації, тому використання цієї схеми недоцільне, коли можливе багаторазове використання повітря.

У рециркуляційних системах передбачається багаторазове використання того самого повітря. Повітря з приміщення подається в установку для обробки, після чого знову повертається до приміщення. Ця система застосовується, коли немає виділень шкідливих речовин, а є лише тепло- та вологовиділення.

Системи з частковою рециркуляцією поєднують прямоточну і рециркуляційну схеми. Частина повітря з приміщення повертається на обробку, де змішується з навколишнім повітрям. Кількість необхідного навколишнього повітря визначається за санітарно-гігієнічними вимогами.

в) За місцем розташування кондиціонера: центральні, місцеві.

У центральних системах кондиціонери розташовуються за межами обслуговуваних приміщень. Забезпечення холодом та теплом у таких системах здійснюється від центральних джерел тепло- та холодопостачання.

Переваги таких систем включають можливість рекуперації теплоти, невеликі капітальні та експлуатаційні витрати, а також зручність в обслуговуванні завдяки розміщенню всього обладнання в одному місці. Крім того, вони є екологічними, оскільки холодильний агент знаходиться в холодильній станції, розташованій поза приміщеннями з людьми.

Недоліки центральних систем включають необхідність простору для прокладання мережі повітропроводів та окремого приміщення для обладнання, а також забезпечення однакових параметрів мікроклімату для всіх обслуговуваних приміщень.

У місцевих системах кондиціонери встановлюються безпосередньо в

обслуговуваних приміщеннях. Переваги місцевих систем кондиціонування повітря включають простоту монтажу та малі капіталовкладення. Недоліками є велика кількість зовнішніх блоків, що потребують місця і псуєть зовнішній вигляд фасаду будівлі, робота тільки на внутрішньому повітрі, наявність шуму та неекологічність через використання фреону.

г) За наявністю власного джерела холоду та теплоти:

- автономні – з вбудованими холодильними машинами;
- неавтономні.

д) За кількістю приміщень, що обслуговуються:

- однозональні – обслуговують приміщення з рівномірним розподілом тепло- та вологовиділень;
- багатозональні – обслуговують великі приміщення з нерівномірним розподілом тепло- та вологовиділень або декілька приміщень.

е) За типом об'єктів, що обслуговуються: побутові, напівпромислові, промислові.

ж) За тиском вентилятора:

- низького тиску – до 1 кПа;
- середнього тиску – до 3 кПа;
- високого тиску – понад 3 кПа.

Кондиціонування повітря згідно з [14] можна поділити на три класи:

I. Для забезпечення метеорологічних умов, необхідних для технологічного процесу.

II. Для забезпечення оптимальних санітарних та технологічних норм.

III. Для забезпечення допустимих метеорологічних умов, коли вони не можуть бути забезпечені вентиляцією, або для створення проміжних умов між допустимими та оптимальними нормами при економічному обґрунтуванні.

Центральне керування системами кондиціонування повітря може відбуватися за наступними методами:

а) Якісне регулювання - зміна параметрів витягування повітря відповідно до зовнішніх та внутрішніх умов без зміни об'єму повітря.

б) Кількісне регулювання - зміна об'єму подачі повітря зі збереженням параметрів.

в) Комбіноване регулювання - зміна об'єму та параметрів витягування повітря.

Найпоширенішим методом у системах кондиціонування повітря є якісне регулювання. Рідше застосовується комбіноване регулювання через можливість порушення гідравлічної стійкості системи, хоча воно є економічнішим. Кількісне регулювання використовується в окремих випадках.

3.2. Опис інженерних рішень по запроектованій комбінованій системі

Перший варіант запроектованої комбінованої системи складається з трьох основних компонентів: фонові системи водяного опалення, фонові повітряної системи припливно-витяжної установки (ПВУ) з реверсивним теплообмінником та секцією обробки повітря (рис.3.1) та догрівуючої спліт-системи кондиціонування. Кожна з цих систем виконує свою окрему функцію для забезпечення оптимального комфорту та ефективності у приміщенні.

Другий варіант запроектованої комбінованої системи складається з трьох основних компонентів: фонові системи водяного опалення, фонові повітряної системи припливно-витяжної установки (ПВУ) з випарником та секцією обробки повітря і догрівуючої мультizonальної системи кондиціонування (VRF).

Фонова система водяного опалення працює при сталому гідравлічному режимі. Опалювальні прилади не обладнуються терморегуляторами. Регулювання їх потужності здійснюється в тепловому пункті відповідно до зміни температури зовнішнього повітря. Вона працює за принципом циркуляції гарячої води через радіатори або підлогові обігрівачі, забезпечуючи рівномірне і комфортне теплове середовище. Використання води як теплоносія дозволяє досягти високої ефективності передачі тепла, забезпечуючи рівномірний розподіл тепла без утворення сухості повітря. Система працює безшумно і є довговічною, з мінімальними вимогами до технічного обслуговування.

Доповнюючи водяну систему, фоновая система опалення за допомогою вентиляції є додатковим джерелом тепла і покращує циркуляцію повітря в приміщенні. Вентиляційні канали, прокладені по всьому приміщенню, забезпечують рівномірний розподіл теплого повітря. Теплообмінники використовуються для нагрівання повітря перед його подачею у приміщення, а регулятори температури дозволяють точно налаштувати температуру повітря, забезпечуючи оптимальний комфорт.

Також за рахунок припливно-витяжних установок ми можемо підтримувати санітарно – гігієнічні норми та рівень вологості в приміщенні.

Для підтримки рівня вологості біля ПВУ встановлюється резистивний парозволожувач, завдяки якому можна збільшувати або зменшувати рівень вологості повітря.

Догріваюча система кондиціонування може бути реалізована в двох варіантах: спліт-системою або VRF (Variable Refrigerant Flow) системою. Обидва варіанти мають свої переваги і можуть бути вибрані залежно від специфічних потреб приміщення.

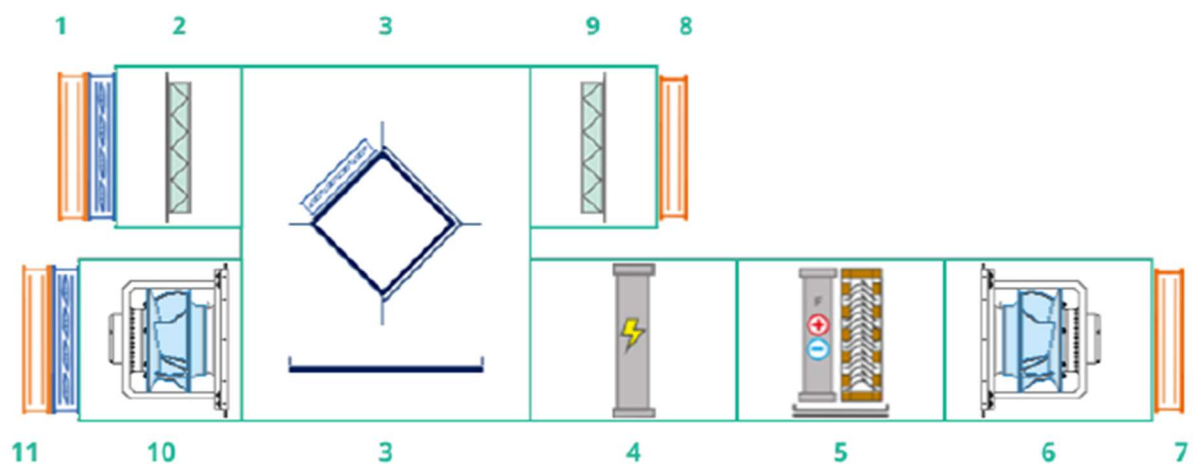


Рис. 3.1. Принципова схема ПВУ з реверсивним теплообмінником:
 1-регулюючий клапан; 2-синтетичний/металевий фільтр; 3-пластинчатий рекуператор; 4-електронагрівач; 5-реверсивний теплообмінник; 6-припливний вентилятор; 7-приєднувальний елемент; 8-приєднувальний елемент; 9-синтетичний/металевий фільтр; 10- витяжний вентилятор; 11-приєднувальний елемент

Спліт-система кондиціонування

Спліт-система кондиціонування складається з внутрішнього та зовнішнього блоків, що дозволяє ефективно забезпечувати тепло і холод в приміщенні. Ця система також може виконувати функцію догрівання в холодну пору року і охолодження в теплу пору, забезпечуючи комфортні умови протягом усього року. Основні переваги спліт-системи включають:

- простота встановлення (легко монтується і обслуговується);
- ефективність (забезпечує швидке охолодження та обігрів приміщення);
- гнучкість (можливість встановлення в різних приміщеннях без значних змін в інтер'єрі).

Комбінована система забезпечує синергію між різними джерелами тепла і холоду, що дозволяє досягти максимальної ефективності та комфорту. Фонова система водяного опалення і вентиляційна система працюють у тісній взаємодії, підтримуючи постійну задану температуру, тоді як VRF або спліт-система адаптуються до змінних умов і забезпечують додатковий обігрів або охолодження залежно від потреб. Ця комбінована система є ідеальним рішенням для приміщень різного призначення, забезпечуючи високий рівень комфорту, енергоефективність та надійність.

VRF-система кондиціонування

VRF-система є високоефективною технологією, яка дозволяє регулювати температуру окремих зон приміщення. Ця система виконує функцію догрівання в холодну пору року і охолодження в теплу пору, забезпечуючи максимальний комфорт круглий рік. Використання інверторних компресорів дозволяє значно знизити енергоспоживання, а можливість точного налаштування температури в кожній зоні приміщення забезпечує максимальну гнучкість.

Основні переваги VRF-системи включають:

- гнучкість (можливість точного налаштування температури в окремих зонах приміщення або в різних приміщеннях);
- енергоефективність (використання інверторних компресорів дозволяє значно знизити енергоспоживання);

-мультифункціональність (система може працювати одночасно як на обігрів так і на охолодження, залежно від потреб).

3.3. Стани зі змінним режимом

Системи зі змінним режимом опалення можуть бути налаштовані на різні режими залежно від потреб користувачів та зовнішніх умов. Важливими аспектами є режими енергозбереження, перехідні періоди, а також сезонні зміни, які впливають на ефективність та комфортність системи опалення. Режими енергозбереження включають стратегії управління, спрямовані на зменшення споживання енергії без погіршення комфорту користувачів, використовуючи програмовані термостати, зонування опалення та інтегровані системи автоматизації. Державні будівельні норми (ДБН) В.2.5-28-2006 та В.2.5-29-2006 встановлюють вимоги до систем опалення та їх енергозбереження.

Перехідні періоди в системах опалення охоплюють час, коли потрібно змінювати режими роботи системи відповідно до змін погодних умов або переходу між сезонами, враховуючи зміни температури повітря, вітрові умови, наявність сонячного світла та інші фактори. Державні будівельні норми (ДБН) та Державні санітарні норми та правила (ДСНП) встановлюють вимоги до регулювання роботи систем опалення під час перехідних періодів. Сезонні зміни в системах опалення охоплюють перехід від опалювального сезону до сезону кондиціонування повітря, враховуючи зміни температури повітря, вологості, вітрові умови та інші погодні фактори, які можуть впливати на роботу систем опалення та кондиціонування

Мінімальна питома витрата вентиляційного повітря для виробничих приміщень регламентується санітарно-гігієнічними вимогами та Державними будівельними нормами (ДБН). Для основного режиму роботи системи вентиляції, коли люди перебувають у приміщенні більше двох годин безперервно, з природним провітрюванням, мінімальна витрата вентиляційного повітря визначається за такими критеріями: у разі відсутності організованої подачі

припливного повітря в приміщення об'ємна витрата повітря приймається як більше значення між інфільтраційним та санітарно-гігієнічним повітрообміном. Мінімальна витрата вентиляційного повітря визначається згідно з актуальними ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування".

Під час природного провітрювання, коли немає організованої подачі припливного повітря, мінімальна витрата визначається шляхом розрахунку максимального значення між інфільтраційним повітрообміном та нормами, встановленими санітарно-гігієнічними вимогами. Розрахунки враховують різні чинники, такі як щільність та питома теплоємність повітря при розрахунковій температурі приміщення, об'ємний потік повітря, що надходить до опалювального приміщення, а також коригувальні коефіцієнти на можливе зниження зовнішньої температури та вплив ґрунтових вод. Ці нормативи та рекомендації забезпечують ефективну вентиляцію та комфортний мікроклімат у виробничих приміщеннях, враховуючи енергозбереження та підтримання належних санітарно-гігієнічних умов.

Станами зі змінним режимом в опаленні називають різні робочі режими систем опалення, які змінюються в залежності від потреб користувачів та зовнішніх умов. Ці стани охоплюють:

Режими енергозбереження

Режими енергозбереження в системах опалення є важливим аспектом управління, спрямованим на оптимізацію споживання енергії та зниження експлуатаційних витрат без втрати комфорту користувачів. Ці режими включають різноманітні методи та технології, спрямовані на забезпечення ефективного використання теплової енергії в будівлях. Однією з ключових складових є програмовані термостати, які дозволяють автоматично регулювати температуру в приміщеннях в залежності від встановленого графіка. Це дає змогу оптимізувати споживання енергії, знижуючи температуру, коли приміщення не використовується або коли всі мешканці сплять. Програмовані термостати забезпечують налаштування графіка нагріву на різний час доби та дні тижня, можливість дистанційного керування через мобільні додатки, а також вбудовані

сенсори, які реагують на присутність людей та зміну температури.

Ще одним важливим аспектом є зонування опалення, що дозволяє керувати температурою в різних зонах будівлі незалежно одна від одної. Це дає змогу підігрівати лише ті частини будівлі, які активно використовуються, що значно зменшує споживання енергії. Зонування опалення передбачає використання окремих термостатів для різних зон, автоматичне відключення опалення в зонах, що не використовуються, та зменшення тепловтрат за рахунок оптимального розподілу тепла.

Інтегровані системи автоматизації об'єднують керування опаленням, вентиляцією та освітленням в одну систему для забезпечення максимального енергозбереження. Вони дозволяють автоматично регулювати всі системи в залежності від зовнішніх умов та присутності людей, а також можуть бути підключені до систем "розумного будинку" для централізованого керування. Такі системи також інтегруються з відновлювальними джерелами енергії, такими як сонячні панелі або теплові насоси, для забезпечення стійкого енергопостачання.

Використання відновлювальних джерел енергії, таких як сонячні панелі, теплові насоси або геотермальні системи, дозволяє значно знизити витрати на опалення та забезпечити стійке енергопостачання. Вони генерують теплову енергію з відновлювальних джерел, підключаються до існуючих систем опалення для зменшення споживання традиційних енергоносіїв та знижують викиди вуглекислого газу та інших шкідливих речовин.

Важливу роль відіграють також енергоефективні будівельні матеріали, які мають високі теплоізоляційні властивості. Вони дозволяють значно зменшити тепловтрати будівлі через утеплення стін, покрівель, підлоги та вікон, застосування теплоізоляційних фасадних систем та використання матеріалів, що зберігають тепло та знижують потребу в додатковому опаленні.

Режими енергозбереження регламентуються національними стандартами та нормативами, що встановлюють мінімальні вимоги до енергоефективності систем опалення. Зокрема, ДБН ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування" встановлює загальні вимоги до систем опалення та вентиляції,

зокрема з питань енергоефективності, а ДБН В.2.5-29-2006 "Енергоефективність будівель" визначає критерії та методи розрахунку енергоспоживання будівель, включаючи вимоги до теплового захисту будівельних конструкцій. Загалом, впровадження режимів енергозбереження в системах опалення дозволяє значно знизити витрати на опалення, підвищити комфорт мешканців та сприяти захисту довкілля за рахунок зменшення викидів парникових газів.

Перехідні періоди

Перехідні періоди в системах опалення є критичними періодами, коли необхідно змінювати режими роботи системи відповідно до змін погодних умов або переходу між сезонами. Ці періоди можуть значно впливати на ефективність та комфортність опалювальних систем. Під час перехідних періодів температура зовнішнього повітря може різко змінюватися. Системи опалення повинні бути здатними швидко адаптуватися до цих змін, щоб забезпечити комфортні умови всередині приміщень. Вітер може значно впливати на тепловтрати будівлі, особливо під час перехідних періодів. Вітрові умови можуть збільшувати інфільтрацію холодного повітря, що вимагає додаткового нагрівання приміщень. Сонячне світло може додатково нагрівати приміщення вдень, зменшуючи потребу в опаленні. Відповідно, системи опалення повинні враховувати цей додатковий природний тепловий внесок. Вологість зовнішнього повітря може впливати на комфорт всередині приміщень. Висока вологість може викликати відчуття холоду, навіть якщо температура достатньо висока.

Перехідні періоди регламентуються національними стандартами та нормативами, що встановлюють вимоги до регулювання роботи систем опалення під час цих періодів. Основні нормативні документи включають ДБН В.2.5-28-2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування", який встановлює загальні вимоги до систем опалення, включаючи їхню здатність адаптуватися до змінних умов під час перехідних періодів, ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція будівель", що визначає вимоги до теплової ізоляції будівель, яка є ключовим фактором у забезпеченні енергоефективності під час перехідних періодів, та ДСНП "Державні санітарні норми та правила", який регулює санітарні вимоги до мікроклімату в

приміщеннях, включаючи підтримання комфортних температур і рівня вологості під час перехідних періодів.

Методи та технології управління перехідними періодами включають автоматичне регулювання температури за допомогою програмованих термостатів та систем автоматизації, які можуть змінювати режими роботи системи опалення в залежності від зовнішніх умов та часу доби, системи моніторингу та керування, що відстежують температурні та вітрові умови, рівень вологості та інші фактори, які впливають на тепловтрати, інфільтраційні вентиляційні системи, що дозволяють зменшити тепловтрати через інфільтрацію холодного повітря, та підтримку оптимального мікроклімату за допомогою зволожувачів та осушувачів повітря для підтримання оптимального рівня вологості, що сприяє підвищенню комфортності приміщень під час перехідних періодів.

Перехідні періоди є важливим елементом управління системами опалення, оскільки вони впливають на ефективність та комфортність опалювальних систем. Врахування факторів, що впливають на тепловтрати, та впровадження сучасних технологій управління дозволяє забезпечити оптимальну роботу систем опалення під час цих критичних періодів. Відповідність національним стандартам та нормативам є ключовим фактором для досягнення високої ефективності та забезпечення комфортних умов проживання в будівлях.

Сезонні зміни

Сезонні зміни в системах опалення охоплюють перехід від опалювального сезону до сезону кондиціонування повітря та зміни в умовах експлуатації приміщень. Ці періоди характеризуються значними коливаннями температури, вологості та інших погодних умов, що вимагає від систем опалення та кондиціонування гнучкості та адаптивності для забезпечення комфортного мікроклімату в приміщеннях протягом усього року. Сезонні зміни включають перехід від холодної зими до теплої весни, потім до спекотного літа, і, нарешті, до прохолодної осені. Кожен з цих періодів має свої специфічні вимоги до систем опалення та кондиціонування повітря. У зимовий період основною задачею є підтримка достатнього рівня тепла всередині приміщень, тоді як в літній період

необхідно забезпечити ефективне охолодження приміщень для комфортного перебування.

Температурні коливання є основним фактором, що впливає на роботу систем опалення та кондиціонування. Взимку системи опалення повинні забезпечити достатнє нагрівання приміщень, тоді як влітку системи кондиціонування повинні ефективно охолоджувати повітря. Рівень вологості зовнішнього повітря також змінюється протягом року. Взимку повітря часто стає дуже сухим, що може вимагати додаткового зволоження, тоді як влітку підвищена вологість може створювати відчуття дискомфорту. Вітрові умови можуть впливати на тепловтрати будівлі. Вітряні умови взимку можуть збільшити втрати тепла, вимагаючи більш інтенсивної роботи систем опалення. Сонячне світло може забезпечувати додатковий природний тепловий внесок в приміщення. Влітку це може збільшувати теплове навантаження, тоді як взимку сонячне випромінювання може допомагати зменшити потребу в опаленні.

Сезонні зміни вимагають відповідності національним стандартам та нормативам, які регулюють роботу систем опалення та кондиціонування протягом різних сезонів. Основні нормативні документи включають ДБН В.2.5-28-2006 "Опалення, вентиляція та кондиціонування", який встановлює загальні вимоги до систем опалення та кондиціонування, включаючи їхню здатність адаптуватися до сезонних змін; ДБН В.2.6-31:2021 "Теплова ізоляція будівель", що визначає вимоги до теплової ізоляції будівель, яка є важливим для забезпечення енергоефективності протягом року; та ДСНП "Державні санітарні норми та правила", який регулює санітарні вимоги до мікроклімату в приміщеннях, включаючи підтримання комфортних температур і рівня вологості протягом різних сезонів.

Методи та технології управління сезонними змінами включають автоматизовані системи керування, які можуть змінювати режими роботи систем опалення та кондиціонування в залежності від сезонних умов, інтегровані системи опалення та кондиціонування, які можуть ефективно переходити від режиму опалення до режиму кондиціонування та навпаки, енергоефективні будівельні

конструкції, які забезпечують високий рівень теплоізоляції, та системи моніторингу, які відстежують зовнішні та внутрішні умови і можуть автоматично регулювати роботу систем опалення та кондиціонування для підтримання оптимального мікроклімату протягом усього року. Сезонні зміни є важливим аспектом управління системами опалення та кондиціонування. Врахування факторів, що впливають на ефективність цих систем, та впровадження сучасних технологій управління дозволяє забезпечити оптимальну роботу систем протягом різних сезонів. Відповідність національним стандартам та нормативам є ключовим фактором для досягнення високої ефективності та забезпечення комфортних умов проживання в будівлях протягом року.

3.4. Опис запроєктованих варіантів систем кондиціонування

У сучасних умовах створення комфортного мікроклімату у будівлях є актуальною проблемою, особливо з урахуванням зростаючих кліматичних змін та вимог до енергоефективності. Для досягнення оптимальних умов використовуються різноманітні системи кондиціонування, серед яких особливе місце займають VRF-системи та напівпромислові спліт-системи.

У даному розділі проведено детальний аналіз цих двох типів систем кондиціонування. Розглянемо їх принципи роботи, технічні характеристики, переваги та недоліки, а також області застосування.

Основна мета цього розділу - дослідити та порівняти VRF системи та напівпромислові спліт-системи з точки зору їхньої ефективності, енергозбереження, вартості, технічних можливостей та впливу на середовище. Розглянутий матеріал дозволить отримати глибше розуміння процесів, які відбуваються у цих системах, та допоможе визначити їхнє місце в сучасній практиці будівництва та експлуатації приміщень.

Перед нами стоїть завдання дослідити та зрозуміти переваги та обмеження цих систем, щоб надати обґрунтовані рекомендації щодо вибору оптимального варіанту для конкретних умов експлуатації.

VRF-системи кондиціонування

VRF-системи кондиціонування (Variable Refrigerant Flow) — це сучасні, енергоефективні системи, які використовуються для опалення, охолодження та вентиляції приміщень. Основний принцип роботи полягає у використанні одного або кількох компресорів, які регулюють потік холодоагенту залежно від потреби кожного конкретного приміщення.

У системах VRF холодоагент циркулює через зовнішній блок, де відбувається його охолодження або нагрів, та внутрішні блоки (фанкойли або касетні типи), які забезпечують кондиціонування повітря у приміщеннях. Ці системи володіють великою гнучкістю, оскільки дозволяють незалежно регулювати температуру в кожному окремому приміщенні.

Однією з головних переваг VRF-систем є їхня здатність працювати у режимі охолодження та опалення одночасно в різних частинах будівлі, що робить їх особливо ефективними для будівель з різними зонами кондиціонування.

Ці системи стали популярними завдяки своїй ефективності, енергозбереженню, зручному управлінню та низькому рівню шуму в робочому режимі. Вони широко використовуються в офісних будівлях, торгових центрах, готелях та інших комерційних об'єктах, а також у житловому будівництві.



Рис. 3.2. Візуальне зображення VRF-системи

Принцип роботи

Мультизональні системи використовують принцип фазового переходу рідкого холодоагенту у газоподібний для охолодження повітря у приміщенні та поглинання теплової енергії.

У компресорі зовнішнього модуля газоподібний холодоагент стискається, що призводить до підвищення його температури до 70-100^о. Потім холодоагент проходить через теплообмінник конденсатора, де його охолоджують до 10-20^о за допомогою потужного вентилятора, і він перетворюється на рідку форму.

Рідкий фреон подається до внутрішніх блоків по трубопроводах і потрапляє у випарник, де підвищується температура, переходить у газоподібний стан і повертається до зовнішнього блоку. Під час цього процесу з внутрішніх блоків виходить потік охолодженого повітря.

Принцип роботи мультизональної системи показано на рисунку 3.3.

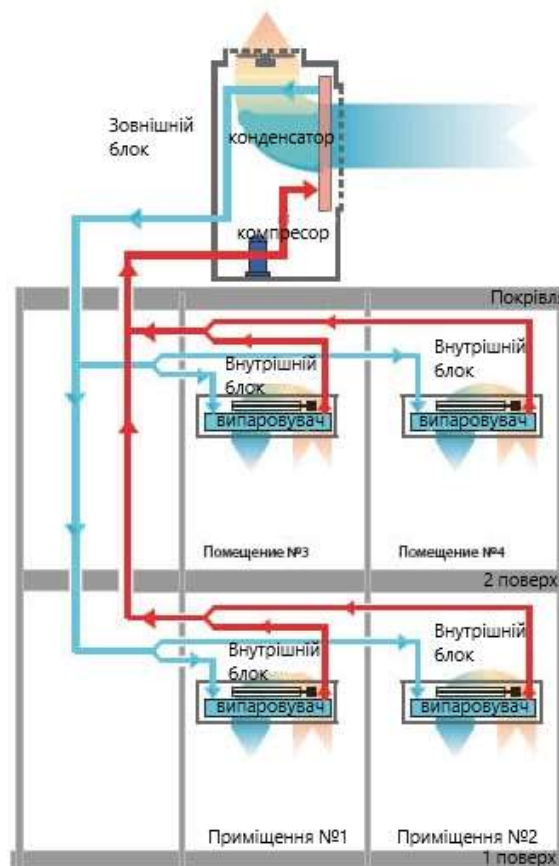


Рис. 3.3. Принципова схема VRF-системи

Основний принцип роботи кондиціонера полягає в перенесенні тепла. Наприклад, для охолодження повітря він виводить тепло з приміщення назовні через зовнішній блок. Коли кондиціонер увімкнений, фреон надходить у внутрішній блок, де випаровується та поглинає тепле повітря. Потім тепло потрапляє у зовнішній блок, де відбувається його конденсація. Рідина відводиться через дренажну трубку. При режимі обігріву напрямок циркуляції холодоагенту змінюється, і система працює в зворотному порядку.

Будову зовнішнього блоку розглянемо на рис. 3.4



Рис. 3.4. Будова зовнішнього блоку VRF-системи

1-вентилятор; 2-конденсатор; 3-компресор; 4-плата управління; 5-чотирьохходовий клапан; 6-штуцерні з'єднання; 7-фільтр фреонової системи; 8-захисна швидкоз'ємна кришка

Внутрішні блоки VRF (Variable Refrigerant Flow) систем відіграють ключову роль у кондиціонуванні повітря, забезпечуючи охолодження чи обігрів приміщень. Їх різновиди включають касетні системи, каналні системи, касетно-підвісні та настінно-підвісні системи. Касетні блоки розташовуються у стелі і забезпечують рівномірне розподілення повітря. Канальні блоки поділяються на

низьконапірні, середньонапірні, та високонапірні. Їх вид визначають залежно від потреб, класифікації та площі приміщення. Канальні блоки розташовуються у спеціальних каналах або під підлогою, що робить їх невидимими. Касетно-підвісні блоки можуть бути підвішені під стелею або зближені з нею, а настінно-підвісні розташовуються на стіні. Кожен тип блоку має свої характеристики та переваги, ідеально підходячи для різних приміщень та умов. Внутрішні блоки можуть мати різні режими роботи, можливість індивідуального керування, а також функції з очищення повітря та зволоження. Основні переваги - низьке енергоспоживання, висока надійність, екологічна чистота та простота виготовлення. Всі види внутрішніх блоків показано на наступних рисунках.



Рис. 3.5. Касетний внутрішній блок



Рис. 3.6. Канальний внутрішній блок



Рис. 3.7. Настінний внутрішній блок

VRF-системи кондиціонування мають численні переваги, включаючи ефективне управління енергією, можливість індивідуального контролю температури у кожному приміщенні, а також здатність працювати в різних режимах (охолодження, обігрів, вентиляція). Вони дозволяють економити електроенергію завдяки тому, що не потребують постійної роботи всіх внутрішніх блоків одночасно, адаптуючись до реальних потреб користувача. Крім того, ці системи є компактними, зменшуючи потребу у просторі для установки, і мають низький рівень шуму під час роботи.

Проте, серед недоліків можна виділити високу вартість встановлення та обслуговування, складність ремонту в разі пошкоджень, а також обмежену довжину траси трубопроводів, що обмежує використання великих будівель або об'єктів з розташуванням віддалено від зовнішнього блоку. Також існує залежність ефективності системи від зовнішніх умов, таких як температура повітря та вологість.

На рис.3.8 наведено температури, у межах яких може працювати запроєктований в роботі зовнішній блок від бренду LG.

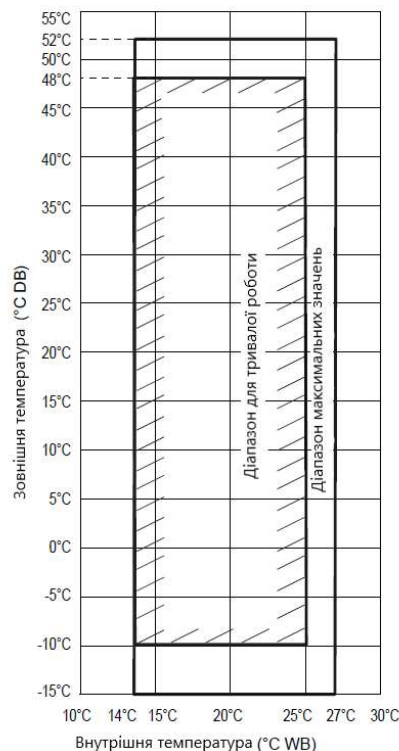


Рис. 3.8. Робочі температури запроєктованого зовнішнього блоку

Спліт-системи

Спліт-системи складаються з двох блоків: зовнішнього і внутрішнього, оснащені інфрачервоним пультом дистанційного керування та різними опціями для очищення повітря та зручного керування. Вони можуть мати компресор постійної або змінної потужності (інверторний). Різні типи внутрішніх блоків призначені для різних методів установки: на стіні, під або за стелею або на підлозі.

Такі системи стали популярними завдяки тому, що вони мають компресор і вентилятор конденсора (найбільш шумні компоненти) у зовнішньому блоку, тоді як вентилятор випарника розташований у внутрішньому блоку.

Конструкція "спліт-системи" передбачає, що внутрішній та зовнішній блоки з'єднуються трубами, через які прокачується фреон (холодоагент). Компресор та дросельний пристрій створюють необхідний тиск, забезпечуючи цикл охолодження в заданих межах температур. При досягненні потрібної температури в приміщенні система вимикає компресор. У випадку інверторних спліт-систем, компресор працює зі змінною швидкістю для точного збереження температурного режиму.

Принцип роботи

Принцип роботи спліт-системи показано на рис. 3.9.

Така технологія була впроваджена ще у 60-х роках ХХ століття для зменшення шуму та габаритів кондиціонерів і забезпечення їх широкого використання в побуті та офісах. До цього часу застосовувалися лише віконні або промислові моноблочні системи, що обмежувало їхнє застосування.

Цей тип системи має безліч внутрішніх блоків. Зовнішнім виглядом вони ніяк не відрізняються від внутрішніх блоків VRF-систем.

Напівпромислові спліт-системи мають свої переваги та недоліки. Вони забезпечують ефективне охолодження або обігрів приміщень при невеликому споживанні електроенергії та створюють комфортний мікроклімат. Зовнішній блок з компресором розміщений зовні, що зменшує рівень шуму в приміщенні.

Різноманітність моделей внутрішніх блоків дає можливість вибору підходящого для різних умов установки. Вони оснащені пультом дистанційного керування, що полегшує управління. Деякі моделі мають інверторний компресор, що забезпечує економію енергії та точне регулювання температури.

З іншого боку, напівпромислові спліт-системи можуть бути дорогими і вимагати професійної установки та обслуговування. Є потенційні проблеми зі звукоізоляцією та обмеженнями у роботі в екстремальних погодних умовах. Тому перед вибором такої системи важливо врахувати всі ці фактори.

Також вони не можуть працювати при таких низьких температурах як VRF системи, їх ефективність значно зменшується при низьких температурах.

Тому для стабільної підтримки температури в приміщенні краще використовувати мультизональні VRF-системи.

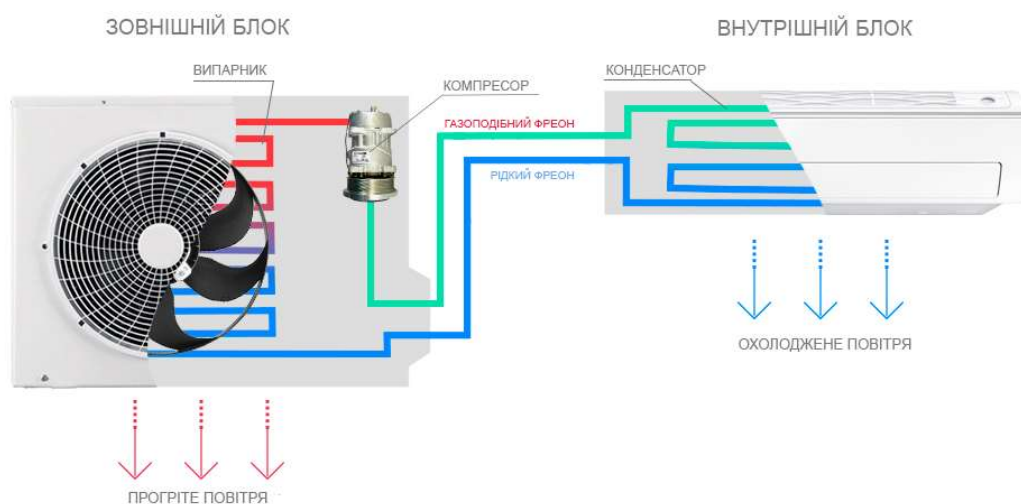


Рис. 3.9. Принцип роботи спліт-системи

3.5. Техніко-економічне обґрунтування

Нижче наведено техніко-економічне порівняння різних варіантів систем кондиціонування повітря з урахуванням коефіцієнтів енергоефективності: EER (Energy Efficiency Ratio), COP (Coefficient of Performance).

Коефіцієнти енергоефективності показують, наскільки ефективно кондиціонер використовує електричну енергію для вироблення холодної або теплової потужностей. Суть роботи кондиціонера полягає у споживанні

електроенергії для створення холоду або тепла. З цього випливає, що метою є досягнення максимальної продуктивності при мінімальному споживанні енергії.

Кондиціонер має працювати з максимальною потужністю при мінімальних витратах електроенергії.

Таким чином, кожен показник енергоефективності визначає співвідношення між потужністю та споживаною енергією.

Слід зазначити, що і продуктивність холоду, і споживана потужність залежать від умов експлуатації, таких як температура навколишнього середовища та приміщення. Саме потреба в контролі фактичних режимів продуктивності стала стимулом для створення різних показників енергетичної ефективності.

Коефіцієнти енергоефективності EER і COP визначають ефективність роботи кондиціонерів.

EER (Energy Efficiency Ratio) — це індекс енергетичної ефективності в режимі охолодження. Він показує співвідношення холодопродуктивності (Q_x) при максимальному навантаженні до споживаної потужності ($N_{\text{потр}}$). EER розраховують за формулою:

$$\text{EER} = Q_x / N_{\text{спож}} \quad (3.1)$$

COP (Coefficient of Performance) — це індекс енергетичної ефективності в режимі обігріву. Він визначає співвідношення виробленої енергії тепла (Q_T) при повному навантаженні до споживаної потужності ($N_{\text{потр}}$). Формула для розрахунку COP:

$$\text{COP} = Q_T / N_{\text{спож}} \quad (3.2)$$

Зазвичай показник COP вищий за EER. Це пояснюється тим, що під час роботи компресор нагрівається, передаючи додаткове тепло фреону. Таким чином, обладнання генерує більше тепла, ніж холоду.

Для вимірювання цих показників були встановлені такі температурні умови на максимальному режимі: $+35^\circ\text{C}$ для охолодження і $+7^\circ\text{C}$ для обігріву.

Коефіцієнти енергоефективності SEER, SCOP

Нові коефіцієнти енергоефективності SEER і SCOP були введені для поліпшення та доповнення показників EER і COP. Ці параметри сезонної енергоефективності визначають річне споживання енергії і кількість виробленого тепла та холоду за рік.

SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) — це сезонний коефіцієнт енергоефективності системи в режимі охолодження.

SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) — це сезонний коефіцієнт продуктивності системи в режимі нагріву.

Ці коефіцієнти дозволяють проводити порівняльний аналіз систем в реальних умовах експлуатації, не вдаючись до лабораторних випробувань.

ESEER (European Seasonal Energy Efficiency Ratio) — це європейський показник сезонної енергоефективності. Він дозволяє оцінити середнє значення холодильного коефіцієнта при неповному навантаженні по чотирьох робочих режимах (1, 2, 3, 4), встановлених організацією Євровент, яка є одним з основних органів європейської сертифікації кліматичного та холодильного обладнання.

ESEER є середнім значенням холодильного коефіцієнта в різних робочих режимах, зваженим за часом роботи.

Формула для розрахунку ESEER:

$$\text{ESEER} = \text{EER1} \times 3\% + \text{EER2} \times 33\% + \text{EER3} \times 41\% + \text{EER4} \times 23\% \quad (3.3)$$

Навантаження, %	Температура повітря, °C	Холодильний коефіцієнт	Робочий час, %
100	35	EER1	3
75	30	EER2	33
50	25	EER3	41
25	20	EER4	23

З цього видно, що при 100% завантаженні кондиціонер працює всього 3% часу, при 75% завантаженні — 33% часу, при 50% завантаженні — 41% часу, а при 25% завантаженні — 23% часу від загального часу роботи за сезон.

Ураховуючи все вище наведене, можна зробити висновок, що коефіцієнти енергоефективності SEER і SCOP більш точно відображають реальні умови експлуатації кліматичного обладнання протягом року в різних кліматичних умовах.

Всі кондиціонери можна поділили на класи за коефіцієнтами енергоефективності SEER, SCOP (рис. 3.10).

Клас енергоефективності	A+++	A++	A+	A	B	C	D	E	F	G
Індекс енергоефективності SEER (охолодження)	≥ 8.5	6.1 - 8.5	5.6 - 6.1	5.1 - 5.6	4.6 - 5.1	4.1 - 4.6	3.6 - 4.1	3.1 - 3.6	2.6 - 3.1	< 2.6
Індекс енергоефективності SCOP (опалення)	≥ 5.10	4.6 - 5.1	4.0 - 4.6	3.4 - 4.0	3.1 - 3.4	2.8 - 3.1	2.5 - 2.8	2.2 - 2.5	1.9 - 2.2	< 1.9

Рис. 3.10. Класи енергоефективності кондиціонерів

Нижче на таблицях зображено технічні характеристики зовнішніх блоків двох запроєктованих варіантів. Їх значення номінальної продуктивності, діапазон роботи, значення EER, COP, SEER, SCOP.

Таблиця 3.1

Технічні характеристики VRF-системи [20]

VRF								
Модуль	Склад модуля	К-ть	Номінальна продуктивність				Споживання	
			кВт холоду	всього	кВт тепла	всього	кВт (режим охолодження)	всього
ARUM100LTE6	ARUM100LTE6	1	28	28	28	28	8,33	8,33
ВСЬОГО		1		28		28		8

Закінчення таблиці 3.1

Споживання		EER	COP	SEER	SCOP	Діапазон роботи	
кВт (режим обігріву)	всього					Охолодження	Обігрів
6,22	6,22	3,36	4,50	8,11	4,52	-15~52	-30~18
	6	3,36	4,50	8,11	4,52		

Таблиця 3.2

Технічні характеристики спліт-систем [20]

Split								
Модуль	Склад модуля	К-ть	Номінальна продуктивність				Споживання	
			кВт холоду	всього	кВт тепла	всього	кВт (режим охолодження)	всього
UU18WR	UU18WR	4	5	20	5,8	23,2	1,56	6,24
UU09WR	UU09WR	3	2,5	7,5	3,2	9,6	0,63	1,89
UU12WR	UU12WR	1	3,4	3,4	4	4	0,97	0,97
ВСЬОГО		8		31		37		9

Закінчення таблиці 3.2

Споживання		EER	COP	SEER	SCOP	Діапазон роботи	
кВт (режим обігріву)	всього					Охолодження	Обігрів
1,66	6,64	3,21	3,49	6,25	4,45	-5~50	-20~21
0,8	2,4	3,97	4,00	4	4		
1,12	1,12	3,51	3,57	6,58	4,4		
	10	3,40	3,62	5,45	4,28		

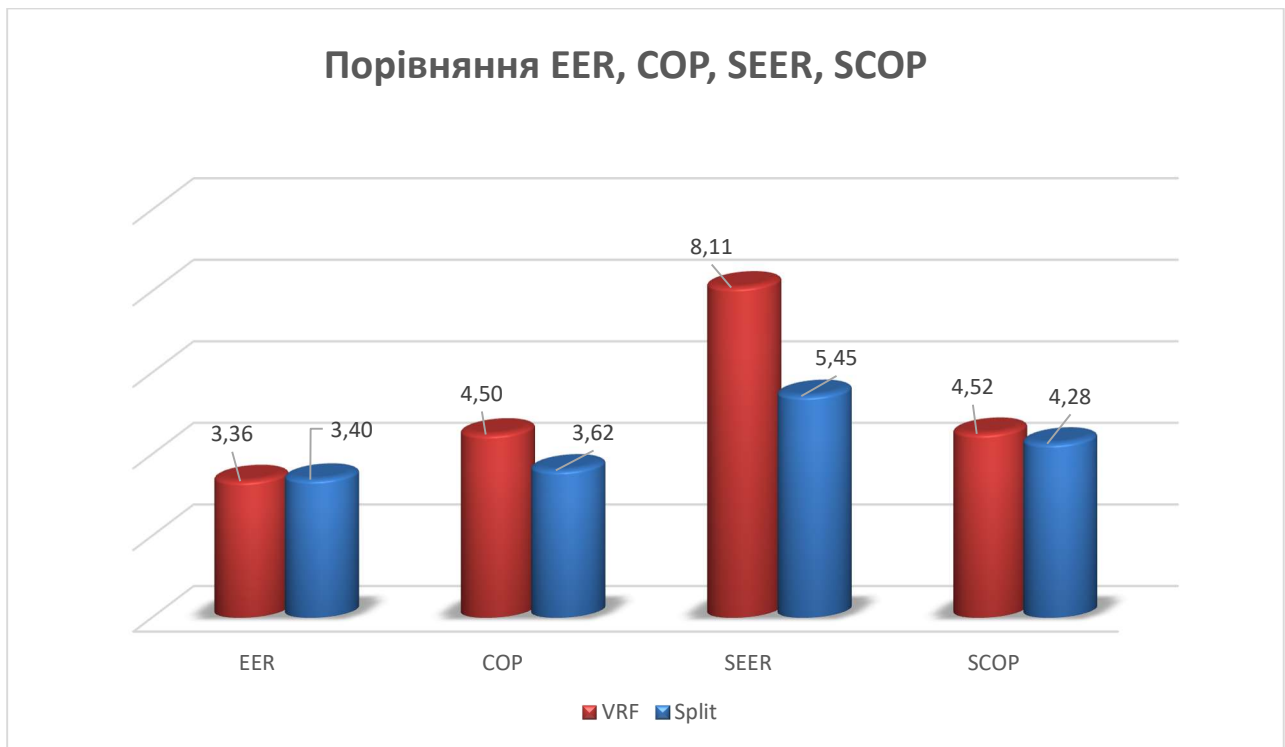


Рис.3.11. Порівняння коефіцієнтів EER, COP, SEER, SCOP.

На підставі наведених графіків можна зробити висновок, що коефіцієнти ефективності VRF (Variable Refrigerant Flow) систем вищі, ніж у спліт-систем. Це свідчить про доцільність використання VRF систем у відповідних умовах експлуатації, оскільки вони забезпечують більш ефективне енергоспоживання та кращу продуктивність. Крім того, VRF системи є більш доцільними для використання, оскільки вони можуть працювати при нижчих температурах, що розширює їх діапазон застосування і робить їх більш універсальними в умовах різних кліматичних зон.

Для визначення споживаної енергії за рік розрахунки ведуться таким чином:

Для охолодження:

$$A = K / SEER, \quad (3.4)$$

де A – спожита енергія в охолодженні, кВт·год; K – загальна потреба в охолодженні кВт·год; SEER - сезонний коефіцієнт енергоефективності системи в режимі охолодження.

Для опалення:

$$B = N / SCOP \quad (3.5)$$

де B – спожита енергія в опаленні, кВт·год; N – загальна потреба в опаленні кВт·год; SCOP - сезонний коефіцієнт енергоефективності системи в режимі опалення .

Визначення загальних витрат на електроенергію за рік проводиться за формулами:

Для охолодження:

$$G = A * x \quad (3.6)$$

де G – вартість охолодження, A - спожита енергія охолодження, кВт·год; x - вартість електроенергії (за кВт·год).

Для опалення:

$$P = A * x, \quad (3.7)$$

де P – вартість опалення, B - спожита енергія опалення , кВт·год; x - вартість електроенергії (за кВт·год).

Виходячи з проведених розрахунків, можна зробити висновок, що зі збільшенням значень коефіцієнтів SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) та SCOP (Seasonal Coefficient of Performance) зменшується споживання енергії, що, у свою чергу, призводить до зниження річних витрат на електроенергію.

Значення SEER визначає середню ефективність системи охолодження протягом усього охолоджувального сезону, тоді як SCOP відображає середню ефективність системи опалення протягом опалювального сезону. Вищі значення цих коефіцієнтів свідчать про більш ефективну роботу системи, оскільки вона споживає менше електроенергії для досягнення заданих параметрів охолодження чи опалення. Це означає, що при використанні систем з високими значеннями SEER та SCOP, загальні витрати на електроенергію за рік будуть нижчими, порівняно з системами, що мають нижчі значення цих коефіцієнтів.

Таким чином, для зменшення витрат на електроенергію доцільно обирати системи з більшими показниками SEER та SCOP.

РОЗДІЛ 4
ТЕХНОЛОГІЇ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ МОНТАЖУ
ІНЖЕНЕРНИХ СИСТЕМ

4.1. Технології монтажу елементів системи вентиляції

Монтажну схему системи вентиляції рекомендується комплектувати з уніфікованих стандартних деталей (прямих ділянок, відводів, переходів, ніпелей, муфт, заглушок тощо), а також фасонних елементів (трійників, хрестовин) та відгалужень – бокових врізок (рис. 4.1.) [17]

Монтаж сталевих повітропроводів

Монтаж системи повітропроводів здійснюється шляхом попередньої збірки прямих ділянок та фасонних елементів у великі модулі. Окремі елементи та деталі повітропроводів з'єднуються за допомогою фланців, ніпелів чи муфт.

Монтажні роботи промислової вентиляції зазвичай проводяться після завершення основних оздоблювальних робіт у місцях прокладання повітропроводів та встановлення технологічного обладнання, від якого відбувається відведення повітря під час облаштування витяжної вентиляції. В окремих випадках монтаж може бути розпочатий до встановлення технологічного обладнання. Після встановлення повітропроводів будівельні або інші роботи проводити забороняється, щоб уникнути пошкодження системи повітропроводів.

До початку монтажу перевіряється за робочими кресленнями можливість виконання проєктних робіт, зокрема: можливість прокладання повітропроводів по наміченій трасі, підготовленість та відповідність кресленням фундаментів і опор для встановлення електродвигунів, вентиляторів, калориферів тощо, підготовленість виробничого обладнання для приєднання до нього повітропроводів, зонтів, приймачів тощо.

Усі відхилення від проєкту повинні бути узгоджені з проєктною організацією або з органами технічного нагляду. Місце монтажу має бути вільним та доступним для виконання монтажних робіт. Прокладання ланки повітропроводів з готових зібраних вузлів та деталей можна здійснювати під перекриттям, вздовж стін, колон, підлоги та у підпільних каналах. У виробничих приміщеннях повітроводи зазвичай прокладають під перекриттям, щоб вони не заважали вільному пересуванню по цеху і розміщенню обладнання.

Монтаж елементів систем вентиляції проводять у такій послідовності:

- встановлення вентиляційного обладнання, такого як вентилятори, кондиціонери, циклони, відсмоктувачі, зонти над обладнанням, припливні насадки тощо, до якого безпосередньо приєднують повітропроводи;
- збирання і монтаж прямих ланок та фасонних частин повітропроводів укрупненими блоками;
- монтаж переходів, шиберів і засувок, кожухів, зонтів над викидними патрубками, гнучких вставок;
- встановлення вентиляційного обладнання, такого як фільтри, калорифери, дефлектори, покрівельні вентилятори, до якого повітропроводи безпосередньо не приєднують.

Монтаж повітропроводів зазвичай здійснюють від вентилятора. Блоки збирають на місці монтажу з окремих ланок повітропроводів, вузлів і деталей, які виготовлені і укомплектовані на заводі. Піднімають блоки на проектну відмітку за допомогою ручних лебідок чи інших підйомних пристроїв і після перевірки змонтованого блоку встановлюють постійне кріплення повітропроводів. Монтаж вентиляційного обладнання, до якого повітропроводи не приєднуються безпосередньо, можна виконувати одночасно з монтажем інших елементів і вузлів системи вентиляції. Перед монтажем відцентрових вентиляторів встановлюють віброізоляційні підставки. Монтаж припливних камер включає встановлення типових секцій і камер на підставки або готові фундаменти в послідовному порядку.

Кріплення каналу повітропроводів в горизонтальній площині

При такому способі кріплення до стіни або залізобетонної колони встановлюється спеціальний металевий кронштейн з отворами для фіксації підвісу повітропроводу. Для круглих повітропроводів може використовуватися хомут, для прямокутних – траверса або консоль (рис. 4.2). Форма кронштейнів і їх з'єднання залежать від моделі та розмірів повітропроводу.

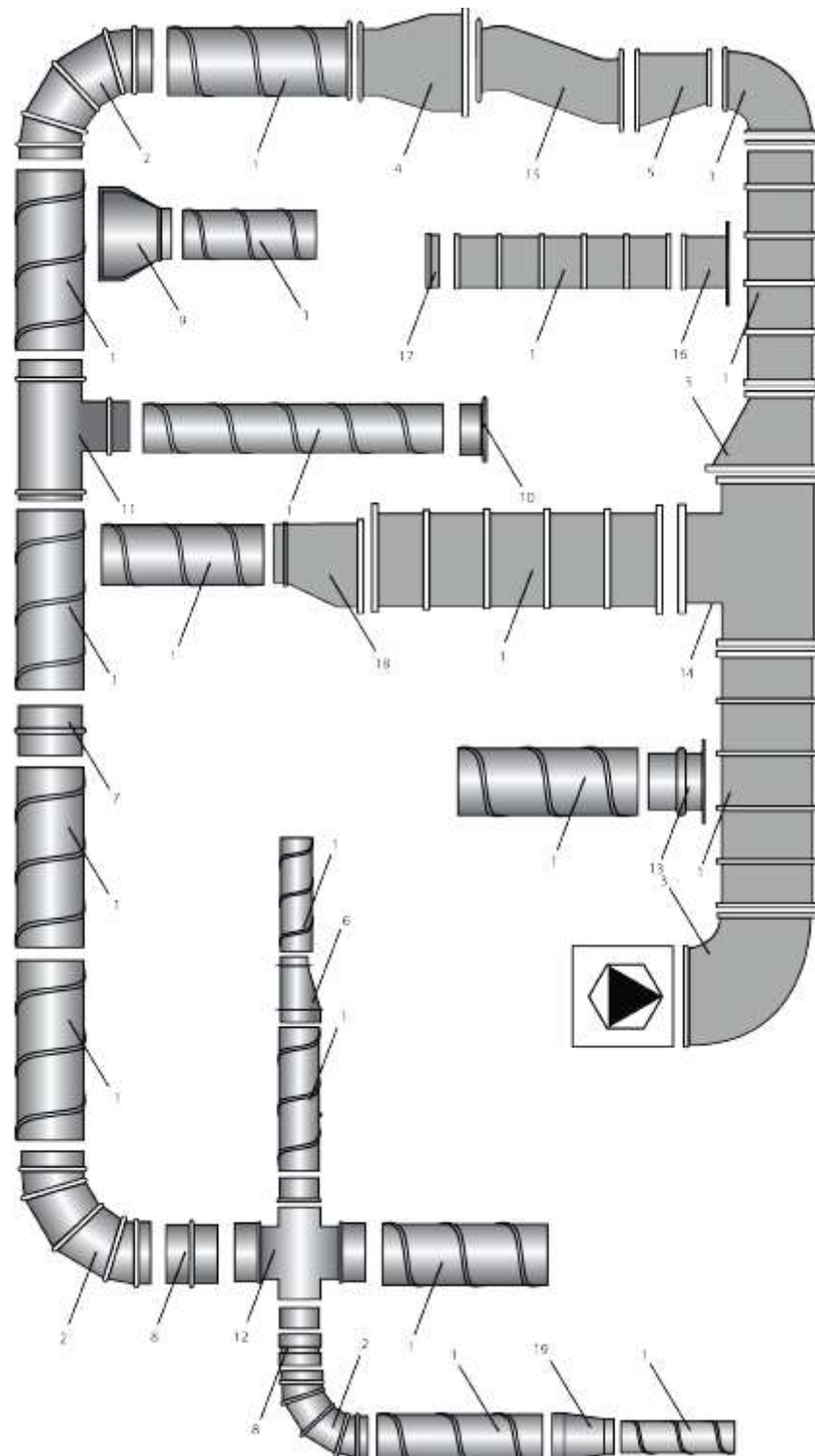


Рис. 4.1. Схема з'єднань елементів системи вентиляції:

1 – прямі ділянки; 2 – відвід круглий 90°; 3 – відвід прямокутний 90°; 4 – перехід з прямокутного на круглий; 5 – перехід з прямокутного на прямокутний односторонній; 6 – перехід односторонній з круглого на круглий; 7 – ніпель внутрішній; 8 – муфта; 9 – врізка-сідло; 10 – заглушка; 11 – трійник круглий; 12 – хрестовина; 13 – врізка круга; 14 – трійник прямокутний; 15 – відступ прямокутний; 16 – врізка; 17 – заглушка прямокутна; 18 – перехід з прямокутного на круглий; 19 – перехід центральний з круглого на круглий

У випадку, коли кріплення здійснюється під стелею, використовують шпильки. Вони кріпляться на стелі з можливістю підвішування повітропроводу. Шпильки з'єднуються з повітропроводом за допомогою траверс для прямокутних труб і хомутів або перфорованих стрічок для круглих труб.



Рис. 4.2. Варіанти кріплення круглих повітропроводів

Кріплення каналу повітропроводів у вертикальній площині

Якщо йдеться про монтаж повітропроводу, який приєднується до існуючого вентиляційного каналу (стояка) в будівлі, всі роботи зводяться до кріплення монтажними кронштейнами повітропроводу та витяжного накриття.

Проте, в деяких випадках може знадобитися встановлення вертикального повітропроводу на зовнішній стіні. Якщо така робота виконується в межах приватного будинку, монтажники можуть використовувати будівельні підмостки та лебідку для підйому і кріплення елементів конструкції. Для висотних будівель потрібні підйомники, що значно ускладнює роботи.

Для кріплення повітропроводів до стелі зазвичай використовують високоякісні металеві анкери, спосіб кріплення яких загалом схожий на закріплення пластикового дюбеля у стіні за допомогою шурупа. Металеві анкери забезпечують міцне і надійне з'єднання повітропроводів зі стельовими конструкціями, що є важливим для стабільної та безпечної експлуатації системи

вентиляції. Анкери вставляють у заздалегідь просвердлений отвір і за допомогою спеціального долота вибивається перегородка, яка відокремлює різьбову частину від "квітки". Після цього в анкер загортається шпилька, під дією якої "квітка" розкривається в отворі і міцно фіксує анкер у стелі. Забивні анкери витримують досить значні навантаження, тому рекомендується використовувати саме цей вид кріплення.

Окремим випадком є прокладання повітроводів у приміщеннях, де прикріпити їх до стелі неможливо або недоцільно. У такому випадку для монтажу траси зазвичай обирають металеву балку: кутник, тавр або двотавр. На існуючий профіль одягаються спеціальні струбцини, до яких і кріпиться шпилька підвіски

У цьому проєкті застосовується кріплення прямокутних повітроводів за допомогою шпильки та траверси (рис. 4.3). Шпильки забезпечують надійне вертикальне кріплення, а траверси використовуються для стабільної горизонтальної фіксації повітроводів. Такий метод дозволяє зберігати правильну геометрію повітроводів і забезпечує їхню стійкість та безпечну експлуатацію.



Рис. 4.3. Кріплення прямокутних повітропроводів

При такому способі монтажу повітропровід опирається на траверсу, а можливі бічні переміщення обмежуються шпильками. Для щільнішого прилягання та кращої звукоізоляції між повітроводом і траверсою рекомендується використовувати спеціальний гумовий профіль. Таким чином, при кріпленні

траверсами повітровід не пошкоджується саморізами, що робить цей спосіб найбільш придатним для монтажу тепло- і звукоізованих повітряних каналів.

Фланцеві з'єднання ланок повітроводів

Збірку систем повітроводів з окремих елементів здійснюють з допомогою попередньо встановлених у місцях стиків з'єднувальних елементів – фланців (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Фланцеві з'єднання: а – з листової сталі; б – з кутового прокату

Для з'єднання круглих елементів повітропроводів (для повітропроводів діаметром до 280 мм включно) виготовляють в заводських умовах з листової сталі товщиною 3 мм методом штампування або плазмового різання. Для повітроводів діаметром від 315 до 800 мм включно використовують стандартний кутовий прокат 25 x 25 мм з товщиною полиць 3 мм. Для повітроводів діаметром від 900 мм і більше застосовують стандартний кутовий прокат 32 x 32 мм з товщиною полиць 3 мм. У всіх випадках у фланцях вирубуються овальні отвори під з'єднувальні болти.

З'єднувальні фланці для прямокутних повітропроводів виготовляються на заводі зі стандартного кутового прокату розміром 25x25 мм з товщиною полиць 3 мм для повітропроводів розміром до 700x700 мм включно. Для повітропроводів розміром 800x800 мм і більше використовується стандартний кутовий прокат розміром 32x32 мм з товщиною полиць також 3 мм. У всіх випадках в фланцях передбачені овальні отвори для з'єднувальних болтів.

Фіксація фланців на круглих повітропроводах проводиться зі згином країв торця під прямим кутом до осі повітропроводу. Фланець має вільно обертатися навколо осі та здійснювати осьовий зсув не більше 10 мм. Згин країв круглих

повітропроводів має тісно адаптуватися до поверхні фланця на мінімальну глибину 6 мм і не повинен перекривати отвори для болтів. Допускається наявність не більше чотирьох наскрізних розривів на одному торці повітропроводу. без зварювання до дзеркала фланця.

Для монтажного з'єднання прямих ділянок, фасонних елементів, клапанів, шумоглушників в системі круглих повітроводів найчастіше застосовують ніпелі або муфти заводського виготовлення [17].

4.2. Організація виконання будівельно-монтажних робіт

Організацію монтажу інженерних систем і мереж здійснюють за такими методами: послідовний, паралельний, послідовно-паралельний, потоковий. Кожний із методів має свої переваги і недоліки та рекомендуються застосовувати для виконання різних видів робіт.

За послідовного методу кожний комплекс робіт виконується трудовим колективом послідовно виконується один за одним (рис. 4.5). Перевагою такого методу є рівномірність завантаження робітників та споживання матеріально-технічних ресурсів. Водночас цей метод характеризується великою тривалістю будівництва.

Роботи, об'єкти	Чисельність робітників	Календарні дати робочих днів														
		Місяць														
		1	2	3	4	5	8	9	10	11	12	15	16	17	18	19
		Робочі дні														
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	n_p	██████████														
2	n_p				██████████											
...	n_p							██████████								
m-1	n_p										██████████					
m	n_p													██████████		
		t_n			t_n			t_n			t_n			t_n		
		$T = t_n \cdot m$														
		Трудові ресурси: $n = n_p$														

Рис. 4.5. Послідовний метод виконання будівельно-монтажних робіт

За паралельного методу кожний комплекс будівельно-монтажних робіт (БМР) виконується різними бригадами (ланками) одночасно. За цього методу різко скорочується загальний термін будівництва при значній концентрації трудових і матеріальних ресурсів.

За виконання частини робіт (наприклад, підготовчих) паралельно з послідовністю монтажних робіт загальна тривалість будівництва дещо менша тривалість при послідовному методі.

Прогресивним методом є потоковий, який найчастіше організовується при будівництві зовнішніх мереж. Є також ефективним при виконанні внутрішніх робіт при забезпеченні відповідних умов з їх організації.

Монтажні роботи включають такі основні комплекси, зокрема: визначення траси прокладання трубопроводів; монтаж опор та кріпильних конструкцій для трубопроводів; організація розподілення та поставки матеріалів і комплектуючих до місць монтажу; монтаж розподільних трубопроводів, арматури, пристроїв дренажних та випуску повітря; встановлення опалювальних приладів; монтаж підводок до опалювальних приладів; встановлення обладнання теплових пунктів (колекторів, водонагрівача, розширювального бака, циркуляційних насосів, арматури, контрольно-вимірювальних приладів); проведення гідравлічних випробувань окремих вузлів та системи в цілому.

Потоковий метод будівництва ґрунтується на систематичній та плановій організації будівельних процесів, що ґрунтується на рівномірному та постійному використанні трудових та матеріально-технічних ресурсів та випуску готової будівельної продукції.

Потоковий метод будівництва передбачає організацію будівельно-монтажного процесу за такими принципами:

- розбиття сукупного виробничого процесу на складові етапи;
- призначення окремим виконавцям (бригадам, ланкам) виконання окремих складових процесів;
- розділення всього обсягу робіт на захватки (ділянки) з визначенням

тривалості виконання кожної складової частини;

- встановлення послідовності виконання робіт окремими виконавцями на захватках з урахуванням термінів та безперервності використання ресурсів.

У роботі розглянуто виконання монтажних робіт з внутрішнього теплопостачання виробничого об'єкту при організації робіт за послідовним та потоковим методами.

Календарний план-графік є ключовим документом організації будівельно-монтажного процесу, в якому визначається послідовність та взаємозв'язок робіт у часі і просторі. Він встановлює технологічний порядок виконання завдань, узгоджує часові рамки різних робіт та потребу в ресурсах - робітників, машин і механізмів, матеріалів та фінансів.

Представлені календарні план-графік робіт мають такі складові:

- 1) Розрахункова частина включає коди робіт, їх перелік, обсяг, нормативні документи, часові норми, трудові витрати, кількість змін, кваліфікаційний склад бригади або ланки, кількість працівників на зміну, заплановану тривалість робіт та відсоток виконання норми.

- 2) Графічна частина містить лінійні графіки та графік-циклограму (для потокового методу).

Для виконання монтажних робіт з внутрішнього теплопостачання виробничого об'єкту заплановано поточковий метод організації робіт при умовній захватці рівній одному дню. Захватка - це частина об'єкта з комплексом будівельно-монтажних робіт, в межах якої виконуються та координуються дії окремих виконавців. Узгодження виконання робіт по захваткам між різними бригадами (ланками) виконано за побудованою циклограмою виконання робіт. Графік-циклограму будуємо на календарній шкалі лінійного графіка, на якій нахиленими лініями зображаємо виконання робіт на будівельному потоці кожною бригадою.

Результати календарного планування, включаючи графіки, представлені на аркуші 4.

РОЗДІЛ 5
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО
СЕРЕДОВИЩА

5.1. Дослідження основних потенційних ризиків та негативних впливів, що виникають під час встановлення систем опалення та вентиляції

Таблиця 5.1

№ п/п	Небезпечні та шкідливі виробничі фактори	Джерело, види робіт	Кількісні оцінки	Норматив
1.	Падіння людей з висоти	Монтаж систем опалення і вентиляції	h=4 м	ДБН А.3.2-2-2009
2.	Падіння з висоти матеріалів, конструкцій, тощо	Монтаж систем опалення і вентиляції	h=4 м	ДБН А.3.2-2-2009
3.	Електричний струм	Роботи механізмів/експлуатація технологічної Оснастки.Електромонтажні. Освітлення.	U=380В/220В	ДБН А.3.2-2-2009
4.	Вібрація	Наладка і пуск систем в дію	f=150 Гц, v=0,02м/с	ДСТУ 2300-93 ГОСТ12.1.012-90 ДСН 3.3.6.039-99
5.	Шкідливі речовини	Тепло,витік газу,пара і пил	ГДК 300мг/м3 ГДК 200мг/м3	ДБН А.3.2-2-2009
6.	Недостатнє освітлення робочої зони	Монтаж систем вентиляції і опалення	661 лк	ДСТУ Б.А 3.2-15:2011 ДБН В.2.5-28-2018

7.	Виробничий шум	Наладка і пуск систем в дію	Рівень < 80 Дб А	ДСН 3.3.6.037-99 ДСН 3.3.6.039-99
8.	Атмосферна електрика	Блискавкозахист	Середнє число ударів на 1 км ² - 7	ДСТУ Б.А 3.2-15:2011
9.	Пожежна небезпека	Захист від пожежі	Категорія пожежонебезпеки – В, межа вогне-небезпеки – 60г/м ³ , ступінь вогнестійкості – II	НАПБ Б 03.002-2007 ДБН В.1.1-7-2016 ДБН В.1.2-7-2008

5.2. Заходи профілактики

Падіння людей з висоти

Організація робочого місця повинна гарантувати безпечність праці та зручний доступ до нього. Однією з ключових вимог до забезпечення безпечних умов праці монтажників є застосування захисних пристосувань на місцях виконання монтажних робіт. Безпеку працюючих на висоті при встановленні та кріпленні конструкцій забезпечується за допомогою засобів колективного захисту. Необхідно забезпечити наявність, міцність та стійкість огорожень, риштувань, настилів, драбин і т. д. Працівників слід забезпечити необхідними засобами захисту та використовувати їх відповідно до їх призначення; дотримуватися всіх організаційних та технічних заходів, передбачених правилами; використовувати технічно справні машини, механізми та пристрої з відповідною технічною документацією; забезпечувати достатнє освітлення на робочих місцях та безпечні проходи до них; приймати заходи щодо усунення або зменшення впливу шкідливих та/або небезпечних факторів; враховувати

метеорологічні умови та стан здоров'я працівників, які виконують роботи на висоті.

Падіння предметів та конструкцій з висоти

Падіння предметів та конструкцій з висоти є одним з основних аспектів безпеки під час монтажу, спрямованим на запобігання травматизму на виробництві. У практиці монтажу будівельних конструкцій іноді спостерігаються випадки втрат міцності та стійкості конструкцій через недостатнє урахування монтажних навантажень з різних організаційно-технічних причин.

Нормативи проектування будівельних конструкцій передбачають їхню міцність та стійкість під час монтажу. В проектах будівельних конструкцій вказуються місця для стропування, враховуючи потреби. Розташування зв'язків, які забезпечують стійкість закріплених конструкцій, вирішується в проекті виробництва робіт.

Монтаж елементів без монтажних петель заборонено. Стропування елементів систем вентиляції проводиться за відповідними схемами. Методи стропування мають забезпечити їх правильне розташування під час підведення до місця установки, що відповідає проектному положенню. Під час перерв у роботі елементи конструкцій та обладнання повинні бути надійно закріплені.

Електричний струм

При проведенні робіт біля електроустановок під напругою існує ризик випадкового контакту з ними.

Основні засоби захисту від електричного удару, які забезпечують захист від напруги до 1000В, включають діелектричні гумові рукавиці, інструменти з ізольованими рукоятками, струмошукачі. У електроустановках з напругою понад 1000В використовують ізолюючі штанги, ізольовані та струмоведучі клещі.

При влаштуванні електричних мереж на будівельному об'єкті необхідно передбачити можливість відключення всіх електроустановок на окремих ділянках робіт.

Електричні проводи повинні бути ізольовані, огорожені або розташовані в недоступних місцях.

Електрозварювальну установку слід підключати до джерела живлення через вимикач та запобіжники або автоматичний вимикач.

Вплив вібрації

Запобігання впливу вібрації на робочі місця має починатися з моменту розробки технологічних процесів та машин, а також з проектування виробничих приміщень та організації робіт. Заходи для зменшення негативного впливу вібрації від працюючого обладнання можна розділити на дві основні групи:

- 1) методи, спрямовані на зменшення інтенсивності збуджуючих сил у джерелі виникнення;
- 2) методи зниження вібрації на шляху їх поширення через опорні зв'язки від джерела до інших машин та будівельних конструкцій.

Технологічні процеси, що використовують машини з мінімальними динамічними навантаженнями, є ефективними засобами боротьби зі шкідливою вібрацією.

Пасивна віброізоляція з використанням віброгасячих основ є ефективним засобом боротьби з негативними наслідками вібрації.

Негативний вплив шкідливих речовин

Заходи для збереження здоров'я працівників у теплових цехах спрямовані на запобігання негативному впливу надмірного тепла та шкідливих речовин, які потрапляють у повітря робочої зони, а також профілактику травматизму. До цих заходів включаються: теплоізоляція обладнання, провітрювання виробничих приміщень, застосування повітряних душів, герметизація процесів та налагодження ефективної місцевої вентиляції для витяжки шкідливих речовин

Виробничий шум

Зниження рівня виробничого шуму за допомогою створення звукоізоляційних і звукопоглинаючих конструкцій, а також застосування засобів індивідуального захисту.

Атмосферна електрика

Система захисту від блискавки (далі - LPS) повинна бути спроектована з метою захисту будівлі, проживаючих у ній осіб та електричних/електронних

пристроїв від усіх можливих джерел пошкоджень.

LPS поділяються на:

-Зовнішні - захищають будівлю (споруду) від фізичних руйнувань (пожежа, пошкодження, тріщини) і захищають проживаючих від ураження електричним струмом, який може виникнути під час дотику або внаслідок крокової напруги.

-Внутрішні - забезпечують захист електричних/електронних систем у будівлі (споруді) від випадкових збоїв, спричинених імпульсними електромагнітними полями внаслідок ударів блискавки (LEMP).

За даними технічного комітету 81 Міжнародної електротехнічної комісії, дві третини коштів, витрачених на блискавкозахист по всьому світу, припадають на закупівлю пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (далі - SPD). Проте, аналізуючи проекти, які реалізуються в Україні, ми можемо побачити, що у більшості випадків йдеться тільки про зовнішні LPS. Тому нашим проектувальникам та інвесторам необхідно розширити своє розуміння принципів побудови систем захисту від блискавки.

Пожежна безпека

-Заходи з протипожежної безпеки спрямовані на введення протипожежного режиму на об'єкті та включають такі дії:

-Встановлення спеціальних місць для куріння.

-Зберігання горючих відходів у відведених місцях та регулярна перевірка приміщень на наявність таких матеріалів.

-Встановлення аварійних вимикачів для загального відключення електропостачання приміщень або всієї будівлі.

-Пожежні інспектори та відповідальні за пожежну безпеку на підприємстві мають регулярно проводити протипожежні навчання загального характеру, під час яких ознайомлюють персонал з такими аспектами:

-Плани евакуації та правила поведінки в разі пожежі.

-Технічні характеристики пожежної небезпеки речовин та матеріалів, що використовуються на підприємстві.

-Експлуатаційні характеристики установок, машин та механізмів, що

використовуються, та їхню пожежну небезпеку.

-Правила зберігання горючих, вогненебезпечних та легкозаймистих речовин.

-Дії персоналу у разі виникнення пожежі.

Висновки

У роботі проаналізовано різні види комбінованих систем опалення, що використовуються для забезпечення оптимальних умов мікроклімату у виробничих приміщеннях. Однією з ключових переваг таких систем є їх здатність забезпечувати високий рівень енергоефективності, що знижує експлуатаційні витрати і сприяє зменшенню впливу на навколишнє середовище. Зокрема, виконано порівняльний аналіз комбінованих систем опалення з різним вентиляційним обладнанням. Показано, що в якості догрівуючої системи більш ефективною є мультизональна система кондиціонування (VRF). VRF-системи мають ряд переваг: забезпечують точне регулювання температури, що дозволяє підтримувати стабільний мікроклімат у виробничих приміщеннях; мають високий коефіцієнт перетворення енергії, що робить їх більш енергоефективними порівняно з традиційними системами опалення, що важливо для великих виробничих приміщень, де енерговитрати можуть бути значними; системи є модульними, що дозволяє легко масштабувати систему залежно від потреб виробництва, забезпечуючи гнучкість у використанні; мають можливість одночасного обігріву та охолодження різних зон виробничого приміщення, що забезпечує комфортні умови для роботи працівників незалежно від пори року. Впровадження VRF-систем у складі комбінованих систем опалення можна вважати доцільним і перспективним напрямком для модернізації виробничих об'єктів.

Список використаної літератури

1. Васильєв, Є. В. Теплопостачання та енергозбереження в будівництві. — Харків: ХНУБА, 2015.
2. Гладченко, В. М. Комбіновані системи опалення. — Львів: Львівська політехніка, 2021.
3. ДБН В.2.2-9:2018. Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення. Зі Зміною № 1 [Чинний з 01.09.2022].
4. ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення [Чинний з 01.03.2019].
5. ДБН В.2.5-39:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі. Зміна № 1 [Чинний з 01.07.2018].
6. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування [Чинний з 01.01.2014].
7. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція та енергоефективність будівель [Чинний з 01.01.2022].
8. Козлов В. М. Системи опалення та вентиляції. — К.: Ліра - К, 2016.
9. Літвінов, Є. А. Енергоефективність у системах опалення виробничих приміщень. — Дніпро: ДНУ, 2020.
10. Лубенець В.Г. Основи організації і планування будівельного виробництва в запитаннях та відповідях. — К.: 2000.
11. Мазур, І. І., Шульга, І. І. Інженерні системи будівель. — К.: Арістей, 2019.
12. Пластун, А. Г. Альтернативні джерела енергії та їх використання у системах теплопостачання. — К.: Інфра-М, 2018.
13. Росковшенко Ю.К. Центральні системи кондиціонування повітря: навчальний посібник. – К.: - ІВНВКП «Укреліотех», 2008.
14. Семенов, П. О. Сучасні технології опалення. — К.: Політехніка, 2019.
15. Сенчук М.П., Франчук Ю.Й. Монтажне проектування сталевих і мідних внутрішніх газопроводів: методичні вказівки до виконання практичних занять і індивідуальної роботи для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» ОПП «Теплогазопостачання і вентиляція» – К.: КНУБА, 2023.

16. Старовойтова Л. П. Основи теплопостачання та вентиляції. — К.: Вища школа, 2017.
17. Каталог фірми «ВЕНТС» [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ventilation-system.com/ru/catalogs/>
18. Степанов М.В., Вакалюк А.С. Організація будівельно-монтажних робіт: навчальний посібник. – К.: КНУБА, 2011.
19. Степанов. М.В. «Організація будівельно-монтажних робіт» для студентів теплогазопостачання і вентиляції / Степанов. М.В. уклад.– К.: КНУБА, 2005. Методичні рекомендації до виконання курсового проєкту.
20. Євровент сертифікація. Eurovent certita certification [Електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.eurovent-certification.com/en/>
21. Сенчук М.П., Оксюта Б.О., Ращенко А.В. Матеріали ІІІ всеукраїнської студентської наукової конференції. Теплопостачання будівель зі змінним тепловим режимом приміщень. — Київ: КНУБА 2023.

Результати підбору огорожувальних конструкцій

Найменування огорожувальної конструкції	Опір теплопередачі, R м ² К / Вт, теплова інерція D				Коефіцієнт теплопередачі U_k , Вт/(м ² °С)	Опис конструкцій
	R_{qmin}	D_{mn}	R_k	D_k		
<u>Зовнішня стіна</u> $q \leq 23$ Вт/м ³	1,5	1,5	1,68	3,08	0,595	Залізобетон густиною 2400 кг/м ³ товщиною 0,3 м; утеплювач з плит пінополістерольних густиною 15 кг/м ³ товщиною 0,06м; розчин вапняно-піщаний густиною 1800 кг/м ³ товщиною 0,015
<u>Безгорищне покриття</u> $q \leq 23$ Вт/м ³	1,6	1,5	1,85	4,6	0,54	Залізобетон густиною 2400 кг/м ³ товщиною 0,220 м; утеплювач з плит пінополістерольних густиною 15 кг/м ³ товщиною 0,04м; розчин цементно-піщаний густиною 1600 кг/м ³ товщиною 0,03 м; бітум густиною 1000 кг/м ³ товщиною 0,001 м; рубероїд густиною 600 кг/м ³ товщиною 0,1 м.
<u>Вікна</u>	0,42	-	0,52	-	2,128	Вікна з двокамерними склопакетами 4М1-16-4М1-16-4М1
<u>Внутрішні стіни</u>	0,065 0,098	-	0,34	-	2,9	Залізобетонна перегородка 80 мм
<u>Ворота</u>	0,55	-	0,83	-	1,2	Сталеві ворота з утеплювачем
<u>Підлога</u>		$Y_{maxп}$	$D_{п}$	$Y_{п}$	U_k , Вт/(м ² °С)	
<u>У виробничих приміщеннях</u>		17	0,96	33,54	0,32	Бетон КЛ В 15 товщиною 0,1 м; Бетон КЛ В 7,5 товщиною 0,1 м
<u>На робочих місцях виробничих приміщень</u>		17	0,86	7,74	-	Дерев'яний настил густиною 60 кг/м ³ товщиною 0,04 м; Бетон КЛ В 15 товщиною 0,1 м; Бетон КЛ В 7,5 товщиною 0,1 м

Розрахунок тепловтрат

N n/n	Параметри	Позн.	Од. вим.	Приміщення				
	Теплонадходження:			103	109	110	113	122
1	від людей	$\Phi_{\text{Од}}$	Вт	784	3341	278	812	557
		$\theta_{\text{int},i}$	°C	16,0	16,0	16,0	20,0	16,0
		$q_{\text{табл}}$	Вт/чол	139,2	139,2	139,2	203	139,2
		$n_{\text{ч}}$	чол	3	12	3	3	9
		$n_{\text{ж}}$	жін	0	0	0	0	0
2	від джерел штучного освітлення	$\Phi_{\text{Осв}}$	Вт	1830	2495	166	333	333
		$F_{\text{гр}}$	м ²	396	540	36	72	72
		$E_{\text{осв}}$	лк	150	150	150	150	150
		$q_{\text{осв}}$	Вт/(м ² лк)	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056
		$\eta_{\text{осв}}$		0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
3	від нагрітих матеріалів і виробів	$\Phi_{\text{ОТМ}}$	Вт		3847			
		$G_{\text{м}}$	кг/год		470			
		$c_{\text{м}}$	кДж/(кг °C)		0,46			
		$\theta_{\text{int},o}$	°C		80,0			
		$\theta_{\text{int},ч}$	°C		16,0			
		$\beta_{\text{н}}$			1,0			
4	від остигання обладнання, матеріалів	$\Phi_{\text{Обл}}$	Вт	262	2309	900	627	2425
		$G_{\text{обл}}$	кг/год	512	4514	1760	1225	4740
		$c_{\text{обл}}$	кДж/(кг °C)	0,46	0,46	0,46	0,46	0,46
		$t_{\text{н}}$	°C	16,0	16,0	16,0	20,0	16,0
		$t_{\text{к}}$	°C	12,0	12,0	12,0	16,0	12,0
		$\beta_{\text{т}}$		1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
5	від механічного устаткування	$\Phi_{\text{Овл.устк}}$	Вт		12976	368	733	3475
		$N_{\text{у}}$	кВт		35,3	2	4	19
		$k_{\text{ж}}$			0,4	0,2	0,2	0,2
		$k_{\text{л}}$			1,0	1,0	1,0	1,00
		$k_{\text{т}}$			0,9	0,9	0,9	0,9
		$\eta_{\text{е}}$			0,81	0,8	0,84	0,855

Розрахунок повітрообміну

Відділення	Період року	Видалення, м ³ /год					Приплив, м ³ /год				
		Місцеве		Загально-обмінне		Разом	Місцевий		Загально-обмінний		Разом
		п р .	мех.	пр.	мех.		пр.	мех.	пр.	мех.	
Виробниче приміщення	Т	-	-	-	28635	28635	-	-	-	28635	28635
	Х	-	-	-	28635	28635				28635	28635
Зона експедиції	Т	-	-	-	8655	8655	-	-	-	8655	8655
	Х	-	-	-	8655	8655	-	-	-	8655	8655
Відділення приймання молока	Т	-	29230	291126 /	-	321267	-	13930	307337	-	321267
	Х		29230	291126 /	-	321267		13930	307337	-	321267
Побутові приміщення	Т	-	-	-	230	230	-	-	-	230	230
	Х	-	-	-	230	230	-	-	-	230	230
Склад пакувальних матеріалів	Т		-	-	250	250		-	-	250	250
	Х		-	-	250	250		-	-	250	250

Гідравлічний розрахунок

Номер розрахункової ділянки	Теплове навантаження ділянки	Витрата води на ділянці	Довжина ділянки	Діаметр трубопроводу	Приведений коефіцієнт тертя	Питома витрата води	Питомий динамічний тиск	Швидкість води на ділянці	Сума коефіцієнтів місцевих опорів	Приведений коефіцієнт місцевих опорів	Характеристика опору ділянки	Втрати тиску на ділянці	Загальні втрати тиску
№ діл.	$Q_{дін}, Вт$	$G, кг/год$	$l, м$	$d, мм$	$\lambda/d, м^{-1}$	$G/v, (кг/год)/(м/с)$	$A \cdot 10^{-4}, Па/(кг/год)^2$	$V, м/с$	$\Sigma \xi$	$\xi_{пр}$	$S, Па/(кг/год)^2$	$\Delta P_{діл}, Па$	$\Sigma \Delta P, Па$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>Гідравлічний розрахунок трубопроводів системи опалення (СО-2)</i>													
ІТП-1	31879	456,9	25	20	1,79	1250	0,0003150	0,366	3,5	48,25	0,015199	3173	3173
1-2	21253	304,6	5,6	20	1,79	1250	0,0003150	0,244	7,6	17,624	0,005552	515	3688
2-3	17711	253,9	5,6	15	2,69	685	0,0010500	0,371	4,5	19,564	0,020542	1324	5012
3-4	14169	203,1	5,6	15	2,69	685	0,0010500	0,296	4,5	19,564	0,020542	847	5860
4-5	10627	152,3	5,6	15	2,69	685	0,0010500	0,222	4,5	19,564	0,020542	477	6336
5-6	7085	101,6	5,6	15	2,69	685	0,0010500	0,148	4,5	19,564	0,020542	212	6548
6-7	3543	50,8	6,5	15	2,69	685	0,0010500	0,074	4,5	21,985	0,023084	60	6608
<i>Відгалудження</i>													
1-8	10626	152,3	8,0	20	1,79	1250	0,0003150	0,122	3,5	17,82	0,005613	130	130
8-9	7084	101,5	5,6	15	2,69	685	0,0010500	0,148	7,6	22,664	0,023797	245	376
9-10	3542	50,8	6,5	15	2,69	685	0,0010500	0,074	4,5	21,985	0,023084	59	435

Аеродинамічний розрахунок для загальнообмінної вентиляції

№ участку	Діаметр повітровода, мм	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Довжина, м	R _y , Па/м	R, Па
0	800	13930	7.7	4.86	0.64	3.13
1	400	4200	9.28	0.28	2.17	0.61
2	400	3410	7.54	4.31	1.47	6.35
3	315	2100	7.49	1.21	1.96	2.37
4	630	9730	8.67	1.25	1.08	1.36
5	400	2620	5.79	2.85	0.91	2.58
6	630	7110	6.34	9.44	0.61	5.72
7	500	6320	8.94	1.25	1.53	1.92
8	500	5530	7.82	1.04	1.2	1.24
9	500	4740	6.71	2.86	0.9	2.57
10	500	3950	5.59	1.78	0.64	1.14
11	400	3160	6.99	0.55	1.28	0.7
12	400	2370	5.24	0.51	0.75	0.38
12	400	2370	5.24	2.44	0.75	1.84
13	315	1580	5.63	2.71	1.16	3.14
0	250	790	4.47	0.97	1.01	0.98
1	315	1310	4.67	3.15	0.82	2.59
2	315	1310	4.67	2.52	0.82	2.07
2	315	1310	4.67	1.69	0.82	1.39
3	250	790	4.47	1.3	1.01	1.32
4	315	1310	4.67	0.91	0.82	0.75
4	315	1310	4.67	0.65	0.82	0.53
5	315	1310	4.67	0.83	0.82	0.68
5	315	1310	4.67	1.05	0.82	0.86
6	250	790	4.47	2.83	1.01	2.87
7	250	790	4.47	4.46	1.01	4.52
8	250	790	4.47	2.85	1.01	2.89
9	250	790	4.47	2.99	1.01	3.03
10	250	790	4.47	4.63	1.01	4.69
11	250	790	4.47	3.02	1.01	3.06
12	250	790	4.47	1.19	1.01	1.21
13	250	790	4.47	0.71	1.01	0.72
13	250	790	4.47	1.65	1.01	1.67
14	250	790	4.47	0.01	1.01	0.01
14	250	790	4.47	1.49	1.01	1.51

Відведення						
№ участку	Ф, мм -<	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Дин. тиск	КМС	R _м , Па
12	400-90	2370	5.24	16.6	0.35	5.81
2	315-90	1310	4.67	13.19	0.35	4.62
4	315-90	1310	4.67	13.19	0.35	4.62
5	315-90	1310	4.67	13.19	0.35	4.62
13	250-90	790	4.47	12.09	0.35	4.23

Трійники						
№ участку	Ф ствола, мм-	Розхід,	Швидкість,	Дин. Тиск	КМС	R _м , Па

	відведення,мм	м3/год	м/с			
1	800-400	4200	9.28	52.15	0.78	40.73
2	400-400	3410	7.54	34.37	0.13	4.53
3	400-315	2100	7.49	33.9	0.28	9.56
4	800-630	9730	8.67	45.48	0.84	38.16
5	630-400	2620	5.79	20.29	1.89	38.4
6	630-630	7110	6.34	24.29	0.13	3.07
7	630-500	6320	8.94	48.36	0.27	12.95
8	500-500	5530	7.82	37.03	0.15	5.39
9	500-500	4740	6.71	27.2	0.14	3.88
10	500-500	3950	5.59	18.89	0.14	2.56
11	500-400	3160	6.99	29.52	0.25	7.49
12	400-400	2370	5.24	16.6	0.13	2.09
13	400-315	1580	5.63	19.19	0.27	5.11
0	400-250	790	4.47	12.09	3.57	43.22
1	400-315	1310	4.67	13.19	2.27	29.96
2	315-315	1310	4.67	13.19	0.16	2.17
3	315-250	790	4.47	12.09	2.34	28.32
4	400-315	1310	4.67	13.19	1.38	18.18
5	400-315	1310	4.67	13.19	1.38	18.18
6	630-250	790	4.47	12.09	1.83	22.12
7	500-250	790	4.47	12.09	3.14	37.92
8	500-250	790	4.47	12.09	2.71	32.73
9	500-250	790	4.47	12.09	1.87	22.57
10	500-250	790	4.47	12.09	1.4	16.9
11	400-250	790	4.47	12.09	2.08	25.21
12	400-250	790	4.47	12.09	1.27	15.38
13	315-250	790	4.47	12.09	0.38	4.58
14	315-250	790	4.47	12.09	1.42	17.13

Виробниче приміщення

№ участку	Діаметр повітровода, мм	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Довжина, м	R _y , Па/м	R, Па
0	630	8655	7.71	1.86	0.87	1.62
0	630	8655	7.71	3.84	0.87	3.35
0	630	8655	7.71	5.45	0.87	4.75
1	500	5770	8.16	3.36	1.29	4.35
0	400	2885	6.38	1	1.08	1.08
1	400	2885	6.38	1.06	1.08	1.15
2	400	2885	6.38	0.95	1.08	1.03
2	400	2885	6.38	2.53	1.08	2.74
Відведення						
№ участку	Ф,мм -<	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Дин.тиск	КМС	R _m , Па
0	630-90	8655	7.71	35.99	0.35	12.6
0	630-90	8655	7.71	35.99	0.35	12.6
2	400-90	2885	6.38	24.6	0.35	8.61
Трійники						
№ участку	Ф ствола,мм-відведення,мм	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Дин.Тиск	КМС	R _m , Па
1	630-500	5770	8.16	40.31	0.45	18.01
0	630-400	2885	6.38	24.6	1.28	31.6
1	500-400	2885	6.38	24.6	1.25	30.86
2	500-400	2885	6.38	24.6	0.65	15.94

Повітроводи						
№ участку	Діаметр повітровода, мм	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Довжина, м	R _y , Па/м	R, Па
0	630	8655	7.71	0.51	0.87	0.44
0	630	8655	7.71	0.83	0.87	0.72
0	630	8655	7.71	6.29	0.87	5.48
1	500	5770	8.16	3.48	1.29	4.5
0	400	2885	6.38	0.92	1.08	0.99
1	400	2885	6.38	0.41	1.08	0.44
1	400	2885	6.38	2.55	1.08	2.76

Відведення						
№ участку	Ф, мм -<	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Дин. тиск	КМС	R _m , Па
0	630-90	8655	7.71	35.99	0.35	12.6
0	630-90	8655	7.71	35.99	0.35	12.6
1	400-90	2885	6.38	24.6	0.35	8.61

Трійники						
№ участку	Ф ствола, мм-відведення, мм	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Дин. Тиск	КМС	R _m , Па
1	630-500	5770	8.16	40.31	0.45	18.01
0	630-400	2885	6.38	24.6	1.28	31.6
1	500-400	2885	6.38	24.6	1.25	30.86
2	500-400	2885	6.38	24.6	0.65	15.94

Відділення приймання молока

Повітроводи						
№ участку	Діаметр повітровода, мм	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Довжина, м	R _y , Па/м	R, Па
0	1000	28635	10.13	2.03	0.81	1.65
0	1000	28635	10.13	2.51	0.81	2.04
0	1000	28635	10.13	21.83	0.81	20.21
1	800	19090	10.55	3.23	1.16	3.75
0	630	9545	8.51	1.08	1.05	1.13
1	630	9545	8.51	1.18	1.05	1.23
2	630	9545	8.51	0.98	1.05	1.03
2	630	9545	8.51	2.72	1.05	2.85

Відведення						
№ участку	Ф, мм -<	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Дин. тиск	КМС	R _m , Па
0	1000-90	28635	10.13	62.05	0.35	21.72
0	1000-90	28635	10.13	62.05	0.35	21.72
2	630-90	9545	8.51	43.77	0.35	15.32

Трійники						
№ участку	Ф ствола, мм-відведення, мм	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Дин. Тиск	КМС	R _m , Па
1	1000-800	19090	10.55	67.33	0.45	30.51
0	1000-630	9545	8.51	43.77	1.3	56.69
1	800-630	9545	8.51	43.77	1.25	54.89
2	800-630	9545	8.51	43.77	0.64	28.14

Повітроводи						
-------------	--	--	--	--	--	--

№ участку	Діаметр повітровода, мм	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Довжина, м	R _y , Па/м	R, Па
Маг 0	1000	28635	10.13	0.1	0.81	0.08
0	1000	28635	10.13	0.3	0.81	0.24
0	1000	28635	10.13	25.16	0.81	20.48
1	800	19090	10.55	3.14	1.16	3.65
0	630	9545	8.51	0.63	1.05	0.66
0	630	9545	8.51	0.96	1.05	1
1	630	9545	8.51	0.63	1.05	0.66
1	630	9545	8.51	1.08	1.05	1.13
2	630	9545	8.51	0.63	1.05	0.66
2	630	9545	8.51	0.95	1.05	0.99
2	630	9545	8.51	3.59	1.05	3.76
Відведення						
№ участку	Ф, мм -<	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Дин. тиск	КМС	R _m , Па
0	1000-90	28635	10.13	62.05	0.35	21.72
0	1000-90	28635	10.13	62.05	0.35	21.72
0	630-90	9545	8.51	43.77	0.35	15.32
1	630-90	9545	8.51	43.77	0.35	15.32
2	630-90	9545	8.51	43.77	0.35	15.32
2	630-90	9545	8.51	43.77	0.35	15.32
Трійники						
№ участку	Ф ствола, мм-відведення, мм	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Дин. тиск	КМС	R _m , Па
1	1000-800	19090	10.55	67.33	0.45	30.51
0	1000-630	9545	8.51	43.77	1.3	56.69
1	800-630	9545	8.51	43.77	1.25	54.89
2	800-630	9545	8.51	43.77	0.64	28.14

Побутові приміщення

Повітроводи						
№ участку	Діаметр повітровода, мм	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Довжина, м	R _y , Па/м	R, Па
0	125	230	5.21	10.22	3.18	32.55
0	125	230	5.21	3.36	3.18	10.7
0	125	230	5.21	21.81	3.18	69.46
0	125	230	5.21	4.21	3.18	13.41
1	125	150	3.4	1.47	14.6	2.15
1	125	150	3.4	1.34	14.6	1.96
2	100	100	3.54	1.32	2.08	2.74
0	100	80	2.83	1.88	1.39	2.61
0	100	80	2.83	0.67	1.39	0.93
1	100	50	1.77	0.38	0.6	0.23
2	100	50	1.77	0.35	0.6	0.21
3	100	50	1.77	1.66	0.6	0.99
Відведення						
№ участку	Ф, мм -<	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Дин. тиск	КМС	R _m , Па
0	125-90	230	5.21	16.4	0.35	5.74
0	125-90	230	5.21	16.4	0.35	5.74
0	125-90	230	5.21	16.4	0.35	5.74
1	125-90	10	3.4	6.97	0.35	2.44
0	100-90	80	2.83	4.84	0.35	1.7

Трійники						
№ участку	Ф ствола,мм-відведення,мм	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Дин.Тиск	КМС	R _м , Па
1	125-125	150	3.4	6.97	Нерозрахунковий	-
2	125-100	100	3.54	7.57	0.26	1.98
0	125-125	80	2.83	4.84	Нерозрахунковий	-
1	125-100	50	1.77	1.89	3.19	6.03
2	100-100	50	1.77	1.89	Нерозрахунковий	-
3	100-100	50	1.77	1.89	Нерозрахунковий	-

Повітроводи						
№ участку	Діаметр повітропровода, мм	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Довжина, м	R _y , Па/м	R, Па
0	125	230	5.21	1.81	3.18	5.76
0	125	230	5.21	2.29	3.18	7.29
0	125	230	5.21	10.37	3.18	33.03
0	125	230	5.21	3.4	3.18	10.83
0	125	230	5.21	21.82	3.18	69.49
0	125	230	5.21	4.78	3.18	15.22
1	125	180	4.07	2.09	2.03	4.25
2	100	130	4.6	0.3	3.35	1.01
2	100	130	4.6	1.33	3.35	4.46
0	100	50	1.77	0.38	0.6	0.23
1	100	50	1.77	0.37	0.6	0.22
2	100	50	1.77	0.5	0.6	0.3
3	100	80	2.83	3.5	1.39	4.86

Відведення						
№ участку	Ф,мм -<	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Дин.тиск	КМС	R _м , Па
0	125-90	230	5.21	16.4	0.35	5.74
0	125-90	230	5.21	16.4	0.35	5.74
0	125-90	230	5.21	16.4	0.35	5.74
0	125-90	230	5.21	16.4	0.35	5.74
0	125-90	230	5.21	16.4	0.35	5.74
2	100-90	130	4.6	12.79	0.35	4.48

Трійники						
№ участку	Ф ствола,мм-відведення,мм	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Дин.Тиск	КМС	R _м , Па
1	125-125	180	4.07	10.04	0.13	1.28
2	125-100	130	4.6	12.79	0.25	3.25
0	125-100	50	1.77	1.89	7.32	13.86
1	125-100	50	1.77	1.89	4.45	8.42
2	100-100	50	1.77	1.89	Нерозрахунковий	-
3	100-100	80	2.83	4.84	Нерозрахунковий	-

Місцеві відсмоктувачі

№ участку	Діаметр повітропроводу	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Довжина, м	R _y , Па/м	R, Па
0	100	29230	10.34	2.02	0.85	1.71
1	800	19130	10.57	4.3	1.17	5.01
2	800	16510	9.12	5.85	0.88	5.18
2	800	16510	9.12	5.21	0.88	4.61

3	800	13890	7.68	2.18	0.64	1.4
4	630	11270	10.04	2.93	1.43	4.18
5	630	8650	7.71	14.62	0.87	12.73
6	630	10100	9	1.14	1.16	1.33
7	500	8160	11.54	5.89	2.48	14.59
0	315	2620	9.34	0.46	2.96	1.36
1	315	2620	9.34	1.06	2.96	3.14
2	315	2620	9.34	1.06	2.96	3.14
3	315	2620	9.34	0.42	2.96	1.24
4	315	2140	7.63	2.91	2.03	5.91
4	315	2140	7.63	6.59	2.03	13.39
5	500	6510	9.21	2.34	1.62	3.79
6	315	1940	6.91	0.6	1.69	1.02
7	400	4080	9.02	0.86	2.06	1.77
7	400	4080	9.02	3.89	2.06	8.01
8	400	4080	9.02	0.97	2.06	2
Відведення						
№ участку	Ф,мм -<	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Дин.тиск	КМС	R _м ,Па
2	800-90	16510	9.12	50.36	0.35	17.63
4	315-90	2140	7.63	35.2	0.35	12.32
7	400-90	4080	9.02	49.21	0.35	17.22

Трійники						
№ участку	Ф ствола,мм- відведення,мм	Розхід, м3/год	Швидкість, м/с	Дин.Тиск	КМС	R _м ,Па
1	1000-800	19130	10.57	67.61	0.49	32.99
2	800-800	16510	9.12	50.36	0.26	13.03
3	800-800	13810	7.68	35.65	0.3	10.57
4	800-630	11270	10.04	61.02	0.36	21.97
5	630-630	8650	7.71	35.95	0.39	13.94
6	1000-630	10100	9	49.01	1.33	65.02
7	630-500	8160	11.54	80.63	0.31	25.38
0	800-315	2620	9.34	52.76	1.37	72.19
1	800-315	2620	9.34	52.76	1.37	72.44
2	800-315	2620	9.34	52.76	1.37	70.042
3	630-315	2620	9.34	52.76	1.37	72.5
4	630-315	2140	7.63	35.2	Нерозрахунковий	-
5	630-500	6510	9.21	51.32	Нерозрахунковий	-
6	630-315	1940	6.91	28.93	1.21	35.12
7	500-400	4080	9.02	49.21	0.65	31.87
8	500-400	4080	9.02	49.21	1.25	61.73
Разом:						741.9