

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

	<u>О. КОЛЛАРОВ</u>
(підпис)	(ініціали, прізвище)
«__» _____	2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
БАКАЛАВРА

на тему Вибір електромеханічного обладнання та розробка системи
регулювання вентиляції промислової будівлі

Виконав студент 4 курсу, групи ЕЛК-20
(шифр групи)

спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(шифр і назва спеціальності підготовки)
та електромеханіка»

<u>Олександр КОБЕЛЬСЬКИЙ</u> (ім'я та прізвище)	 (підпис)
Керівник <u>ст. викл. каф. ЕлІн Павло БЕЛИЦЬКИЙ</u> (посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)	 (підпис)
Рецензент _____ (посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)	 (підпис)

Нормоконтроль:	Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.
<u>Е. НЕМЦЕВ</u> (підпис)	Студент _____ (підпис)
_____ (дата)	_____ (дата)

ЛУЦЬК – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Олександр КOBЕЛЬСЬКОМУ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Вибір електромеханічного обладнання та розробка системи регулювання вентиляції промислової будівлі

керівник роботи _____ Павло БЕЛИЦЬКИЙ

(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 03 червня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи: Промислова будівля –швейний цех. Кількість співробітників – 12. Кількість швейних машин – 12. Розміри цеха: ширина 6 м, довжина 8 м, висота 4 м.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

1. Дослідження систем вентиляції

2. Розробка та розрахунок схеми вентиляції Вибір обладнання

3. Моделювання електромеханічної системи вентиляції

4. Розробка питань з охорони праці

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень, якщо передбачається)
Вісім слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1–3	П. В. Белицький, ст. викл.		
Розділ 4	О. Ю. Колларов, зав. каф.		
Нормоконтроль	Е. М. Немцев, ст. викл. каф.		

7. Дата видачі завдання 29 квітня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	29.04–09.05.24	
2.	Розділ 2	10.05–19.05.24	
3.	Розділ 3	20.05–29.05.24	
4.	Розділ 4	30.05–11.06.24	
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			

Студент _____
(підпис)

Олександр КОБЕЛЬСЬКИЙ _____
(ім’я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Павло БЕЛИЦЬКИЙ _____
(ім’я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Олександр КОБЕЛЬСЬКИЙ. Вибір електромеханічного обладнання та розробка системи регулювання вентиляції промислової будівлі / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2024.

Дипломна робота складається зі вступу, основної частини, яка включає три розділи, висновків, переліку джерел посилання та двох додатків.

У першому розділі приведений огляд принципу організації вентиляції промислових будівель, розглянуті основні поняття та визначення, досліджено призначення вентиляції, вивчено види вентиляційних систем, надані вичерпні відомості про якість повітря та середовища в приміщенні, сформульовані вимоги до вентиляції будівель, розглянуто теперішній стан та перспективи вентиляційних систем будівель..

У другому розділі проведений розрахунок вентиляції швейного цеха, визначені параметри зовнішнього і внутрішнього повітря, розрахований повітрообмін виробничої будівлі надходження та втрати тепла, за отриманими показниками витрати повітря обраний вентилятор, його приводний двигун та перетворювач частоти.

У третьому розділі проведено моделювання електромеханічної систем вентиляторної установки, розглянуто замкнуті системи частотного керування, визначені параметри схеми заміщення, розраховані параметри схеми моделі системи ПЧ-АД, досліджено роботу системи шляхом моделювання.

Ключові слова: вентилятор, повітрообмін, якість повітря в приміщенні, асинхронний двигун, електропривод, перетворювач частоти, електромеханічна система, витрата повітря, Simulink, Matlab

ЗМІСТ

	стор.
ВСТУП	7
1 ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ БУДІВЕЛЬ	8
2.1 Поняття вентиляції будівель	8
2.1.1 Визначення вентиляції будівель	8
2.2 Призначення вентиляції будівель	10
2.2.1 Види вентиляційних систем	10
2.2.2 Внутрішній тепловий комфорт	20
2.2.3 Якість повітря в приміщенні	25
2.2.4 Якість середовища в приміщенні і продуктивність	28
2.3 Вимоги до вентиляції будівель	28
2.3.1 Ефективність вентиляції	29
2.3.2 Параметри вентиляції (швидкість вентиляції, розподіл повітряного потоку та напрямок повітряного потоку)	30
2.3.3 Баланс між ефективністю вентиляції та енергоефективністю	34
2.3.4 Сучасні технології вентиляції	35
2.4 Сучасна та майбутня вентиляція	37
2.4.1 Вплив властивостей будівлі на ефективність вентиляції	37
2.4.2 Міська вентиляція	39
2.4.3 Майбутнє вентиляції	40
2 РОЗРАХУНОК ВЕНТИЛЯЦІЇ	43
2.1 Розрахункові параметри зовнішнього і внутрішнього повітря	43
2.2 Розрахунок повітрообміну для швейного цеху	43
2.3 Вибір вентилятора, приводного двигуна, перетворювача частоти	52
3 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯТОРНОЇ УСТАНОВКИ	58
3.1 Замкнені системи частотного керування	58
3.2 Визначення параметрів схеми заміщення	59
3.3 Розрахунок параметрів схеми моделі системи керування ПЧ-АД	65

3.4 Дослідження розробленої системи шляхом моделювання	67
ВИСНОВКИ	69
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	70
ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ	71
ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА	76

ВСТУП

Система вентиляції будівель вводить свіже повітря в приміщення або обробляє внутрішнє повітря, щоб видалити забруднюючі елементи та підтримувати якість повітря в приміщенні на задовільному рівні. Звичайна вентиляційна система зазвичай складається з компонентів розподілу повітря, компонентів очищення повітря, мережі повітроводів та рідинної техніки. Вентиляція будівель широко застосовується для видалення забруднювачів у повітрі/надлишкового тепла та покращення якості повітря в приміщенні. Доведено, що вентиляція будівель ефективна для контролю поширення хвороб і забезпечення безпеки в приміщенні, наприклад, при запобіганні передачі аерозолію SARS-CoV-2. Крім того, вентиляція може використовуватися для охолодження/нагрівання будівлі, покращення рівня теплового комфорту та значного зниження споживання енергії.

Типи вентиляції будівель можна класифікувати на природну вентиляцію, механічну вентиляцію та гібридну вентиляцію.

Типова система MV складається з компонентів розподілу повітря в приміщенні, компонентів очищення повітря, мережі повітроводів та рідинної техніки. Для компонентів розподілу повітря в приміщенні архітектурний дизайн, просторове планування, розташування дифузорів та швидкість вентиляції визначають шаблон повітряного потоку в приміщенні та ефективність вентиляції. Для компонентів очищення повітря використовуються різні пристрої для видалення/дезінфекції часток, газоподібних забруднювачів (наприклад, летких органічних сполук, озону) та біологічних аерозолів. Для мережі повітроводів використовуються повітроводи, з'єднувачі та заслінки.

В якості приводного двигуна вентиляторної системи найчастіше використовується асинхронний двигун з живленням від перетворювача частоти..

1 ПРИНЦИПИ ОРГАНІЗАЦІЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ БУДІВЕЛЬ

2.1 Поняття вентиляції будівель

2.1.1 Визначення вентиляції будівель

Вентиляційна система призначена для поліпшення забрудненого внутрішнього повітря шляхом введення свіжого повітря або обробки внутрішнього повітря з метою підтримання якості повітря в приміщенні і теплового комфорту на задовільному рівні, що відповідає стандартам житлових або промислових приміщень. Звичайна вентиляційна система зазвичай складається з компонентів розподілу повітря, компонентів очищення повітря, мережі повітропроводів і машинного обладнання.

До розвитку сучасних вентиляційних систем, якість повітря в приміщенні контролювалася природною вентиляцією, яка є пасивним методом вентиляції в архітектурному проектуванні. Через обмеження науки і техніки у людей було відносно мало можливостей регулювати внутрішнє середовище. Вікна відкривалися для впускання свіжого повітря для охолодження і очищення повітря, оскільки печі та радіатори були основними джерелами тепла в холодну погоду. Відкриті печі виробляли дим і пил, що знижувало якість повітря. Крім того, чадний газ (CO), що виробляється внаслідок неповного згоряння, становив серйозну загрозу для здоров'я та життя людей.

Через обмеження природної вентиляції щодо регулювання внутрішнього середовища була винайдена механічна вентиляція, яка стала основним методом вентиляції. До 1950-х років постачання дешевого енергоносія та широке використання кондиціонування повітря мали глибокий вплив на тип і проектування будівель. Здатність механічно контролювати внутрішню температуру і вологість усунула обмеження, з якими стикалися архітектори щодо типу та проектування будівель і віконних прорізів. Архітектори та інженери більше не були обмежені традиційними будівлями, що покладалися на природну вентиляцію. Вікна із завісами стали звичними для забезпечення більшої кількості денного світла всередині приміщень. Однак великі площі вікон із завісами

збільшують теплоприток від сонця, що підвищує навантаження на систему кондиціонування повітря.

Енергетична криза і деградація навколишнього середовища також змусили людей переоцінити існуючі методи вентиляції. Люди усвідомили необхідність економії енергії і почали зосереджуватися на зменшенні глобального споживання енергії шляхом зниження енергоспоживання для опалення, охолодження і вентиляції в будівлях. Запропоновані рішення здебільшого спрямовані на поліпшення рівня ізоляції будівлі та зниження інфільтрації повітря шляхом герметизації будівлі. Іншими словами, головною метою є зменшення втрат тепла шляхом підвищення ізоляції будівлі та зниження небажаної природної вентиляції. Однак розвиток енергоощадних будівель значно підвищує герметичність будівель, і кількість повітря, що потрапляє всередину будівель, мінімізується для зниження енергоспоживання. У поєднанні з використанням різних нових будівельних і декоративних матеріалів, внутрішні забруднювачі не можуть швидко видалятися, і виниклі проблеми зі здоров'ям привернули підвищену увагу. Отже, попит на "здорові будинки" зріс. Проблеми зі здоров'ям у житлових будівлях загострилися за останні кілька десятиліть. Оскільки синдром хворих будівель був офіційно визначений Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) у 1970-х роках, нові стандарти вентиляції були встановлені або існуючі переглянуті для вирішення проблем погіршення якості повітря в приміщенні. В даний час вентиляція займає важливе місце в процесі проектування будівель, оскільки люди мають високі стандарти якості повітря в приміщенні і комфорту. Однак більшість стандартів вентиляції зосереджуються лише на мінімальному рівні якості повітря в приміщенні і теплового комфорту. Зі зростаючим акцентом на екологічно чисті методи щодо проектування вентиляції, необхідно враховувати енергоефективність вентиляційних систем. Дизайнери та оператори повинні бути знайомі з вимогами до вентиляції та енергоефективності, щоб досягти задовільної роботи вентиляційних систем, що може створювати великі виклики для проектування та контролю. Новітні вентиляційні системи, у поєднанні з інтелектуальним управлінням, необхідні для балансування якості повітря в приміщенні та

енергоефективності. Крім того, новітні вентиляційні компоненти та передові методи моделювання також надають рішення для вирішення компромісу між високою якістю повітря та енергоефективністю.

2.2 Призначення вентиляції будівель

Вентиляція будівель необхідна для здоров'я мешканців з наступних причин: (а) для забезпечення надходження свіжого повітря ззовні у будівлю для підвищення вмісту кисню у повітрі; (б) для видалення надлишкового тепла і вологи з повітря з метою забезпечення теплового комфорту мешканців; та (в) для видалення забруднювачів з повітря, що виділяються людьми та будівельними матеріалами. Ми проводимо більше 90% свого часу в приміщеннях, включаючи домівку, офіс, школу та інші громадські заклади. Людині потрібно більше ніж 10 000 літрів свіжого повітря щодня. Окрім забезпечення базових фізіологічних потреб людського організму, вентиляція будівель відіграє важливу роль у забезпеченні внутрішнього теплового комфорту та якості повітря в приміщенні. Якість внутрішнього середовища є надзвичайно важливою для здоров'я і добробуту людей. Види внутрішніх забруднювачів включають біологічні забруднювачі (люди, домашні тварини та рослини), тверді частки (пил, тютюнові) та хімічні забруднювачі (будівельні матеріали, косметика). Оскільки органи чуття людини не здатні виявляти шкідливі речовини, їх шкода для організму залишається прихованою і латентною. Отже, ми повинні усвідомлювати важливість вентиляції будівель та нашу мотивацію створити комфортне, здорове і безпечне внутрішнє середовище.

2.2.1 Види вентиляційних систем

Метою вентиляції будівель є рециркуляція внутрішнього повітря і обмін внутрішнього та зовнішнього повітря, що вимагає наявності рушійних сил. Існує дві категорії вентиляційних систем: природні вентиляційні системи, які працюють за рахунок теплового або вітрового тиску, та механічні вентиляційні

системи. Природна вентиляція також називається пасивною вентиляцією, на відміну від активної вентиляції, яка покладається на механічне обладнання для приведення вентиляторів у дію.

2.2.1.1 Природні вентиляційні системи

Природна вентиляція використовує тепловий тиск, викликаний різницею щільності повітря між внутрішнім і зовнішнім середовищем, або вітровий тиск для введення зовнішнього повітря з метою вентиляції. Механічна потужність не потрібна.

Фізичний механізм природної вентиляції залежить від різниці тиску на отворах огорожувальної конструкції будівлі. Різниця тиску викликана наступними факторами:

1. вплив вітру;
2. різниця температур між входом і виходом повітря;
3. комбінація обох.

Згідно з фізичним механізмом, природну вентиляцію можна розділити на вентиляцію, викликану вітром, і вентиляцію, викликану підйомною силою. Вітер створює тиск навколо будівлі, викликаючи вентиляцію, спричинену вітром (див. рисунок 2.1). Різниця тиску приводить повітря в периферійну зону навітряного боку (зона позитивного тиску) будівлі, а повітря виходить з будівлі через отвір на підвітряній стороні (зона негативного тиску). Ефект тиску вітру на будівлю в основному визначається формою будівлі, напрямком вітру, швидкістю вітру та навколишнім середовищем. Ці фактори впливають на коефіцієнт тиску. Окрім коефіцієнта тиску, середня різниця тиску на огорожувальній конструкції будівлі також залежить від середньої швидкості вітру на висоті будівлі з навітряного боку. Щільність внутрішнього повітря залежить від атмосферного тиску, температури та вологості.

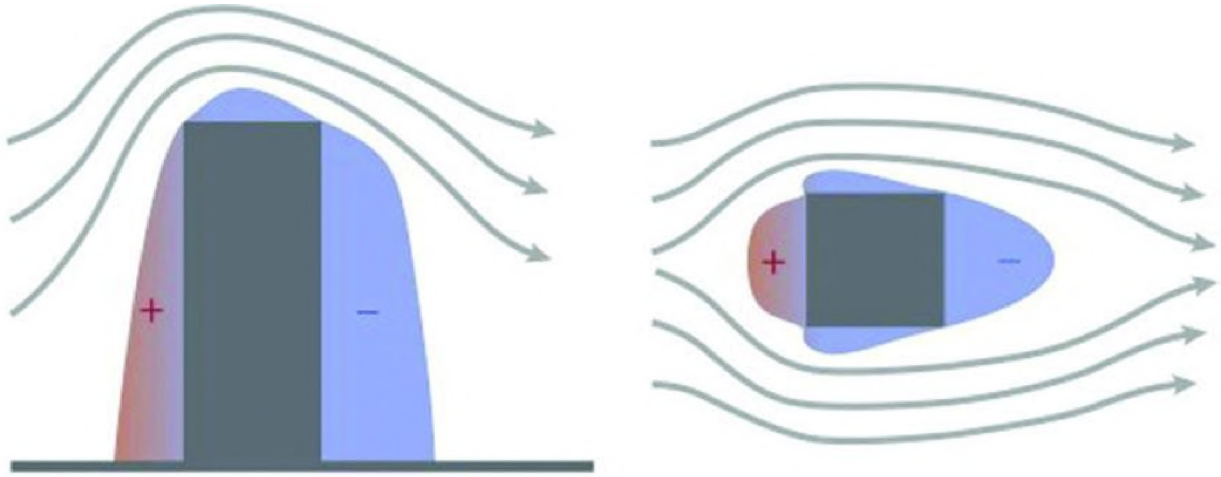


Рисунок 2.1 – Вплив вітру на розподіл тиску навколо будівель

Підйомна сила може створювати вентиляцію (також відому як "ефект димоходу") через різницю щільності, викликану змінами температури і висоти всередині та зовні будівлі або між певними зонами. Різниця тиску, створена підйомною силою, в основному залежить від висоти димоходу (різниці висот між впускним і випускним отворами) та різниці щільності повітря, яка залежить від температури і вмісту вологи в повітрі. Зовнішня температура має бути нижчою за внутрішню температуру для досягнення вентиляції, викликані підйомною силою, за відсутності вітру. Коли температура внутрішнього повітря перевищує зовнішню температуру, у нижній частині будівлі виникає негативний тиск, і повітря засмоктується через отвори на периферії будівлі. (Якщо зовнішня температура дорівнює внутрішній температурі, підйомна сила все одно виникає через внутрішнє навантаження.) Коли повітря проходить через будівлю, воно нагрівається внутрішнім навантаженням і людьми в будівлі. Різниця щільності, викликана різницею температур між внутрішнім і зовнішнім середовищем, створює різні градієнти тиску в будівлі. Зона надлишкового тиску на вершині будівлі виводить повітря з отвору будівлі (оскільки повітря рухається з області високого тиску до області низького тиску). Однак на певній висоті будівлі внутрішній тиск дорівнює зовнішньому тиску. Цей рівень називається "нейтральним рівнем" або "рівнем нейтрального тиску" (див. рисунок 2.2).

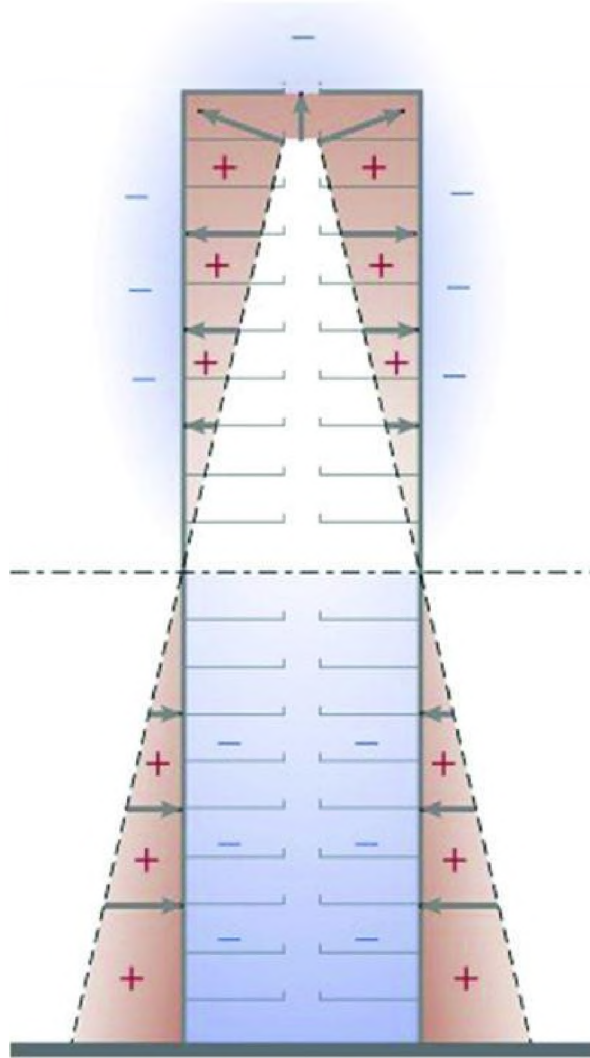


Рисунок 2.2 – Діаграма теплової плавучості висотних будинків з різними градієнтами тиску всередині будівлі, спричиненими різницею температур у приміщенні та на вулиці

Різниця температур між впускним і випускним повітрям необхідна для вентиляції, викликаній підйомною силою. Слід зазначити, що коли зовнішня температура повітря значно вища за внутрішню температуру будівлі, виникає “ефект зворотного тиску”. У цій ситуації повітря може надходити у верхні частини будівлі та виходити з нижніх зон; цей зворотний ефект важко контролювати. Нарешті, слід зазначити, що дві рушійні сили природної вентиляції (вітер і підйомна сила) можуть виникати окремо, але зазвичай виникають разом. У спокійну погоду без вітру тепла підйомна сила зазвичай є домінуючою рушійною силою, тоді як у вітряну погоду різниця тиску, створена вітром, зазвичай є основною рушійною силою.



Рисунок 2.3 – Одностороння вентиляція

Згідно з режимом повітряного потоку, природні вентиляційні системи можна поділити на наступні типи:

1. Одностороння вентиляція. Свіже повітря надходить у приміщення через отвір і виходить на тій самій стороні. Якщо глибина приміщення становить до 2,5 рази його висоти, ця стратегія може ефективно вентилювати простір (рис 2.3). Рушійною силою односторонньої вентиляції є різниця температур між повітряним впуском на нижньому рівні та виходом на верхньому рівні, що викликає рух повітря. Коли вентиляційні отвори розташовані на різних висотах, ефект підйомної сили також може сприяти односторонній вентиляції.

2. Перехресна вентиляція. Перехресна вентиляція виникає через різницю тиску між отворами на обох сторонах (повітря рухається з навітряного боку на підвітряний бік). Вона покладається на повітряний потік між двома сторонами огорожувальної конструкції будівлі. Глибина приміщення не повинна перевищувати п'ятикратну висоту (рис. 2.4) для досягнення ефективної вентиляції. Ефект підйомної сили також може спричиняти конвективну вентиляцію, коли є високий відкритий простір (наприклад, атриум).

3. Багатошарова вентиляція. Свіже повітря надходить у будівлю на нижньому рівні і виводиться на верхньому рівні через різницю температур, щільності та тиску між внутрішнім і зовнішнім середовищем або між різними

зонами в будівлі. Багатошарова вентиляція часто використовується в будівлях з атриумами, димоходами або піднятими конструкціями (рис. 2.5).

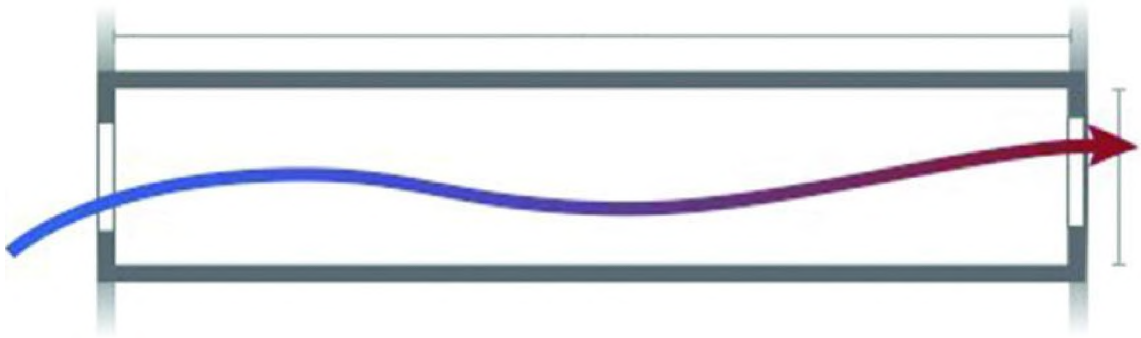


Рисунок 2.4 – Перехресна вентиляція

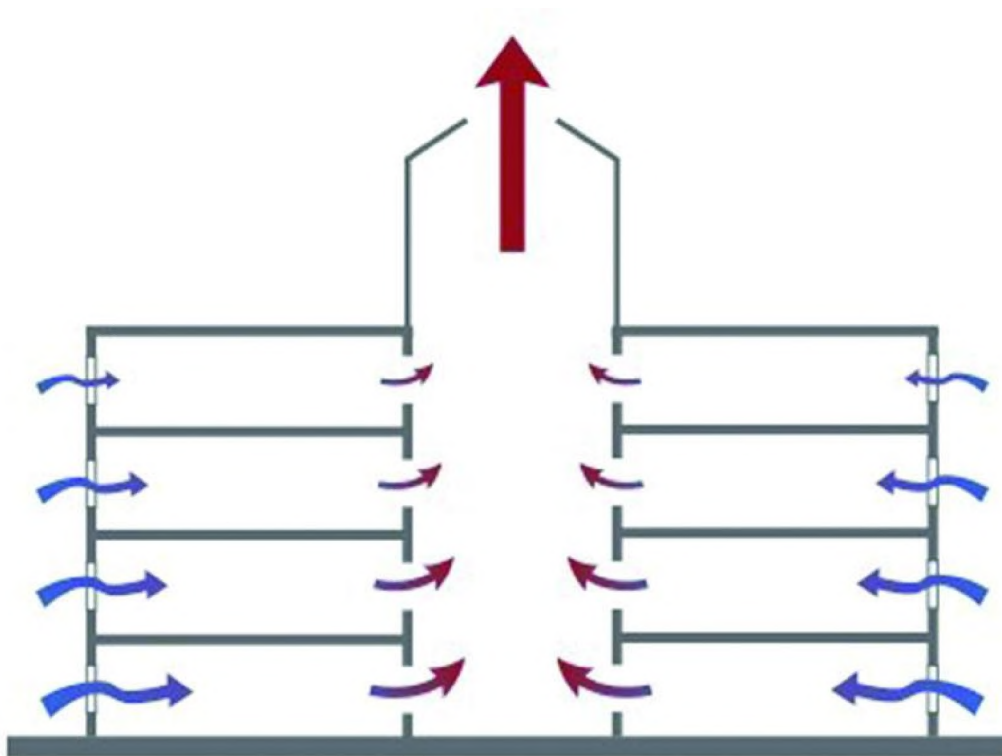


Рисунок 2.5 – Багатошарова вентиляція

Місцеві та кліматичні умови впливають на можливість повністю покладатися на природну вентиляцію для охолодження. Наприклад, використання природної вентиляції може бути непридатним для будівель, розташованих в районах з екстремальними погодними умовами (дуже холодними, гарячими та/або вологими), або в місцях з високим рівнем шуму та забруднення. У цьому випадку слід використовувати відповідну стратегію

змішаної вентиляції, таку як комбінація природної вентиляції (використання вікон та/або отворів) і механічних систем. Обидві системи можуть використовуватися одночасно або перемикатися. Змішані будівлі зазвичай містять складні системи управління будівлею та стратегії контролю, які дозволяють перекривати/чергувати природну вентиляцію і механічні системи охолодження.

2.2.1.2 Переваги та недоліки природної вентиляції

Природна вентиляція є важливою пасивною зеленою будівельною технологією, яка може зменшити споживання енергії для кондиціонування повітря і механічної вентиляції. Ефективність природної вентиляції залежить значною мірою від клімату, типу будівлі, функції, дизайну, стратегії контролю та інших аспектів. Дослідження показали, що природна вентиляція може значно зменшити витрати на енергію. За певних умов тиску вітру або теплового тиску природна вентиляція може забезпечити високі показники вентиляції, підвищуючи комфорт мешканців і якість повітря в приміщенні, зменшуючи споживання енергії для кондиціонування повітря і механічної вентиляції. Окрім високих показників вентиляції, природна вентиляція широко застосовується і задовольняє вимоги до якості повітря в приміщенні. Таким чином, це економічний метод вентиляції, який підходить для житлових будівель, офісних будівель, промислових будівель і високотемпературних майстерень.

Однак сильний і стабільний вітровий/тепловий тиск залежить від багатьох факторів (структури будівлі, напрямку переважаючого вітру і кліматичних умов. Вітровий і тепловий тиск відрізняються в різний час доби. Дизайнерам слід враховувати ці фактори, щоб забезпечити ефективність природних вентиляційних систем, що може становити виклики для проектування та експлуатації вентиляційних систем. Системи механічної вентиляції з низьким споживанням енергії в поєднанні з ефективним відновленням тепла і ефективним зберіганням енергії мають вищі річні показники комфорту порівняно з природними вентиляційними стратегіями і мають відносно низьке споживання

енергії. Тому природні вентиляційні системи зазвичай використовуються для допоміжних цілей.

2.2.1.3 Механічні вентиляційні системи

Тип механічної вентиляційної системи залежить від вимог до проектування внутрішнього середовища будівлі. Механічні вентиляційні системи можна класифікувати за методом подачі повітря на змішану, вентиляцію з витісненням, підлогову розподільчу систему, персоналізовану вентиляцію та інші системи (рис. 2.6).

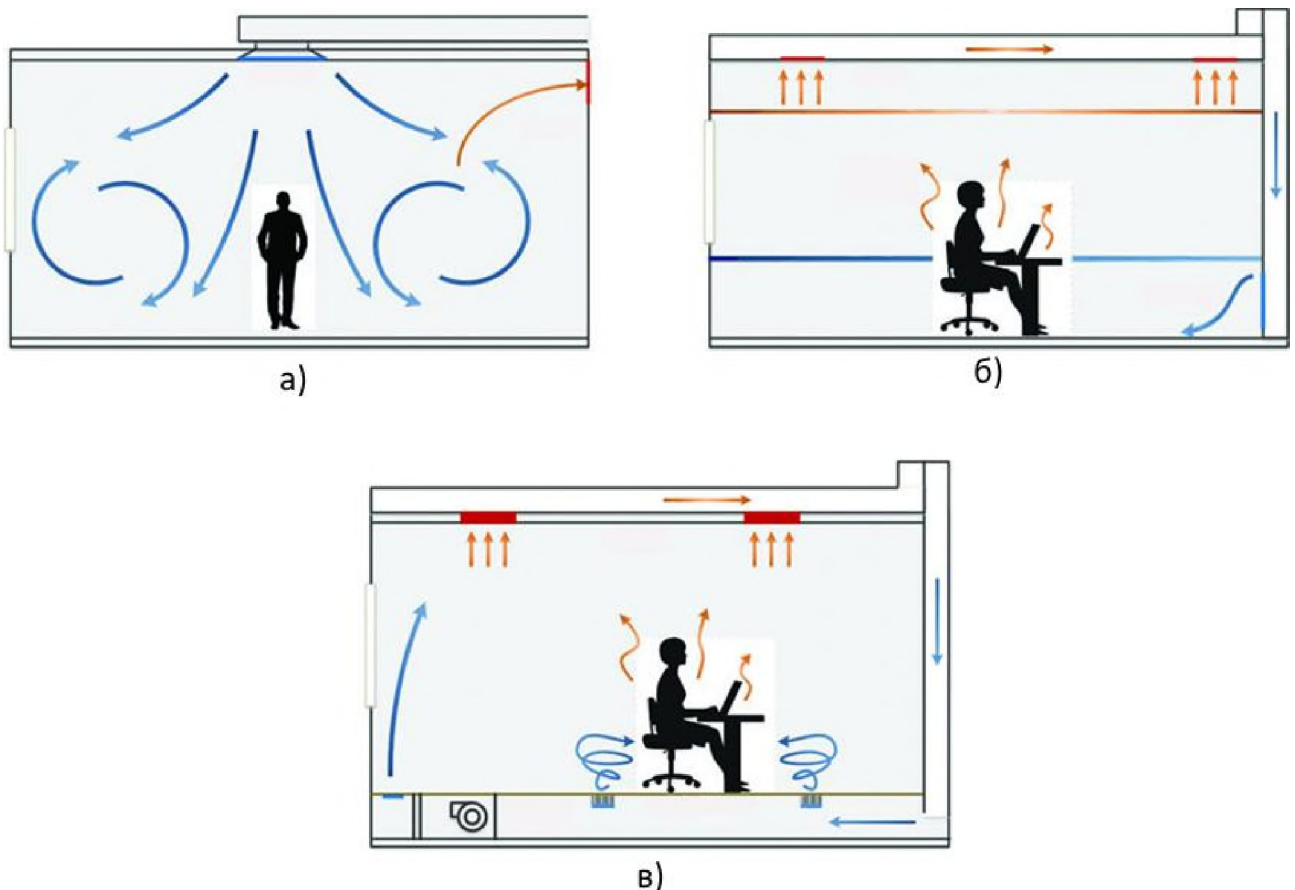


Рисунок 2.6 – Звичайні механічні системи вентиляції: (а) змішана система вентиляції, (б) система вентиляції з витісненням та (в) підлогова розподільча система повітря

Змішана вентиляція

Системи змішаної вентиляції змішують повітря всередині зайнятої зони з зовнішнім повітрям, що подається з високою швидкістю (імпульсом). Завдяки високій швидкості повітряного потоку, повітря всередині зайнятої зони змішується з повітряним струменем і перемішується. Змішування зовнішнього та внутрішнього повітря створює рівномірне внутрішнє теплове середовище та якість повітря. Такі системи забезпечують комфортне внутрішнє теплове середовище.

Влітку повітря, що подається установками обробки повітря, занадто холодне для подачі безпосередньо в будівлю. Тому змішування зовнішнього та внутрішнього повітря створює комфортне теплове середовище. Взимку свіже холодне повітря, що надходить до приміщення, попередньо змішується з теплішим повітрям кімнати для досягнення комфортної температури. Забруднене повітря ефективно розбавляється шляхом змішування його з високошвидкісним свіжим повітрям. Порівняно зі звичайною активною системою кондиціонування повітря, використання гібридного режиму для підтримання умов внутрішнього середовища може заощадити майже половину споживання енергії обладнання. Однак, якщо зовнішнє повітря забруднене, цей тип вентиляційної системи приносить забруднювачі всередину будівлі.

Вентиляція з витісненням

Системи вентиляції з витісненням витісняють внутрішнє повітря, подаючи зовнішнє повітря через стратифікований потік без змішування. Найпоширеніші схеми повітряного потоку – це тепловий шлейф і поршневий потік. Коли існує значна різниця температур між внутрішнім і подаваним повітрям, холодніше свіже повітря замінює тепліше внутрішнє повітря або тепліше повітря замінює холодніше повітря за допомогою підйомної сили як основної рушійної сили процесу, тобто теплового шлейфу. Коли у приміщенні немає або незначна різниця температур, може використовуватися поршневий потік. Метою цього типу є розділення свіжого і забрудненого повітря. Температура і забруднювачі мають різні розподіли. Градієнт температури є лінійним, тоді як забруднювачі розподілені по шарах. Якість повітря у такій системі краща, ніж у змішаній; однак, досягти теплового комфорту складніше через температурний градієнт. У

приміщенні з вентиляцією з витісненням майже половина (49%) мешканців не була задоволена місцевим дискомфортом, викликаним вентиляцією та вертикальною різницею температур.

Підлогова розподільча система повітря

Як новий метод забезпечення кондиціонування та вентиляції для комерційних будівель і центрів обробки даних, підлогова розподільча система повітря привернула увагу дослідників і дизайнерів завдяки своїм потенційним перевагам, таким як високий температурний комфорт та якість повітря в приміщенні, гнучкість планування, зниження витрат протягом життєвого циклу та економія енергії. Системи підлогової розподільчої системи повітря подають кондиціоноване повітря в зайняту зону за допомогою підлогової подачі, розташованої між бетонною плитою та підлоговою системою. Повітря надходить через дифузори на рівні підлоги, а змішане забруднене повітря виводиться через верхні виходи. На відміну від систем з витісненням, немає розшарування забруднювачів, оскільки вентилятори приводять у дію дифузори. Таким чином, змішування внутрішнього повітря і свіжого повітря призводить до нижчої ефективності видалення забруднювачів, ніж у системах з витісненням, але вищої, ніж у системах змішаної. Дифузори в системі підлогової розподільчої системи повітря забезпечують локальний розподіл повітря (з індивідуальним контролем), що призводить до чудового теплового комфорту.

Персоналізована вентиляція

Системи персоналізованої вентиляції (ПВ) мають на меті забезпечити високу якість повітря безпосередньо у зоні дихання кожного мешканця на основі індивідуальних потреб та вподобань. Системи ПВ спочатку були реалізовані в салонах літаків. Останніми роками системи ПВ використовувалися як життєздатна концепція вентиляції для внутрішніх побудованих середовищ. ПВ може покращити комфорт мешканців, зменшити симптоми синдрому хворого будинку і знизити ризик передачі інфекцій між мешканцями. Однак, щоб забезпечити високу ефективність, потрібно ретельно розглянути дизайн (розподіл повітря та контроль) і тип діяльності мешканців (рівень та щільність заселеності).

2.2.1.4 Переваги та недоліки механічної вентиляції

Швидкість вентиляції механічних вентиляційних систем можна регулювати протягом року, і вона не залежить від зовнішнього клімату. Повітря, яке надходить до приміщення, також можна попередньо обробити (нагріти або охолодити, зволожити або осушити) відповідно до вимог. Таким чином, механічна вентиляція є високоперсоналізованою і задовольняє високий попит на якість повітря в спеціалізованих приміщеннях.

Однак для будівель з високими вимогами до швидкості вентиляції потрібні великі енергетичні витрати. Прикладом цього є медичні установи. ВООЗ рекомендує мінімальну швидкість вентиляції 288 м³/год на людину для зменшення ризику інфекції в медичних установах. Більшість механічних систем не задовольняють цю вимогу шляхом розведення внутрішнього повітря. Крім того, змішування внутрішнього і свіжого повітря при відносно низькій швидкості вентиляції може призвести до поширення забруднювачів на решту будівлі за певними схемами повітряного потоку.

2.2.2 Внутрішній тепловий комфорт

Серед п'яти факторів, які впливають на тепловий комфорт людини, три є зовнішніми факторами (температура повітря і випромінювання, вологість і швидкість повітряного потоку), а два – особистими факторами (фізична активність і одяг). Ці п'ять факторів впливають на тепловий баланс тіла людини, що визначається наступним чином:

$$S = M - W - R - C - K - E,$$

де S – тепло, що зберігається в тілі, Вт/м² (одиниця вимірювання така ж для інших змінних); M – метаболічний рівень; W – механічна робота; R – тепловий обмін за допомогою випромінювання, C – тепловий обмін за допомогою конвекції, K –

тепловий обмін за допомогою теплопередачі, а E – втрати тепла через випаровування.

Коли значення S позитивне, людина відчуває тепло, а коли воно негативне – людина відчуває холод. Коли $S=0$, теплоутворення і втрати тепла знаходяться в рівновазі.

Однак теплоутворення і втрати тепла не можуть бути безпосередньо виражені відчуттям холоду або тепла людського тіла. Тому введено поняття теплового комфорту для опису сприйняття людьми холодного і теплого стану навколишнього середовища. Через індивідуальні відмінності важко визначити, чи певний стан є високо чи низько комфортним. Таким чином, було розроблено багато індексів для кількісного визначення теплового комфорту, таких як прогнозоване середнє голосування і прогнозований відсоток незадоволених. Таким чином, було розроблено багато індексів для кількісного визначення теплового комфорту, таких як прогнозоване середнє голосування (predicted mean vote – PMV) і прогнозований відсоток незадоволених (predicted percentage of dissatisfied – PPD). PMV представляє середнє голосування великої групи людей, що піддаються відповідним термічним умовам. Шкала виглядає наступним чином: +3 – жарко, +2 – тепло, +1 – злегка тепло, 0 – нейтрально, -1 – злегка прохолодно, -2 – прохолодно, -3 – холодно. PPD пов'язаний з PMV і базується на індивідуальних відмінностях у відповідь на певні умови. Значення PMV=0 є нейтральним і відображає комфортні умови з асоційованим PPD 5%. PMV +1 або -1 дає PPD приблизно 25%.

Вентиляція повинна підтримувати внутрішню температуру і вологість на комфортному рівні, одночасно відповідаючи стандартам внутрішніх забруднювачів. Комфорт людини залежить від ступеня активності. Окрім зниження параметрів подачі повітря, охолоджувальний ефект вентиляції на тіло людини можна досягти шляхом збільшення швидкості подачі повітря, оскільки це підвищує швидкість випаровування поту з шкіри. Однак дуже висока швидкість повітряного потоку впливатиме на тепловий комфорт. Рисунок 2.7 показує зони комфорту для різних інтенсивностей людської активності на основі стандарту ISO 7730. Червона область є оптимальною робочою температурою

взимку. Чим вища інтенсивність людської активності, тим нижчою повинна бути температура для досягнення комфортного стану. Тому дизайнери повинні планувати різні умови внутрішньої температури і вологості відповідно до різних функцій будівель, щоб задовольнити різні виробничі та життєві потреби людей. Рисунок 2.8 показує взаємозв'язок між зоною комфорту та температурою, швидкістю повітря і турбулентністю (ДСТУ Б EN ISO 7730:2011)[9].

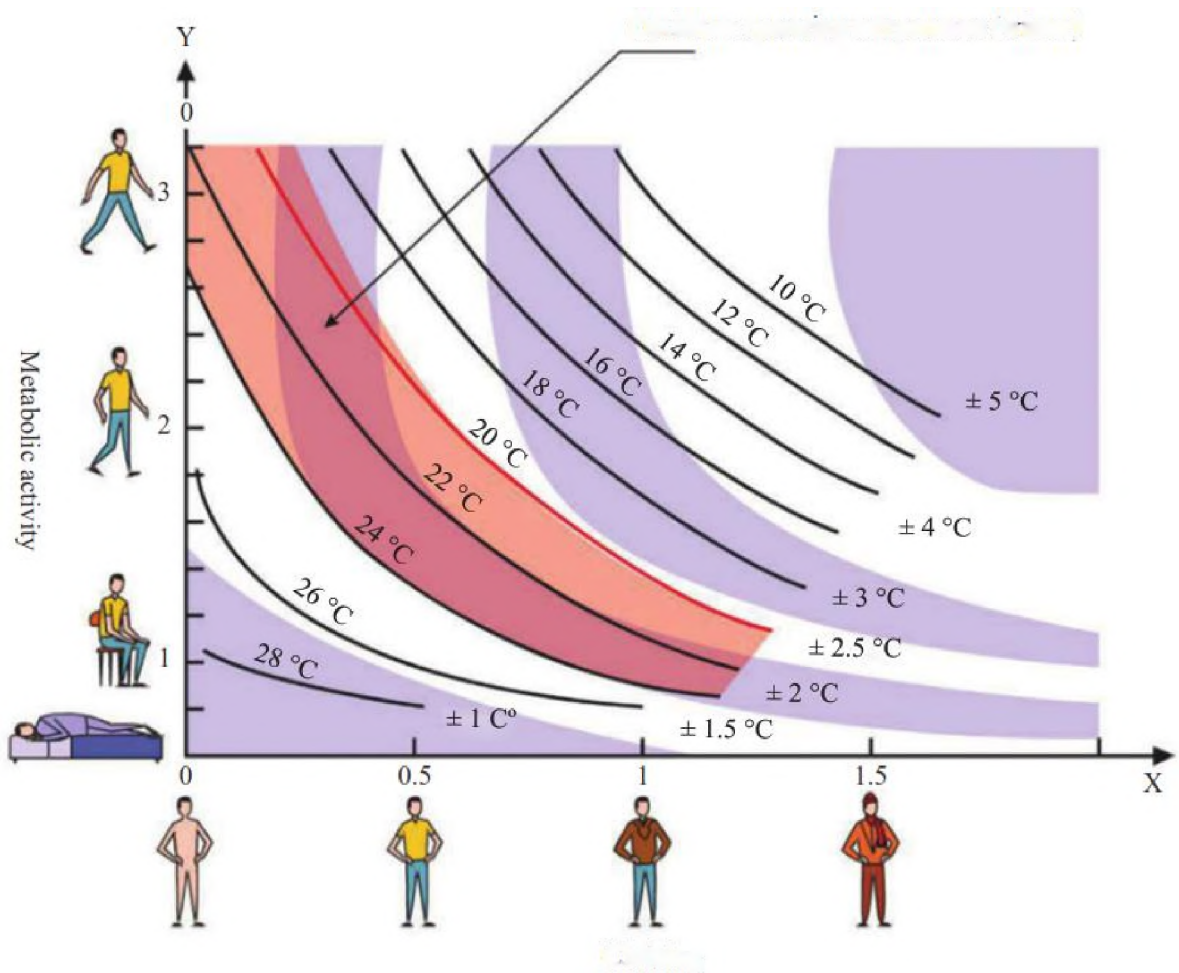


Рисунок 2.7 – Зміни зони комфорту для різної інтенсивності діяльності людини

Стандарти вентиляції змінювалися з часом. Люди визнали, що стандарти вентиляції відстають від вимог сталого розвитку будівельного середовища. Природну вентиляцію або численні вентиляційні технології слід використовувати для досягнення кращого кліматичного контролю в будівлях. Параметри традиційних стандартів теплового комфорту ігнорують культурні,

соціальні і традиційні фактори і не враховують складність взаємодії між людьми та навколишнім середовищем. Люди можуть активно змінювати свою поведінку або поступово адаптуватися до середовища. Нові дослідження показали, що модель теплового балансу не може пояснити комфорт природної вентиляції. Комфорт людини також змінюється в залежності від зовнішніх кліматичних умов, оскільки відчуття комфорту є суб'єктивним і об'єктивно адаптивним. Європейські країни запропонували стандарти адаптивності для будівель з природною вентиляцією у відповідь на цю ситуацію. У стандарті адаптивності немає фіксованого значення комфортної температури; замість цього використовується діапазон комфортних температур із сезонною варіацією. Допустимий діапазон внутрішньої температури пов'язаний із середньою зовнішньою температурою за місяць. Широкий діапазон стандарту комфорту дозволяє дизайнерам проектувати і експлуатувати будівлі для оптимізації теплового комфорту та досягнення економії енергії.

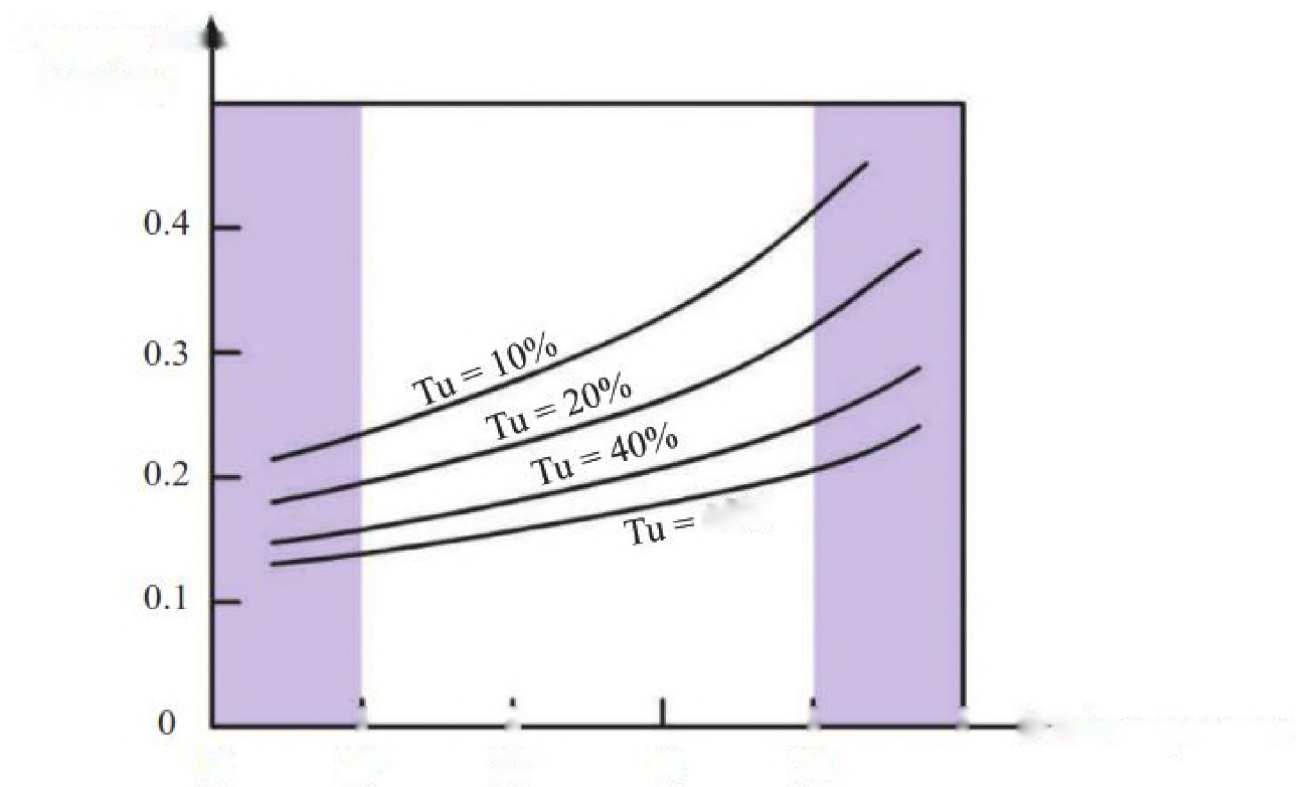


Рисунок 2.8 – ISO 7730 взаємозв'язок між зоною комфорту та температурою, швидкістю повітря та турбулентністю

Для будівель з природною вентиляцією слід використовувати локальний і більш екологічно відповідальний метод оцінки комфорту замість звичайного методу PMV для будівель з кондиціонуванням повітря. Психологічна адаптивність, поведінкова адаптивність і фізіологічна теплова адаптивність є необхідними для оцінки теплового комфорту будівель з природною вентиляцією. У 1990-х роках дослідницька група Passive Cooling Project (PASCOOL), до складу якої входили представники різних європейських країн, провела систематичне дослідження методів природної вентиляції. Було проведено багато експериментальних досліджень, і члени PASCOOL проаналізували різні методи природної вентиляції: односторонню вентиляцію, поперечну вентиляцію, прогнозування повітряного потоку та нічну вентиляцію. Результати забезпечили значний науковий прогрес у цій галузі. Однак моделі, використані у більшості досліджень, такі як багатозонні мережеві моделі, не є достатньо точними. Модель розглядає розподіл внутрішнього повітря як однорідне поле, що унеможливорює прогнозування швидкості та температури повітряного потоку з достатньою деталізацією.

Серед відповідних стандартів, стандарт ДСТУ Б EN ISO 7730:2011 (ISO, 2005) визначає наступне: (а) дифузію нагрітого або охолодженого свіжого повітря без повітряного потоку або дискомфорту; (б) вентиляційне обладнання повинно бути встановлено у місцях, які не генерують вологу або холодний повітряний потік, а також не спричиняють акустичний дискомфорт (шум обладнання, поширення зовнішнього шуму). Цей стандарт також визначає контрольні області, пов'язані з робочою температурою приміщення, вологістю повітря та одягом мешканців.

У 2013 році стандарт American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) 62-2013 запропонував нове визначення прийнятної якості повітря в приміщенні: повітря, в якому немає відомих забруднювачів у шкідливих концентраціях, визначених компетентними органами, і яке не викликає невдоволення у переважної більшості (80% або більше) людей, що піддаються його впливу (BOO3, 2010). Перша частина цього визначення означає, що допустима концентрація відомих забруднювачів

повинна використовуватися як об'єктивний показник; друга частина означає використання людського сприйняття як суб'єктивного оціночного показника. Якість повітря повинна відповідати як об'єктивним, так і суб'єктивним оціночним показникам. Наприклад, якщо відомі забруднювачі не перевищують допустимої концентрації, але більше 20% людей в середовищі не задоволені якістю повітря, то якість повітря в цьому середовищі є неприйнятною. Суб'єктивна та об'єктивна оцінка якості повітря відображає поточні суворіші вимоги до якості повітря.

2.2.3 Якість повітря в приміщенні

ВООЗ визначає "здоров'я" як фізичну, психічну і соціальну адаптацію людини в доброму стані, а не просто відсутність хвороби. Відповідно, "здоровий будинок" має забезпечувати, щоб мешканці перебували в стані "фізичного і психологічного благополуччя". Якість повітря в приміщенні, термічне середовище, акустичне середовище, світлове середовище та інші аспекти "здорового будинку" повинні відповідати вимогам. Підтримання хорошої якості повітря в приміщенні є основною вимогою "здорового будинку". Найбільш базовим і ефективним засобом підтримання хорошої якості повітря в приміщенні є вентиляція. Вентиляція забезпечує приплив свіжого повітря (обсяг свіжого повітря) та розбавляє і усуває різні забруднювачі в приміщенні. Таким чином, вентиляція будівель має такі функції:

1. Забезпечення потреб у свіжому повітрі.
2. Усунення внутрішніх забруднювачів або запаху.
3. Забезпечення термічного комфорту мешканців.

Небезпечні речовини, що виділяються з будівель, будівельних матеріалів та внутрішнього обладнання або результатів діяльності людини в приміщенні, таких як згорання палива для приготування їжі або опалення, призводять до широкого спектра несприятливих проблем зі здоров'ям і можуть бути навіть смертельними. Забруднювачі повітря в приміщенні включають дрібні та ультрадрібні частки (PM_{2.5}, PM₁₀), формальдегід, леткі органічні

сполуки(ЛОС), грибки, що передаються повітрям, СО, оксиди азоту (NO_x), озон (O₃) і радон. Для деяких забруднювачів не існує безпечних рівнів впливу, як короткострокового, так і довгострокового. Вплив високих рівнів протягом короткого періоду або низьких концентрацій протягом довгого періоду буде становити серйозний ризик для здоров'я мешканців або призведе до смерті. Суворі стандарти та інструкції є надзвичайно важливими для здоров'я людей.

Окрім вже згаданих забруднювачів повітря в приміщенні, слід також враховувати вуглекислий газ (CO₂), оскільки концентрації CO₂ використовувалися протягом десятиліть для характеристики вентиляції будівель та якості повітря в приміщенні.

Багато хвороб пов'язані з офісним середовищем, таких як синдром хворої будівлі. Основні симптоми серед співробітників у сучасних офісних будівлях включають сонливість, подразнення слизових оболонок, головний біль, подразнення очей та сухість шкіри.

Згідно з ВООЗ, 91% населення світу живе в місцях, де рівень забруднювачів повітря в приміщенні перевищує допустимі межі ВООЗ. З огляду на серйозність забруднення повітря в приміщенні та синдром хворої будівлі вентиляція будівель відіграє важливішу роль у здоров'ї людей.

Поширення забруднювачів в основному обумовлене джерелами забруднення, шляхами передачі та приймачами забруднювачів. Серед них найбільш ефективним способом є усунення джерела забруднення. Однак через складність внутрішнього середовища та різноманітність джерел забруднення, крім контролю викидів цих забруднювачів з джерела, вентиляція будівель також є ефективним методом для видалення забруднювачів і розбавлення забруднювачів повітря в приміщенні.

Деякі з згаданих шкідливих речовин, такі як формальдегід, можуть залишатися в приміщенні протягом кількох років. Тому люди будуть зазнавати впливу цих шкідливих речовин протягом тривалого часу. Оскільки органи чуття людини не можуть виявити існування цих шкідливих речовин, їхня шкода для організму людини є прихованою і латентною. Основні хвороби можуть виникнути протягом 10 років або більше, або можуть розвинути вроджені

хвороби новонароджених, викликані генетичними мутаціями та забрудненням вагітних жінок. Діти та люди похилого віку особливо вразливі через їхню слабку стійкість.

Найбільш прямим і ефективним методом зменшення забруднення повітря в приміщенні та покращення якості повітря є збільшення швидкості повітряного потоку в приміщенні та обсягу вентиляційного повітря, а також прискорення викиду забрудненого повітря з приміщення та припливу свіжого повітря ззовні.

На рисунку 2.9 видно, що рівень забруднення повітря в приміщенні зменшується експоненційно зі збільшенням обсягу природної вентиляції. Швидкість повітряного потоку всередині будівлі не повинна бути надто високою, оскільки це призведе до повернення відкладених бактерій і пилу назад в приміщення та негативно вплине на рівень теплового комфорту мешканців (такі як відчуття дії повітряного потоку та різниця температур, викликана нерівномірним повітряним потоком). Тому необхідно знайти найкращий баланс між якістю повітря в приміщенні, ефективністю вентиляції, використанням енергії та тепловим комфортом.

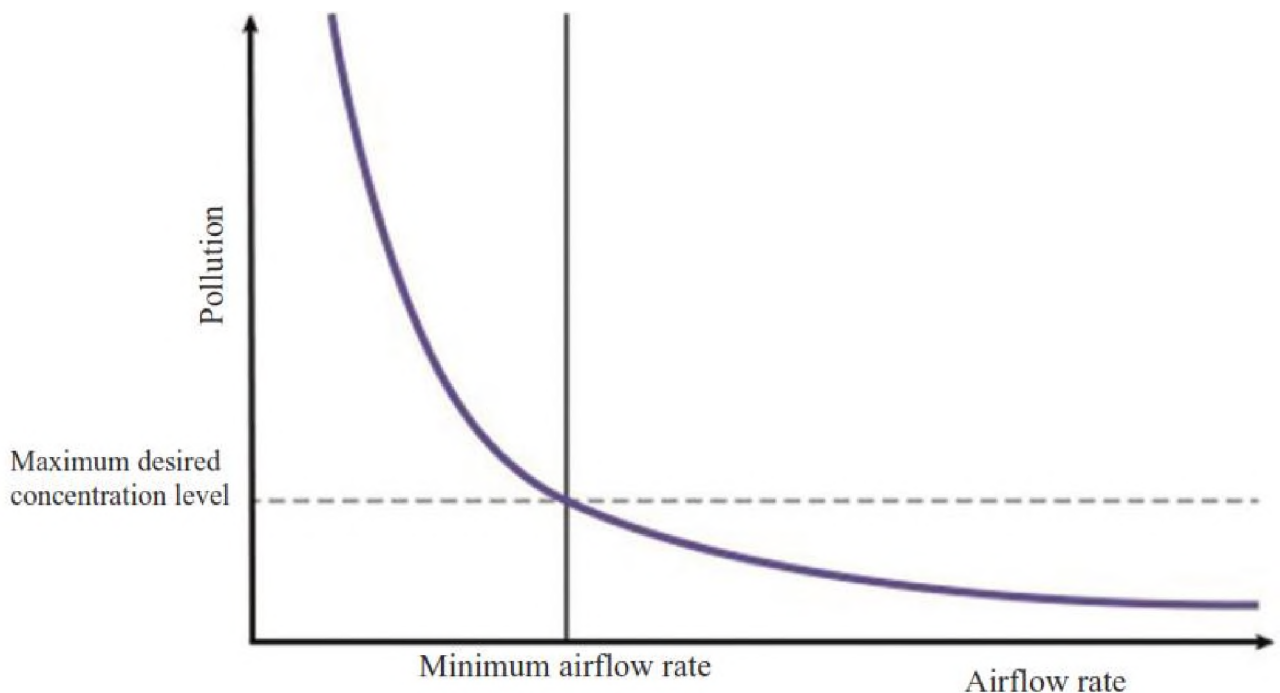


Рисунок 2.9 – Взаємозв'язок між якістю повітря в приміщенні та швидкістю повітря в природних умовах вентиляція

2.2.4 Якість середовища в приміщенні і продуктивність

Температурне середовище, якість повітря в приміщенні, освітленість і акустичне середовище є індексами, які описують якість середовища в приміщенні. Дослідження показали, що умови середовища в приміщенні можуть впливати на продуктивність, ефективність роботи, здоров'я та добробут працівників. Робітники вважають, що основні параметри середовища в приміщенні (візуальне, акустичне і термічне середовище, а також якість повітря) є найважливішими параметрами, що визначають комфорт. Температурний дискомфорт і низька якість повітря в приміщенні можуть негативно впливати на робочу продуктивність. Багато досліджень намагалися кількісно оцінити вплив якості середовища в приміщенні на продуктивність роботи. Важливо підвищити обізнаність про якість повітря в приміщенні шляхом оцінки впливу на здоров'я та врахування скарг працівників, збільшення кількості лікарняних, абсентеїзму та зниження продуктивності. У статті [1] оцінювали комфорт і важкість гострих симптомів здоров'я у 25 осіб, підданих впливу різних рівнів вуглекислого газу (CO_2) і біофільтрів.

Дослідження, проведене у Великій Британії, показало, що здорове офісне середовище може підвищити продуктивність до 20%. Використання теплового розриву між кімнатами для одночасного контролю температури в офісі та кімнаті відпочинку може зменшити час, необхідний для відновлення роботи після відпочинку, що сприяє покращенню концентрації уваги. Отже, важливо створити комфортне термічне середовище і забезпечити адекватну вентиляцію для досягнення оптимальної робочої продуктивності та зниження ризиків для здоров'я, якщо люди проявляють несприятливі симптоми.

2.3 Вимоги до вентиляції будівель

Сталий розвиток, енергозбереження, якість середовища в приміщенні і термічний комфорт є важливими стандартами проектування. У інженерних

застосуваннях ефективність видалення забруднювачів повітря в приміщенні залежить від швидкості вентиляції, шаблону потоку повітря і напрямку потоку повітря. Рішення для видалення забруднювачів повітря в приміщенні через систему вентиляції полягає в знаходженні оптимальної швидкості вентиляції та шаблону потоку повітря при проектуванні вентиляції.

2.3.1 Ефективність вентиляції

Ефективність вентиляції визначається як відсоток зовнішнього повітря, що забезпечується системою опалення, вентиляції та кондиціонування повітря. Це важливо для діагностики проблем якості повітря в приміщенні та проектування будівель. Допускаються варіації в ефективності, з якою зовнішнє повітря розподіляється до мешканців за різних повітряних потоків і температур вентиляційної системи як основа для динамічного налаштування.

Визначення ефективності вентиляції в стійкому стані базується на двох характеристиках вентиляційної системи:

1. Відносна ефективність вентиляції, яка вказує на варіабельність вентиляційної здатності системи між різними частинами кімнати.
2. Абсолютна ефективність вентиляції, яка є здатністю вентиляційної системи зменшувати концентрацію забруднювачів у порівнянні з можливим теоретичним максимумом.

Вентиляційна система розробляється з урахуванням ефективності вентиляції.

Однак у випадках надзвичайних ситуацій, таких як спалах епідемії або біохімічні терористичні атаки, для правильного оцінювання продуктивності вентиляції в будь-який час необхідно всебічно враховувати просторовий і часовий розподіл людей та забруднювачів у приміщенні. Слід враховувати просторово-часові характеристики розподілу людей і концентрації забруднювачів у приміщенні та оцінювати ефективність вентиляції з різних кутів.

Слід зазначити, що мета вентиляції будівель повинна базуватися на відчуттях і комфорті людей у будь-який час. Недоцільно здійснювати проектування вентиляції будівель без врахування об'єкта дослідження. Легко потрапити в пастку проектування вентиляції будівель, просто прагнучи досягти максимальної ефективності вентиляції. Проектувальник має повністю врахувати задоволення потреб мешканців у вентиляції.

2.3.2 Параметри вентиляції (швидкість вентиляції, розподіл повітряного потоку та напрямок повітряного потоку)

2.3.2.1 Швидкість вентиляції

Найпоширеніший індекс, що представляє кількість зовнішнього повітря, яке надходить у будівлю, – це кратність повітрообміну на годину (air change rate per hour – ACH). ACH є мірою частоти зміни повітря в межах визначеного простору:

$$ACH = \frac{V}{Q}, \text{год}^{-1}$$

де V – об'єм приміщення (м^3); Q – швидкість повітряного потоку ($\text{м}^3/\text{год}$).

ACH відноситься до загальної подачі повітря (включаючи свіже повітря та повернене повітря); однак, мінімальна швидкість зміни свіжого повітря має бути вказана для певних місць. Необхідна кратність повітрообміну в вентилятованому приміщенні може значно варіюватися в залежності від призначення будівлі. Відповідно до вимог для персоналу, виробничого процесу та інших функцій, принципи проектування ACH такі: (а) ACH не повинна бути меншою за мінімальний об'єм свіжого повітря, необхідного для персоналу відповідно до санітарних норм або документації; (б) доповнювати повітря, яке споживається при внутрішньому згорянні та місцевій витяжці; та (в) забезпечувати позитивний тиск у приміщенні.

Вища швидкість вентиляції вказує на вищу здатність розбавляти концентрацію забруднювачів повітря. На рисунку 2.10 показано концентрацію

CO₂ для різних значень АСН. Коли АСН вентилязованого приміщення збільшується з 4 до 12 з кроком 2, концентрація CO₂ значно знижується. Зона високої концентрації розташована біля джерела CO₂ (А).

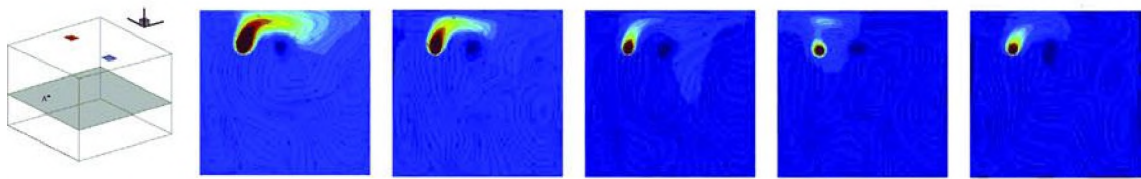


Рисунок 2.10 – Концентрація CO₂ в режимі припливної та зворотньої вентиляції для різних значень АСН

Якщо всі інші фактори залишаються незмінними, збільшення швидкості вентиляції не є найкращим варіантом, оскільки вищі швидкості вентиляції призводять до вищих енергетичних витрат на механічну вентиляцію.[2]

2.3.2.2 Шаблон повітряного потоку

Методи подачі повітря вентиляційної системи визначають шаблон повітряного потоку, наприклад, подача зверху і повернення знизу, подача зверху і повернення зверху, а також подача знизу і повернення зверху. Тип і розмір вентиляційних отворів, параметри поданого повітря та інтер'єр будівлі також впливають на шаблон повітряного потоку, оскільки турбулентність і завихрення виникають, коли рухоме повітря контактує з людським тілом і поверхнями. Таким чином, один і той самий метод подачі повітря може призводити до різних шаблонів повітряного потоку.

Дослідження шаблонів повітряного потоку зазвичай залежать від конкретного випадку. Немає сенсу досліджувати шаблон повітряного потоку без урахування практичного поширення забруднювачів та термічного комфорту мешканців. Метою є знайти метод швидкого видалення забруднювачів, щоб вони не циркулювали локально через завихрення, і свіже повітря могло потрапити в зону перебування людей. На рисунку 2.11 показано концентрації CO₂ для різних

шаблонів повітряного потоку. Вентиляційний режим 2 призводить до мінімального поширення забруднювачів. У вентиляційному режимі 3 забруднювачі розсіюються локально, але площа розсіювання велика.

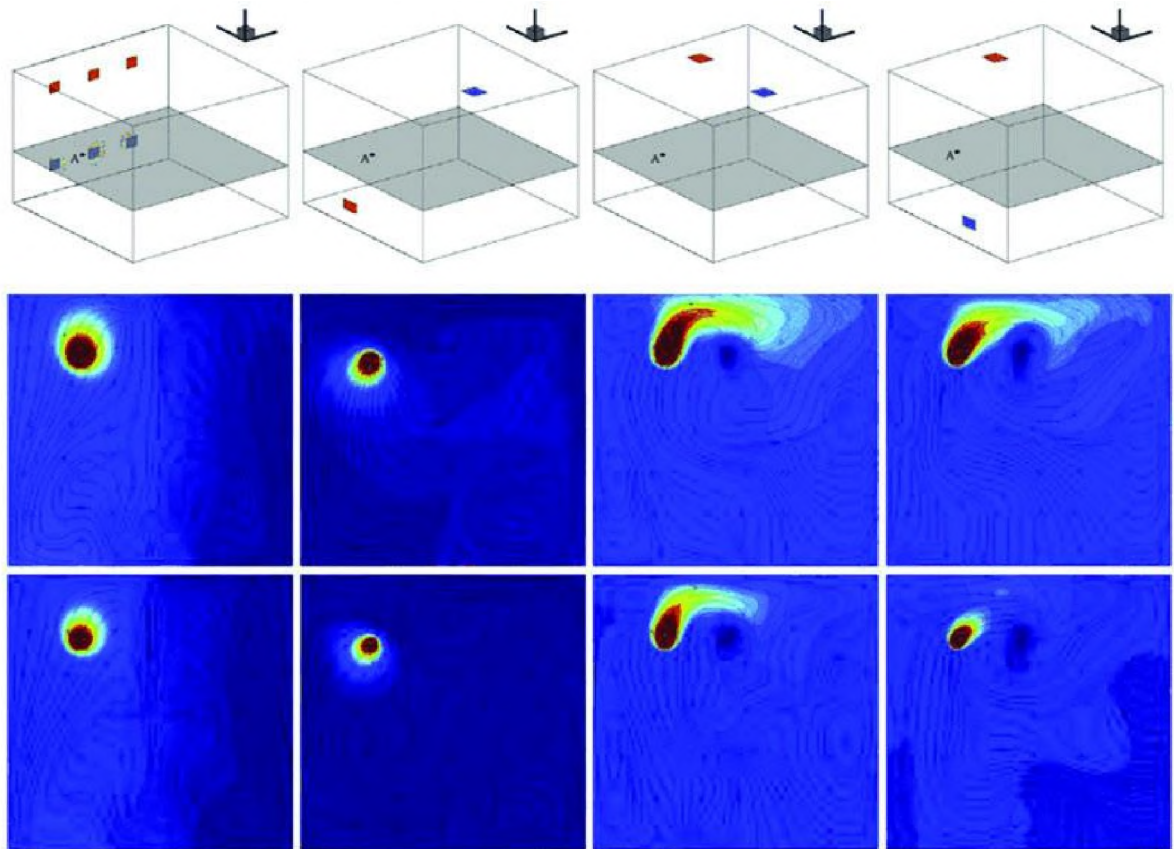


Рисунок 2.11 – Концентрації CO₂ для різних моделей повітряного потоку

Серед різних режимів подачі повітря та шаблонів повітряного потоку вертикальний однонаправлений потік є найбільш рекомендованим режимом вентиляції в кількох керівництвах, оскільки він ефективно видаляє забруднювачі повітря в приміщенні. Цей режим широко застосовується в операційних залах та ізоляційних палатах для зниження впливу смертельних мікробів на пацієнтів. "Ламінарні" потоки вертикального однонаправленого потоку мінімізують вплив завихрень на потік повітря. Однак, впровадження вертикального однонаправленого потоку у великих приміщеннях є непрактичним, оскільки рівномірність швидкості повітря зменшується зі збільшенням ширини приміщення.

2.3.2.3 Напрямок повітряного потоку

На відміну від шаблону повітряного потоку, напрямок повітряного потоку слід розглядати на декількох рівнях у вентиляційній системі. Коли потрібні різні рівні чистоти або висока чистота у буферних зонах, напрямок повітряного потоку необхідно контролювати, щоб запобігти перенесенню аерозолів з частинками між приміщеннями з різними функціями. Такий тип напрямного потоку використовується в приміщеннях, що потребують високої чистоти, таких як біобезпекові лабораторії, багаторівневі чисті кімнати в електронній промисловості та ізоляційні кімнати для повітряних інфекцій.

Напрямок повітряного потоку між кімнатами досягається завдяки різниці тисків. Позитивна різниця тисків запобігає проникненню забруднювачів з навколишнього середовища, тоді як негативна різниця тисків запобігає розповсюдженню забруднювачів у навколишнє середовище. Напрямок повітряного потоку повинен бути від чистої зони до забрудненої зони, щоб забезпечити, що повітря з високою концентрацією забруднювачів не поширюється в зони з низьким рівнем забруднення, як показано на рисунку 2.12.

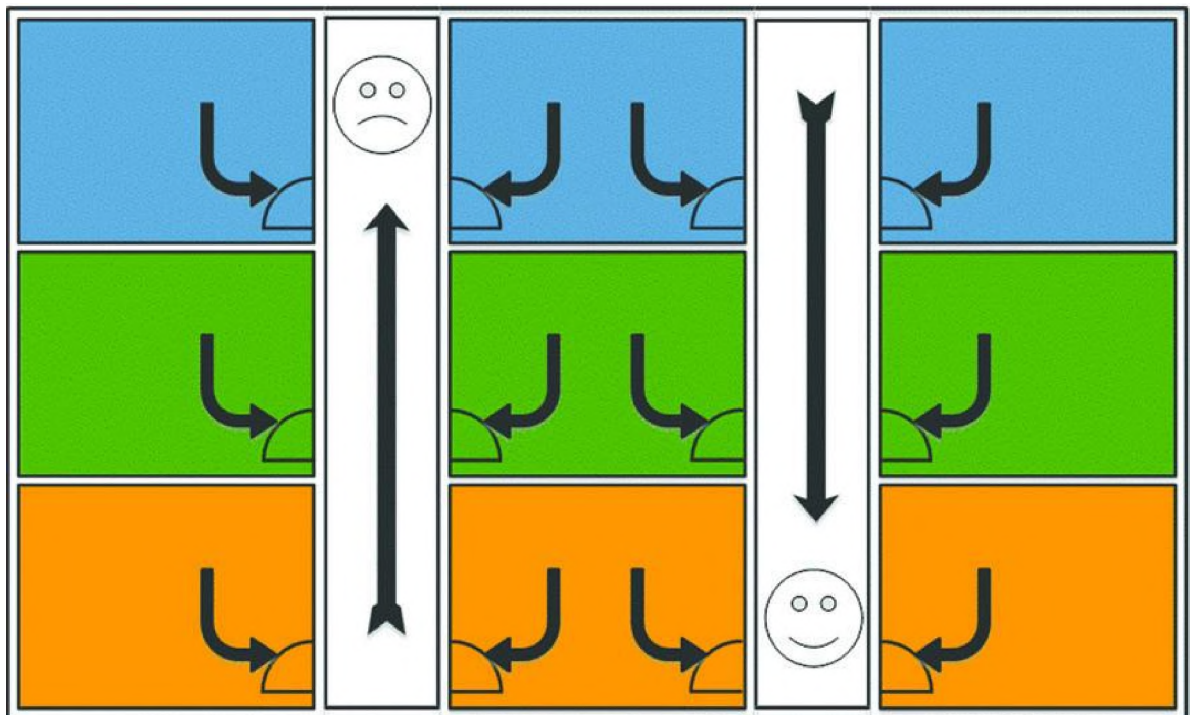


Рисунок 2.12 – Рекомендований напрямок повітряного потоку в системі вентиляції для кількох рівнів чистоти

2.3.3 Баланс між ефективністю вентиляції та енергоефективністю

Як було зазначено раніше, якість внутрішнього середовища може погіршитися через накопичення внутрішніх забруднювачів і погані термічні умови через обмежену вентиляцію та інфільтрацію, що негативно впливає на добробут та продуктивність мешканців. Отже, швидкість вентиляції може бути збільшена для нейтралізації негативних ефектів і для відповідності стандартам, що збільшує споживання енергії. За винятком випадків, коли потрібні високі швидкості вентиляції, механічні вентиляційні системи зазвичай працюють за рекомендованими швидкостями вентиляції, що базуються на рівні заселеності приміщення, помноженому на потребу у вентиляції на особу. Наприклад, вентиляційні системи зазвичай працюють на основі розрахункових рівнів заселеності, а не фактичних рівнів, отриманих за допомогою онлайн-моніторингу, що часто призводить до підвищеного споживання енергії. Отже, існує оптимальний баланс між ефективністю вентиляції, якістю внутрішнього повітря, енергоефективністю та термічним комфортом.

Система змінного об'єму повітря (variable air volume – VAV) була запропонована для вирішення проблеми споживання енергії в механічних вентиляційних системах і змін навантаження через постійний потік холодного/гарячого середовища. Потреба в передачі холоду/тепла регулюється шляхом зміни об'єму повітря для задоволення потреб. Значну кількість енергії можна заощадити, регулюючи швидкість вентиляції за допомогою заслінок або зупинки та запуску вентиляторів замість підтримки постійного розрахункового потоку.

Хоча система VAV збалансовує потреби в опаленні та охолодженні, вона не є оптимальним рішенням для видалення внутрішніх забруднювачів повітря. Одним з можливих рішень є розробка систем вентиляції на основі попиту (demand-controlled ventilation – DCV), енергозберігаючої стратегії, яка контролює швидкість зміни повітря відповідно до рівня заселеності та навантаження внутрішніх забруднювачів. Для більшості систем DCV

концентрація CO₂, яку контролюють за допомогою датчиків, використовується для регулювання швидкості подачі повітря. Концентрація CO₂ підтримується нижче допустимого максимуму (тобто 1000 часток на мільйон) шляхом регулювання швидкості надходження свіжого повітря. У випадку низької або відсутньої заповненості людьми системи DCV можуть заощадити значну кількість енергії.

Однак системи DCV не працюють добре, коли різні забруднювачі виробляються з різними швидкостями. Тому в різних сценаріях необхідно поєднувати різні режими вентиляції. Була розроблена нова стратегія вентиляції (мультимодова вентиляція, MMV) для покращення якості середовища в приміщенні в різних сценаріях. Результати показали, що MMV працює краще, ніж системи з одним шаблоном повітряного потоку, оскільки потрібно менше енергії для охолодження.

Метою систем DCV було забезпечити вентиляцію на основі попиту. Ці системи представляють першу спробу впровадження передових технологій вентиляції. Крім того, постійне вдосконалення режимів вентиляції, технологій, включаючи, але не обмежуючись, компоненти вентиляції та системи управління, також відіграють важливу роль у компромісі між ефективністю подачі повітря та збереженням енергії.

2.3.4 Сучасні технології вентиляції

Нові та перспективні технології надають нові можливості та рішення для задоволення попиту на краще внутрішнє середовище та енергоефективність, однак існує кілька викликів. Компроміс між ефективністю подачі повітря та збереженням енергії, який раніше був неможливий, став можливим завдяки новим технологіям, включаючи передові компоненти та системи вентиляції, оптимізовані технології сенсорного моніторингу та управління системами, саморегульовані системи MMV з використанням штучного інтелекту, та швидке прогнозування внутрішнього середовища з використанням обчислювальної гідродинаміки.

2.3.4.1 Нові компоненти та системи вентиляції

Звичайні системи вентиляції не завжди працюють ефективно через змінну заповненість приміщень і джерела тепла. Шаблон повітряного потоку повинен відповідати реальним умовам джерела тепла та забруднювачів. Нові компоненти вентиляції, такі як регульована мережева система вентиляторів, що складається з декількох малих та регульованих осьових вентиляторів, можуть змінювати шаблон повітряного потоку відповідно до потреб. Як нова система вентиляції, системи радіаційного охолодження та вентиляції забезпечують незалежний контроль температури та вологості в житлових будівлях.

2.3.4.2 Оптимізовані системи сенсорного моніторингу та управління

В результаті швидкого розвитку Інтернету речей технології моніторингу та недорогі сенсори вдосконалили моніторинг внутрішніх умов для задоволення персоналізованих потреб. Стали можливими передові системи DCV, які забезпечують високу ефективність вентиляції та задоволення персональних потреб, такі як системи вентиляції, що базуються на моніторингу CO₂.

2.3.4.3 Штучний інтелект для саморегульованих систем MMV

Звичайні системи MMV вимагали набору впускних або випускних отворів для повітря, що не сприяє легкій установці, експлуатації та обслуговуванню. За допомогою штучного інтелекту можуть використовуватися саморегульовані або малі осьові вентилятори для зменшення кількості впускних або випускних отворів для повітря.

2.3.4.4 Швидке прогнозування та онлайн-керування системами вентиляції

Існує потреба у поєднанні моделювання та моніторингу внутрішнього середовища через неоднорідні характеристики для безпечних, здорових та енергоефективних умов у будівлях. Останнім часом було запропоновано численні моделі швидкого прогнозування, але ці моделі обмежені точністю та швидкістю прогнозування і можуть не відповідати інженерним вимогам.

2.4 Сучасна та майбутня вентиляція

2.4.1 Вплив властивостей будівлі на ефективність вентиляції

При практичному проектуванні необхідно розглядати комплексне використання енергії. Важливо розуміти взаємодію між будівельною структурою та вентиляційним обладнанням для досягнення максимальних енергозбережень. Основні характеристики будівель, які впливають на ефективність вентиляції, наступні:

1. Місцерозташування будівлі. Розташування будівлі впливає на повітряний потік зовнішнього середовища, і "ефект улиці каньйону" є поширеним явищем. Будівлі по обидва боки міських вулиць, особливо високі будівлі, формують улицю-каньйон, що призводить до збільшення швидкості вітру, сильних локальних потоків і складних явищ повітряних вихорів та змінного відступання вгору і вниз.

2. Орієнтація. Хоча орієнтація будівлі не впливає безпосередньо на викиди забруднювачів, вона впливає на навантаження на охолодження та опалення усередині будівлі. Вплив орієнтації на максимальну температуру та теплове навантаження всередині будівлі варіюється для різних випадків.

3. Структура. У зв'язку з освітленням глибина будівлі не повинна перевищувати 15 метрів. Межа глибини будівель з однією природною вентиляційною системою зазвичай становить 6 метрів. Використання вентиляції атриуму може підвищити ефект природної вентиляції. Ефект плавучості природної вентиляції покращується в висотних будівлях через термічний ефект тиску. Якщо це явище використовується, можна досягти енергозбереження без впливу на комфорт.

4. Оболонка будівлі. Ефективні теплові характеристики та повітряність оболонки будівлі є основою для вибору та експлуатації систем вентиляції і кондиціонування (СВіК) для контролю внутрішніх умов. Оболонки, які ефективно вирішують проблеми теплових місткостей і протікання повітря, можуть значно покращити передбачуваність навантаження та знизити піки роботи систем СВіК будівлі. Тому оптимізація структури оболонки будівлі може не лише стійко відповідати вітру, віддуванним частинкам вітру, але також звільнити будівлю від впливу холоду і спеки, стабілізуючи внутрішнє теплове середовище. Покращення продуктивності оболонки будівлі може покращити ефективність системи вентиляції та енергозбереження.

5. Герметичність. Незалежно від того, чи використовується природна вентиляція, чи механічна вентиляція, для оптимального внутрішнього повітряного потоку потрібна добре герметизована будівля. Рівень герметичності впливає на охолодження та опалювання будівлі. Тому інспекція герметичності будівлі повинна проводитися для виявлення протікання повітря.

6. Освітлення сонцем

Теплове надходження від радіації будівель є важливим аспектом для розрахунку навантаження охолодження будівлі. Використання дерев та інших тіньових структур значно зменшує теплове випромінювання сонця. Основні методи вертикального затінення включають зовнішнє затінення (висока ефективність), ролети для вікон та внутрішнє затінення (низька ефективність). Горизонтальні конструкції тіньових відбивачів використовуються головним чином для зменшення нагрівання сонця при високих кутах на висоті, таких як південна стіна влітку. Вертикальні структури затінення використовуються для зменшення теплового нагрівання сонця під низьким кутом, наприклад, сходові та західні стіни. Зовнішнє затінення можна комбінувати з вентиляційними системами для оптимізації проектування вентиляції та зменшення блиску шляхом контролю кута відкриття вікон або шторних стінок.

7. Тип вікон

Зовнішня температура повітря помірна в перехідні сезони, і природну вентиляцію можна забезпечити, відкриваючи вікна. У сувору холодну зиму і

спекотне літо, обсяг інфільтрації повітря слід зменшувати до мінімуму. Однак площу вікон не слід робити занадто великою, оскільки великі вікна мають високе теплове нагрівання від сонця. Таким чином, ефективність вентиляції може бути покращена за допомогою відповідного проектування розміру та положення вікон. Тип скла повинен бути відповідним для збалансування теплового нагріву від сонця, ефективності вентиляції та потреб у освітленні. Структура вікон також впливає на теплове навантаження будівлі. Основні типи вікон включають одно-, дво- та трьохшарові вікна з покриттями або повітряними проміжками. Ідеальне скляне вікно передає довгохвильове випромінювання та відбиває короткохвильове випромінювання. Вибір вікна з покриттям з низькоемісивним покриттям еквівалентне тришаровому вікну з повітряними проміжками. Також слід враховувати рамку вікон та її деталі.

Однак неможливо створити енергоефективні будівлі, використовуючи лише один підхід, наприклад, зниження коефіцієнта теплопередачі зовнішніх стін, дахів та вікон або збільшення товщини теплоізоляції. Окрім відповідного проектування будівлі, також необхідно розглядати вентиляційне проектування будівлі разом з відповідними політиками та вимогами з енергозбереження.

2.4.2 Міська вентиляція

Архітектура, місто та різноманітні простори людського проживання (будівельне середовище) є результатом взаємодії людини та природного середовища до певної міри. З одного боку, людина отримує відповідні умови проживання, перетворюючи природне середовище; з іншого боку, природне середовище реагує на людське суспільство і впливає на вроджені атрибути громадського життя та людської культури. Подібно до впливів внутрішнього середовища, мікроклімат будівельного середовища є критичним, оскільки воно повинне забезпечувати платформу для здорової та комфортної зовнішньої активності для міських мешканців. Однак наша потреба в кращому житті прискорює соціальний розвиток і урбанізацію, змінюючи баланс між природним середовищем і будівельним середовищем. Внаслідок цього виникають проблеми

навколишнього середовища, що турбують, та пов'язані з ними соціальні проблеми, що суперечать намірам переслідування високоякісного життя. Тому межа між будівельним середовищем та природним середовищем є вирішальною для сталого розвитку міст.

Мікроклімат забудованого середовища є важливим аспектом з точки зору безпеки та комфорту. Як важливі елементи міського мікроклімату, міське теплове середовище та вітрове середовище відіграють вирішальну роль у розповсюдженні забруднювачів повітря, пом'якшенні ефекту теплового острова та сприйнятті теплового/вітрового комфорту у відкритих просторах. У процесі урбанізації міські будівлі високої щільності швидко змінюють покриття землі, що збільшує шорсткість поверхні, призводить до зменшення міської вентиляції, а отже, впливає на міське вітрове та теплове середовище. Теплове та вітрове середовище в міських районах є результатом різних зовнішніх факторів (наприклад, місцевий клімат, рельєф і гідрологія) та внутрішніх факторів (наприклад, функції міста, щільність населення, поверхневі структури та міські геометрії). Однак мало які рекомендації або стандарти враховують міське вітрове/теплове середовище, і значно менше досліджень присвячено міському мікроклімату порівняно з темпами урбанізації та будівництва. Майбутні дослідження повинні зосереджуватися на міському тепловому та вітровому середовищі для оптимізації міського мікроклімату та міського планування.

Тому проектувальники повинні враховувати міське теплове/вітрове середовище для досягнення сталого розвитку, створення комфортного міського простору та балансування потреб людей і природи.

2.4.3 Майбутнє вентиляції

Розвиток вентиляції будівель завжди базується на подвійних вимогах покращення енергоефективності та якості довкілля, що впливає на науковий розвиток та вимоги людей до теплового комфорту.

Щодо зусиль щодо покращення використання енергії, технології машинобудування, будівництва, датчиків, керування, комп'ютерів,

мікроелектромеханічних систем та інших відповідних технологій поступово стають зрілішими. Майбутні енергетичні системи також будуть використовувати прогнози метеорологічні дані, наприклад, з погодніх передбачень, для передбачення майбутнього споживання енергії та витрат, щоб зменшити споживання енергії. Загальна симуляція енергоспоживання будівель також широко використовуватиметься для оцінки споживання енергії будівель, щоб люди могли визначити економічну доцільність вентиляції будівель. Оскільки споживання енергії будівель рухається в напрямку нульового споживання енергії, воно буде значно зменшено за рахунок співвідношення вікна до стіни, затінення, теплової якості та вентиляції, що є основними параметрами для оцінки. Низькоенергетична система створює більше гнучкості і нових можливостей для проектування високоефективних будівель. Зменшуючи використання енергії, можна зменшити потребу у первинній енергії, що надає кілька методів опалення та охолодження для будівель з середніми температурами подачі та використовує більше цінних теплових насосів без джерел енергії.

Щодо теплового комфорту, люди також почали мати глибше розуміння концепції "комфорту". Тепловий комфорт людей через шкалу змін клімату може вплинути на теплові характеристики будівель та систем опалення, кондиціонування повітря. Тому дуже важливо реалізувати адаптивну модель теплового комфорту. Правда, що проектування системи вентиляції будівель має відносно повні специфікації та стандарти, але під час очікування розвитку вентиляції будівель баланс між споживанням енергії та комфортом обов'язково досягне кращого балансу. У майбутньому розвитку необхідно розробляти модель поведінки, яка підходить для культури домашнього проживання. Окрім відкриття та закриття вікон, споживання енергії будівель може бути передбачене точніше, якщо можна встановити модель поведінки обладнання для опалення та охолодження.

Розглядаючи історію розвитку вентиляції будівель, вентиляція та термальні процеси будівлі змінилися від розділення до поєднання; основний режим вентиляції змінився від природної вентиляції до механічної вентиляції;

об'єкт вентиляції змінився від всього простору будівлі до дихальної зони; управління вентиляцією змінилося від простого запуску та зупинки всієї системи до місцевого або загального "по вимозі" управління згідно з потребами контрольних цілей. Відповідно, основна форма зміни оболонки будівлі від "прозорого" типу до "закритого" типу. В той же час, те, що принесене розвитком науки і технології, - це попит людей на більш комфортну та чисту внутрішню середовище.

Дивлячись в майбутнє розвиток вентиляції будівель, вентиляція будівель не буде лише вентиляцією, але також має бути інтегрованою з усім процесом архітектурного проектування та будівництва, наприклад, тісне поєднання вентиляції будівель і розумних будинків та взаємодію цифрової інформаційної системи в проектуванні, симуляції та передбаченні робить систему вентиляції будівель і показники мікро середовища чутливими до реального часу реагування та може робити регулювання в реальному часі. Більш повні стандарти та правила мають бути сформульовані для досягнення цілі вищого рівня енергетичної ефективності та комфорту.

2 РОЗРАХУНОК ВЕНТИЛЯЦІЇ

2.1 Розрахункові параметри зовнішнього і внутрішнього повітря

Для розрахунку приймаємо. Промислова будівля –швейний цех. Кількість співробітників – 12. Кількість швейних машин – 12. Розміри цеха: ширина 6 м, довжина 8 м, висота 4 м.

Параметри зовнішнього повітря приймаємо згідно [3] для теплого періоду по параметрам А, для холодного – по параметрам Б. Параметри зовнішнього повітря взяті із забезпеченістю для вентиляції $K=0,92$. Дані зведені до табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Параметри зовнішнього повітря

Період року	Параметри	$t_z, ^\circ\text{C}$	$I, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	$v, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	K
теплий	Б	27,2	54,7	1	0,92
холодний	Б	-8	-4,2	6,3	0,92

В даній промисловій будівлі виконуються роботи легкої важкості (Іб), отже параметри внутрішнього повітря згідно [3] наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахункові параметри внутрішнього повітря

Допустимі				Розрахункові		
Період року	$t_e, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$	$v, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$t_e, ^\circ\text{C}$	$\varphi, \%$	$v, \frac{\text{м}}{\text{с}}$
теплий	21-28	60	0.3-0,1	23	60	0,2
холодний	20-24	75	0.2	22	60	0.1

2.2 Розрахунок повітрообміну для швейного цеху

Обмін повітря в цеху розраховується на розподілення та відведення надлишків тепла, відведення надлишку вологи, а також надлишків вуглекислого газу, і обирається найбільший з них. Розрахунок повітрообміну на розведення надлишків тепла ведеться як для літнього, так і для зимового періодів року.

Розрахунок надлишків тепла виконується за наступними формулами:

$$\Delta Q^{ТПР} = Q_{л}^{ТПР} + Q_{пр}^{ТПР} + Q_{сон.рад.}^{ТПР} + Q_{осв.}^{ТПР} - Q_{ог.}^{ХПР} \quad (2.1)$$

де $Q_{л}$ – тепло, що надходить від людей, Вт;

$Q_{пр}^{ТПР}$ – тепло, що виділяють прилади;

$Q_{сон.рад.}$ – тепло, що надходить від сонячної радіації, Вт; $Q_{осв.}$ – тепло, що поступає від джерел світла, Вт.

$Q_{ог.}$ – тепловтрати через огорожувальні конструкції, Вт.

Тепло, що виділяють робітники:

$$Q_{л}^{ТПР(ХПР)} = k \cdot q \cdot n \quad (2.2)$$

де q – тепловиділення від однієї людини, Вт/люд;

n – кількість людей в цеху, люд;

k – коефіцієнт для чоловіків $k = 1$, для жінок $k = 0,85$.

Для теплого і холодного періоду по 2.2:

$$Q_{л}^{ТПР} = 0,85 \cdot 79 \cdot 12 = 805,8 \text{ Вт}$$

$$Q_{л}^{ХПР} = 0,85 \cdot 86 \cdot 12 = 877,2 \text{ Вт}$$

Надходження тепла від працюючих швейних машин[4]:

$$Q_{шв.м}^{ТПР(ХПР)} = N_{вст} K_n (1 - K_{зав} \eta + K_m \cdot K_{зав} \cdot \eta) \cdot 10^3, \quad (2.3)$$

де $N_{вст}$ – потужність швейної машинки, кВт;

K_n – коефіцієнт попиту, 0,2–0,8;

$K_m = 0,9 - 1$ – коефіцієнт переходу тепла до приміщення;

$K_{зав} = 0,9 - 1$ – коефіцієнт завантаження приладу;

$\eta = 0.75 - 0.92$ – ККД двигуна при повному завантаженні.

$$Q_{шв.м}^{ТПГ(ХПГ)} = 0,4 \cdot 0,4 (1 - 0,9 \cdot 0,9 + 0,85 \cdot 0,9 \cdot 0,9) \cdot 10^3 = 1686,72 \text{ Вт}$$

Вважаємо, що вікна виходять на південний схід та північний захід. З кожного боку є по 3 вікна розмірами 2х1,4 м.

Тепло, що надходить від сонячної радіації:

$$Q_{сон.рад} = (q'F'_0 + q''F''_0) \beta, \quad (2.4)$$

де q', q'' – щільності теплових потоків, що надходять до приміщення через вертикальне скління, Вт/м²;

F'_0, F''_0 – площі світлових прорізів, відповідно, освітлених і не освітлених прямою сонячною радіацією, м²;

β – коефіцієнт теплопропускання сонцезахисних пристроїв (для штор зі світлої тканини $\beta = 0,4$; для штор з темної тканини $\beta = 0,8$; без сонцезахисних пристроїв $\beta = 0,9$).

Для вертикального скління світлових прорізів, частково або повністю освітлених сонячною радіацією

$$q' = (q'_n + q'_p) \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (2.5)$$

Для вертикального заповнення світлових прорізів, що знаходяться в тіні

$$q'' = q''_p K_1 K_2, \quad (2.6)$$

де q'_n, q'_p — кількість тепла від прямої та розсіяної сонячної радіації, Вт/м², що надходить до приміщення в розрахункову годину, приймається в залежності від географічної широти та орієнтації світлових прорізів за довідником. За

розрахункову приймається година, для якої значення q'_n, q'_p є максимальними, результат приведений в табл.2.3;

K_1 – коефіцієнт, що враховує затінення світлових прорізів склінням (табл. 2.5);

K_2 – коефіцієнт, що враховує забруднення скління (табл. 2.6).

$$q' = (448 + 114) \cdot 0.72 \cdot 0.95 = 384,408 \text{ Вт} / \text{м}^2$$

$$q'' = 58 \cdot 0.72 \cdot 0.95 = 39.67 \text{ Вт} / \text{м}^2$$

По формулі 2.4:

$$Q_{\text{сон.рад}} = (384.408 + 39.67) \cdot 0.9 = 3206.04 \text{ Вт}$$

Тепло, що надходить від штучного освітлення:

$$Q_{\text{осв}} = E \cdot F \cdot q_{\text{осн}} \cdot \eta_{\text{осв}}, \quad (2.7)$$

де E – нормована освітленість приміщення, лк;

F – площа підлоги приміщення, м²;

$q_{\text{осв}}$ – питоме тепловиділення від ламп, Вт/м²лк (табл. 2.4);

$\eta_{\text{осв}}$ – частка теплоти, що надходить в приміщення[5]

$$Q_{\text{осв}} = 400 \cdot 72 \cdot 0,06 \cdot 1 = 1728 \text{ Вт}$$

Таблиця 2.3 – Дані про надходження тепла через вертикальне скління

Широта	Години	Надходження тепла через вертикальне скління, Вт/м ²		
		Напря́м вікон		Разом
		Північних схід	Південний захід	
52	5-6	301	0	301
		69	28	97
	6-7	391	0	391
		98	43	141
	7-8	342	0	342
		106	55	161
	8-9	196	0	196
		96	63	159
	9-10	42	0	42
		79	67	146
	10-11	0	14	14
		69	72	141
	11-12	0	150	150
		65	78	143
	12-13	0	272	272
		63	86	149
	13-14	0	333	333
		62	96	158
	14-15	0	429	429
		60	110	170
	15-16	0	448	448
		58	114	172
	16-17	0	328	328
		53	110	163
	17-18	0	272	272
		44	91	135
	18-19	0	116	116
		28	52	80

Таблиця 2.4 – Питомі тепловиділення від світильників

Тип світильника	Питомі тепловиділення для приміщень площею					
	<50		50-200		>200	
	При висоті приміщення					
	<4	>4	<4	>4	<4	>4
Люмінісцентні лампи	0,08	0,2	0,06	0,074	0,056	0,067
Лампи розжарювання	0,21	0,28	0,16	0,2	0,154	0,187

Таблиця 2.5 – Визначення коефіцієнту заповнення світлового отвору

Заповнення світлового отвору	K_1
Скління без стулок:	
- одинарне	1,0
- подвійне	0,9
Скління з металевими стулками:	
- одинарне	0,8
- подвійне	0,72
Скління з дерев'яними стулками:	
- одинарне	0,65
- подвійне	0,6

Таблиця 2.6 – Визначення коефіцієнту забруднення скла

Ступінь забруднення	K_2
Значне	0,85
Помірне	0,9
Незначне	0,95
Чисте скло	1

Тепловтрати через загороджувальні конструкції

$$Q_{\text{заг}}^{\text{ХПР}} = q_{\text{нт}} \cdot V (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}^{\text{с}}), \quad (2.8)$$

де q – питома теплова характеристика будівлі, $\text{Вт} / (\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$:

$$q = 0,4 \text{ Вт} / (\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C})$$

V – зовнішній об'єм будівлі, м^3 ;

$$V = A \cdot B \cdot H = 12 \cdot 6 \cdot 4 = 288 \text{ м}^3,$$

де A, B, H – довжина, ширина та висота будівлі, відповідно, м;

$t_{\text{в}}$ – температура внутрішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$, взята з таблиці 2.2,

$t_{\text{з}}$ – розрахункова зимня температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$, взята з таблиці 2.1.

За формулою 2.8:

$$Q_{\text{заг}}^{\text{ХІР}} = 0,4 \cdot 216 \cdot (23 - (-8)) = 2592 \text{ Вт}$$

Надходження вологи визначається за формулою:

$$W^{\text{ТПР}(\text{ХІР})} = k \cdot w^{\text{ТПР}(\text{ХІР})} \cdot n, \quad (2.9)$$

де w – виділення вологи однією людиною (для теплого періоду 99, для холодного періоду 91);

n – кількість людей, люд;

k – коефіцієнт для чоловіків $k = 1$, для жінок $k = 0,85$.

За формулою 2.9:

– для холодної пори

$$W^{\text{ХІР}} = 0,85 \cdot 91 \cdot 12 = 1092 \text{ г / год}$$

– для теплої пори

$$W^{\text{ТПР}} = 0,85 \cdot 99 \cdot 12 = 1188 \text{ г / год}$$

Діоксид вуглецю, що виділяється людьми

$$V_{\text{CO}_2} = k \cdot v_{\text{CO}_2} \cdot n = 0,85 \cdot 25 \cdot 12 = 255 \text{ л / год},$$

де v_{co_2} – об'єм вуглекислого газу, що виділяється однією людиною, л/год, приймається в залежності від категорії робіт: у стані спокою одна людина виділяє 23 л/год вуглекислого газу, при легкій роботі - 25 л/год, при роботі середньої важкості - 35 л/год, при важкій роботі – 45 л/год.

k – коефіцієнт для чоловіків $k = 1$, для жінок $k = 0,85$.

Результати розрахунків заносимо в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – Результати розрахунків надлишків тепла, вологи і CO_2

Період	Надходження тепла, Вт					Втрати тепла, Вт $Q_{ог}, Вт$	$\Delta Q, Вт$
року	Від людей	від сон. рад.	від освітлення	Від швейних машин	Всього		
ТПР	805,8	3206,045	1728	1686,72	7426,565	0	7426,56
ХПР	877,2	-	1728	1686,72	4291,92	3456	835,92

Температура повітря, яке видаляється визначається за формулою:

$$t_{вид}^{ТПР(ХПР)} = t_{в}^{ТПР(ХПР)} + grad\ t \times (H - h_{зо})$$

де $grad\ t$ – градієнт температури (величина, що враховує зростання температури по висоті цеху);

$H = 4\ м$ – висота цеху;

$h_{зо}$ – висота зони обслуговування $h_{оз} = 2,5\ м$.

$$t_{вид}^{ТПР} = 22 + 1,2 \cdot (4 - 2,5) = 23,8\ ^\circ C$$

$$t_{вид}^{ХПР} = 20 + 0,4 \cdot (4 - 2,5) = 20,6\ ^\circ C$$

Повітрообмін за санітарними нормами на одну людину визначають за формулою

$$G_{\Pi} = \rho l_{\Pi} n_{\Pi} = 1,2 \cdot 60 \cdot 12 = 864 \text{ кг / год};$$

$$L_{\Pi} = l_{\Pi} n_{\Pi} = 60 \cdot 12 = 720 \text{ м}^3 / \text{год},$$

де l_{Π} – повітрообмін на одну людину, $\text{м}^3 / (\text{люд} \cdot \text{год})$, що дорівнює для приміщень (офіси тощо), в яких люди перебувають більше 3-х годин безперервно, – $60 \text{ м}^3 / (\text{люд} \cdot \text{год})$;

n_{Π} – розрахункова кількість людей у приміщенні.

Повітрообмін за вуглекислим газом визначають за формулою

$$G_{\Pi} = \frac{\rho v_{CO_2}}{(B_{ГДК} - B_{\Pi})} = \frac{1,2 \cdot 255}{(1 - 0,4)} = 510 \text{ кг / год};$$

$$L_{\Pi} = \frac{v_{CO_2}}{(B_{ГДК} - B_{\Pi})} = \frac{255}{(1 - 0,4)} = 425 \text{ м}^3 / \text{год},$$

де V_{CO_2} – кількість CO_2 , що виділяється у приміщенні, л/год;

$B_{ГДК}$ – гранично допустима концентрація CO_2 у повітрі приміщення, л/м³;

B_{Π} – вміст CO_2 у припливному повітрі, л/м³.

Повітрообмін за нормативною кратністю на одиницю об'єму приміщення визначають за формулою:

$$G_{\Pi} = \rho \cdot K_{P_{\min}} \cdot V = 1,2 \cdot 12 \cdot 288 = 4147,2 \text{ кг / год};$$

$$L_{\Pi} = K_{P_{\min}} \cdot V = 12 \cdot 288 = 3456 \text{ м}^3 / \text{год},$$

де V – об'єм приміщення, м³;

ρ – густина повітря, 1,2 кг/м³;

$K_{P_{\min}}$ – мінімальна кратність повітрообміну, год⁻¹, приймаємо 12.

2.3 Вибір вентилятора, приводного двигуна, перетворювача частоти

Таким чином нам потрібно забезпечити 3456 м³/год продуктивність вентилятора. Для цього підходить промисловий вентилятор Salda KF T120 400-4 L3, його характеристики наведені в таблиці 2.8, а вигляд на рисунку 2.1.

Таблиця 2.8 – Промисловий вентилятор Salda KF T120 400-4 L3

Бренд	Saida
Тип вентилятора	промисловий
Регулятор швидкості	частотний
Розташування двигуна	винесений з корпусу
Товщина шумоізоляції	50 мм
Матеріал корпусу	метал
Монтаж	всередині будівлі, зовні будівлі
Електроживлення	400 В
Кількість фаз	трифазний
Частота струму	50 Гц
Витрата повітря	3487 м ³ /год
Максимальний тиск	580 Па
Рівень шуму	71 дБ
Номінальний струм	1.45 А
Швидкість обертання	1390 об/хв
Споживана потужність	470 Вт
Клас захисту	IP55
Тип двигуна	АС

Для даного вентилятора потрібен приводний двигун потужністю від 470 Вт, частотою обертання 1390 об/хв. Переліченим характеристикам задовольняє двигун WEG 0.55kW 4P 230/400V B34S 71 IE1 IP55 W21, його дані приведені в таблиці 2.9, а зовнішній вигляд представлений на рисунку 2.2.



Рисунок 2.1 – Вентилятор Salda KF T120 400-4 L3

Таблиця 2.9 – Параметри обраного двигуна

Номінальна потужність	0,55 кВт
Номінальна лінійна напруга	$U_n=380\text{ В}$
Номінальна частота напруги	50 Гц
Число полюсів	4
Момент інерції	$0.00093\text{ кг} \cdot \text{м}^2$
Номінальний ККД	72%
Коефіцієнт потужності	0,68
Перевантажувальна здатність	2,9
Пусковий момент	2,8
Кратність пускового струму	5
Номінальна частота обертання	1385 об/хв
ККД η_{50} , %	66
Коефіцієнт потужності, $\cos \varphi_{50}$	0,45



Рисунок 2.2 – Асинхронний двигун WEG 0.55kW 4P 230/400V B34S 71 IE1 IP55

Для організації частотного керування виберемо підходящий перетворювач частоти Danfoss VLT Midi Drive FC 280 0,55 кВт/3ф. Його параметри приведені в таблиці 2.10, а вигляд на рисунку 2.3.

Застосування частотного перетворювача

Цей частотний перетворювач призначений для спільної роботи з асинхронними трифазними двигунами, з метою гнучкої та ефективної автоматизації. Завдяки своїм функціональним особливостям, така модель використовується в найрізноманітніших сферах автоматизації або у створенні машин для харчової промисловості, транспортування матеріалів та обробної промисловості



Рисунок 2.3 – Перетворювач частоти Danfoss VLT Midi Drive FC 280 0,55 кВт/3ф

Таблиця 2.10 – Параметри Danfoss VLT Midi Drive FC 280 0,55 кВт/3ф

Напруга мережі живлення (L1, L2, L3)	
Діапазон напруг	3x380 В
Частота мережі	50 Гц
Струм, А	1,7
Потужність	0,55
Захист	IP20
Частота комутації	2 – 16 кГц

Частотний перетворювач цієї серії є агрегатом середньої потужності, забезпечуючи при цьому збалансовані характеристики управління, разом з функціональною безпекою і гнучкою системою зв'язку, при використанні периферійних шин. Відносно компактна конструкція та інтегровані функції, такі як дроселі ланцюга постійного струму, фільтри ВЧ-перешкод, функції Safe Torque Off (STO) і гальмівні переривники, дають можливість зменшити необхідний для установки простір і знизити витрати.

Частотний перетворювач Danfoss VLT Midi Drive може проводити спільне функціонування з VLT 2800. Його зовнішні розміри, кабельні вилки, довжина кабелів та програмні засоби конфігурування забезпечують зручність модернізації в умовах уже існуючих установок чи машинного обладнання.

Номінальний рівень захисту - IP20.

Особливості та переваги

- Простий та швидкий монтаж з налаштуваннями;
- Скорочення витрат за рахунок інтегрованих функцій;
- Немає необхідності встановлювати додаткове охолоджувальне обладнання або збільшувати розмір перетворювача частоти, оскільки він призначений для роботи при температурі навколишнього повітря 45-50°C з повним навантаженням та 55 °C зі зниженням номінальних характеристик;
- Поліпшення якості живлення та збільшення терміну служби конденсатора постійного струму за рахунок наявності інтегрованого дроселя ланцюга постійного струму;
- Економія місця в панелях завдяки компактній конструкції.

Основні функції частотного перетворювача

- Управління двигунами IM/PM;
- Розімкнутий контур швидкості/моменту;
- Замкнений контур швидкості/процесу;
- Позиціювання (керування переміщенням);
- Режим "Автоматичної оптимізації енергоспоживання";
- Сплячий режим насоса;
- Визначення обриву ременя вентилятора;

- Пусковий момент компресора (захист від перевищення часу запуску);
- Перетворення сигналу зворотного зв'язку ($<$);
- Цифровий потенціометр;
- Зовнішній ПД регулятор з автоматичним налаштуванням;
- Функція точної зупинки;
- Пропуск резонансних частот;
- 4 набори параметрів;
- Вбудований контролер SLC.

3 МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАХІЧНОЇ СИСТЕМИ ВЕНТИЛЯТОРНОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Замкнені системи частотного керування

Формування необхідних за технологічними умовами статичних і динамічних характеристик асинхронного частотно-регульованого електропривода можливо лише в замкнених системах регулювання його координат. Узагальнена функціональна схема такої системи (рис.3.1) складається з асинхронного двигуна, перетворювача частоти ПЧ, регуляторів Р та датчиків змінних електропривода Д.

Керуючими впливами на вході регулятора можуть бути сигналами задання будь-яких координат електропривода – швидкості, кута повороту ротора, струму статора, магнітного потоку тощо. Збурюючими впливами можуть бути момент сил опору чи коливання напруги мережі U_m . Вхідними сигналами датчиків можуть бути змінні двигуна, які доступні безпосередньому вимірюванню (напруга і струм статора, магнітний потік), так і визначені розрахунковим шляхом (ЕРС, потокозчеплення статора і ротора, тиску робочого органу тощо). Вихідні сигнали регуляторів, що залежать від керуючих впливів, сигналів зворотних зв'язків та прийнятих алгоритмів керування, є сигналами керування частотою u_f , вихідною напругою U_1 і струмом I_1 перетворювача частоти.

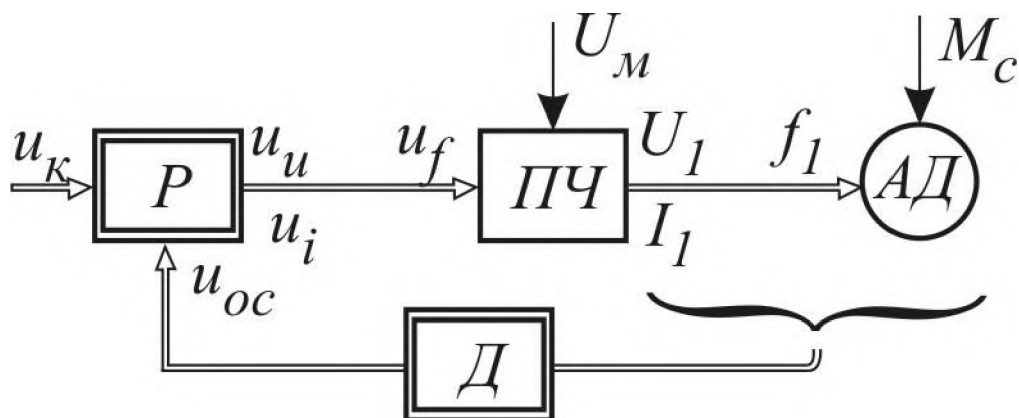


Рисунок 3.1 – Функціональна схема замкненої системи ПЧ-АД зі скалярним керуванням

3.2 Визначення параметрів схеми заміщення

Для успішної розробки системи керування АД маємо розрахувати параметри Т-подібної схеми заміщення, приведеної на рис 3.2.[7]

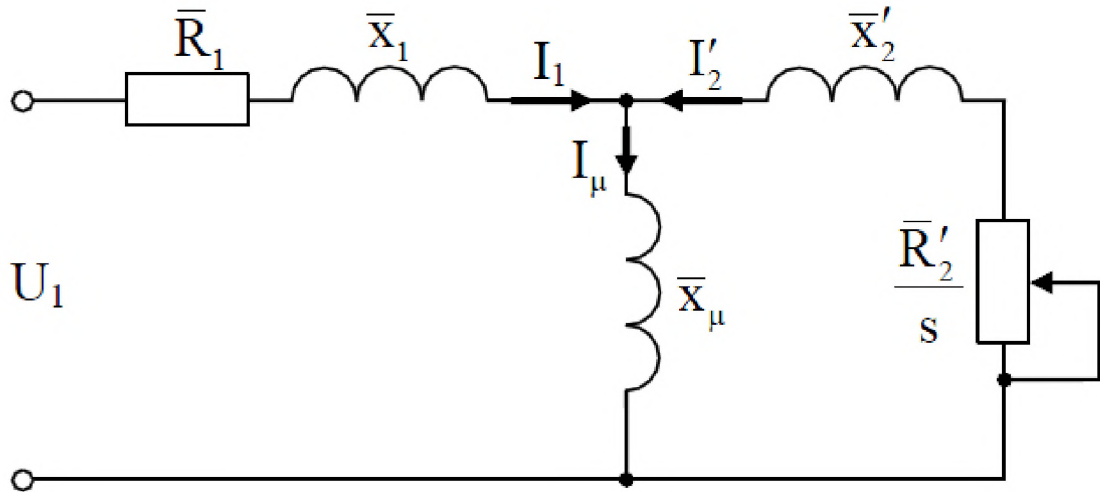


Рисунок 3.2 – Т-подібна схема заміщення АД

За методикою викладеною в статті Мощинського[6].

Кутова частота струму статора:

$$\omega_{0c} = 2\pi f_n = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 = 314 \text{ рад} / \text{с}$$

Синхронна швидкість двигуна

$$\omega_{xx} = \frac{\omega_{0c}}{p} = \frac{314}{2} = 157.08 \text{ рад} / \text{с}$$

Номінальна швидкість ротора:

$$\omega_n = \omega_{xx} \cdot (1 - s_n) = 157.08 \cdot (1 - 0,0767) = 145.04 \text{ рад} / \text{с}$$

Номінальна фазна напруга статора

$$U_{\phi} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 220 \text{ В}$$

Номінальний момент на валу двигуна:

$$M_n = \frac{P_{2n}}{\omega_n} = \frac{550}{145.04} = 3.79 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Критичний момент двигуна

$$M_k = m_k \cdot M_n = 2.9 \cdot 3.79 = 11 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковий момент двигуна

$$M_n = m_n \cdot M_n = 2.8 \cdot 3.79 = 10.62 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Номінальне значення фазного струму статора

$$I_{\phi} = \frac{P_{2n}}{3 \cdot U_{\phi} \cdot \eta \cdot \cos \varphi} = \frac{550}{3 \cdot 220 \cdot 0.78 \cdot 0.68} = 1.71 \text{ А}$$

Амплітудне значення фазної напруги статора

$$U_{\phi a} = \sqrt{2} \cdot U_{\phi} = \sqrt{2} \cdot 220 = 311 \text{ В}$$

Амплітудне значення фазного струму статора

$$I_{\phi a} = \sqrt{2} \cdot I_{\phi} = \sqrt{2} \cdot 1.71 = 2.42 \text{ A}$$

Пусковий струм статора

$$I_n = k_i \cdot I_{\phi} = 5 \cdot 1.71 = 8.55 \text{ A}$$

Амплітуда потокозчеплення статора на холостому ходу

$$\psi_{1xx} = \frac{U_{\phi a}}{\omega_{0c}} = \frac{311}{314} = 0.99 \text{ Вб}$$

Струм статора при 50% навантаження

$$I_{\phi 50} = \frac{P_{2,50}}{3 \cdot U_{\phi} \cdot \eta_{50} \cdot \cos \varphi_{50}} = \frac{275}{3 \cdot 220 \cdot 0.66 \cdot 0.45} = 1.41 \text{ A}$$

Струм холостого ходу

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{\phi 50}^2 - \left(\frac{k_3 \cdot (1 - s_n)}{(1 - k_3 \cdot s_n)} \cdot I_{\phi} \right)^2}{1 - \left(\frac{k_3 \cdot (1 - s_n)}{(1 - k_3 \cdot s_n)} \cdot I_{\phi} \right)^2}} = \sqrt{\frac{1.41^2 - \left(\frac{0.5 \cdot (1 - 0.0767)}{(1 - 0.5 \cdot 0.0767)} \cdot 1.71 \right)^2}{1 - \left(\frac{0.5 \cdot (1 - 0.0767)}{(1 - 0.5 \cdot 0.0767)} \cdot 1.71 \right)^2}} = 1.304 \text{ A}$$

Критичне ковзання

$$s_{\kappa} = s_{\text{н}} \frac{m_{\kappa} + \sqrt{m_{\kappa}^2 - (2 \cdot s_{\text{н}} \cdot \beta \cdot (m_{\kappa} - 1))}}{1 - 2 \cdot s_{\text{н}} \cdot \beta \cdot (m_{\kappa} - 1)} =$$

$$= 0,0767 \cdot \frac{2,9 + \sqrt{2,9^2 - (2 \cdot 0,0767 \cdot 1,1 \cdot (2,9 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,0767 \cdot 1,1 \cdot (2,9 - 1)} = 0,641$$

де $\beta = (0,6 \div 2,5)$ попередньо приймаємо 1,1;

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{\phi}} = 1 + \frac{1,304}{2 \cdot 5 \cdot 1,71} = 1,0764$$

Математичними перетвореннями отримане квадратне рівняння

$$\beta^2 + B \cdot \beta + C = 0,$$

$$\text{де } B = \frac{1}{s_{\text{н}}} + \frac{1}{s_{\kappa}} - \frac{2 \cdot A_0 \cdot A_1}{s_{\text{н}}}$$

$$C = \frac{1}{s_{\text{н}} s_{\kappa}} - A_0 A_1 \cdot \left(\frac{1}{s_{\text{н}}^2} + \frac{1}{s_{\kappa}^2} \right)$$

$$A_0 = \frac{I_{\phi \text{н}} \cos \varphi_{\text{н}} - I_0 \cdot \cos \varphi_0}{U}$$

$$A_1 = \frac{m \cdot U^2 (1 - s_{\text{н}})}{2 C_1 m_{\kappa} P_{2\text{н}}}$$

Прийmemo $\varphi_0 = 88^\circ$.

В результаті

$$A_0 = \frac{1,71 \cdot 0,068 - 1,304 \cdot \cos(88^\circ)}{220} = 0,0051$$

$$A_1 = \frac{3 \cdot 220^2 (1 - 0,0767)}{2 \cdot 1,0764 \cdot 2,9 \cdot 0,55 \cdot 10^3} = 38,83$$

$$B = \frac{1}{0,0767} + \frac{1}{0,641} - \frac{2 \cdot 0,0051 \cdot 38,83}{0,0767} = 9,455$$

$$C = \frac{1}{0,0767 \cdot 0,641} - 0,0051 \cdot 38,83 \cdot \left(\frac{1}{0,0767^2} + \frac{1}{0,641^2} \right) = -13,7$$

Остаточно вирішуючи квадратне рівняння

$$\beta = -\frac{9,455}{2} + \frac{\sqrt{9,455^2 - 4 \cdot (-13,7)}}{2} = 1,277$$

Активний опір ротора

$$R'_2 = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_k} \right) C_1} = \frac{38,83}{\left(1,277 + \frac{1}{0,641} \right) 1,0764} = 12,714 \text{ Ом}$$

Активний опір статора

$$R_1 = C_1 \cdot R'_2 \cdot \beta = 1,0764 \cdot 12,714 \cdot 1,277 = 17,48 \text{ Ом}$$

Для серійний асинхронних двигунів індуктивності статора і ротора визначаються:

$$X_1 = 0,43 \cdot X_n$$

$$X_2 = 0,57 \cdot \frac{X_n}{C_1},$$

$$\text{де } X_n = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} \cdot C_1 \cdot R_2' = \sqrt{\frac{1}{0.641^2} - 1.277^2} \cdot 1.0764 \cdot 12.71 = 9.39 \text{ Ом}$$

Тоді

$$X_1 = 0.43 \cdot 9.39 = 3.94 \text{ Ом}$$

$$X_2 = 0.57 \cdot \frac{9.39}{1.0764} = 5.445 \text{ Ом}'$$

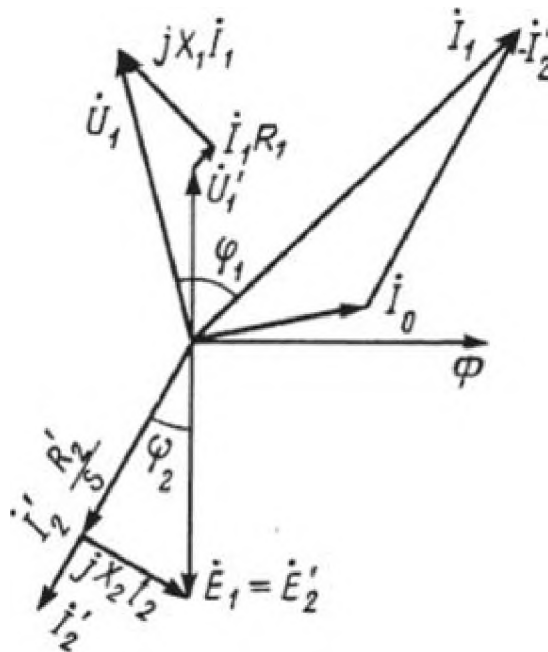


Рисунок 3.3 – Векторна діаграма АД

Згідно з векторною діаграмою (рисунок 3.3)[8], ЕРС гілки намагнічування, наведена потоком повітряного зазору в обмотці статора в номінальному режимі, дорівнює:

$$\begin{aligned} E_1 &= \sqrt{(U \cos \varphi_{1n} - R_1 I_{1n})^2 + (U \sin \varphi_{1n} - X_1 I_{1n})^2} = \\ &= \sqrt{(220 \cdot 0.68 - 17.48 \cdot 1.71)^2 + (220 \cdot 0.733 - 3.94 \cdot 1.71)^2} = 194.94 \text{ В} \end{aligned}$$

Тоді опір вітки намагнічування

$$X_m = \frac{E_1}{I_0} = \frac{194.94}{1.304} = 149.54 \text{ Ом}$$

3.3 Розрахунок параметрів схеми моделі системи керування ПЧ-АД

Коефіцієнт передачі ПЧ

$$K_{ПЧ} = f_m / I_z = 50 / 20 = 2,5 \text{ Гц} / \text{мА},$$

де I_z – струм завдання

Стала часу ПЧ

$$T_\mu = 0.01 \text{с}$$

Передавальна функція ПЧ

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{K_{ПЧ}}{T_\mu p + 1} = \frac{2.5}{0.1p + 1}$$

Коефіцієнт передачі двигуна

$$K_o = \frac{2\pi}{p} = \frac{6.28}{2} = 3.14$$

Електромагнітна постійна часу двигуна;

$$T_e = \frac{1}{\omega_{0c} s_\kappa} = \frac{1}{3.14 \cdot 0.641} = 0.497 \text{с}$$

Модуль статичної жорсткості;

$$\beta = \frac{M_n}{\omega_{xx} - \omega_n} = \frac{3,79}{157,08 - 145,03} = 0,316$$

Сумарний момент інерції;

$$J_{\Sigma} = J_{\partial} + J_{nac} = 0,00093 + 0,0025 = 0,00343 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Електромеханічна стала часу двигуна

$$T_M = \frac{J_{\Sigma}}{\beta} = \frac{0,00343}{0,316} = 0,011 \text{ с}$$

Передавальна функція двигуна

$$W_{\partial\partial}(p) = \frac{K_{\partial}}{T_M T_e p^2 + T_M p + 1} = \frac{3,14}{0,005467 \cdot p^2 + 0,011p + 1}$$

Коефіцієнт датчика тиску

$$K_m = \frac{I_{m.P\max} - I_{m.P\min}}{P_{m.\max} - P_{m.\min}} = \frac{24 - 4}{580 - 300} = 0,0714 \text{ мА} / \text{Па}$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку

$$K_{zz.m} = \frac{1}{K_m} = \frac{1}{0,0714} = 14 \text{ Па} / \text{мА}$$

Коефіцієнти ПД-регулятора

$$K_n = \frac{T_m}{2 \cdot K_{ПЧ} \cdot K_\delta \cdot K_{вент} \cdot K_t} = \frac{0,011}{2 \cdot 2,5 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 0,0714} = 0,0098$$

$$K_I = \frac{1}{2 \cdot T_\mu \cdot K_{ПЧ} \cdot K_\delta \cdot K_{вент} \cdot K_t} = \frac{1}{2 \cdot 0,01 \cdot 2,5 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 0,0714} = 89,2$$

$$K_D = \frac{T_m T_e}{2 \cdot T_\mu \cdot K_{ПЧ} \cdot K_\delta \cdot K_{вент} \cdot K_t} = \frac{0,011 \cdot 0,497}{2 \cdot 0,01 \cdot 2,5 \cdot 3,14 \cdot 1 \cdot 0,0714} = 0,487$$

3.4 Дослідження розробленої системи шляхом моделювання

Для моделювання використаємо програмний пакет MATLAB і його інструмент Simulink. Зібрана схема електроприводу вентилятора продемонстрована на рис. 3.4. В результаті моделювання отримані часові діаграми тиску та моменту моделі системи ПЧ–АД вентилятора, приведені на рис. 3.5.

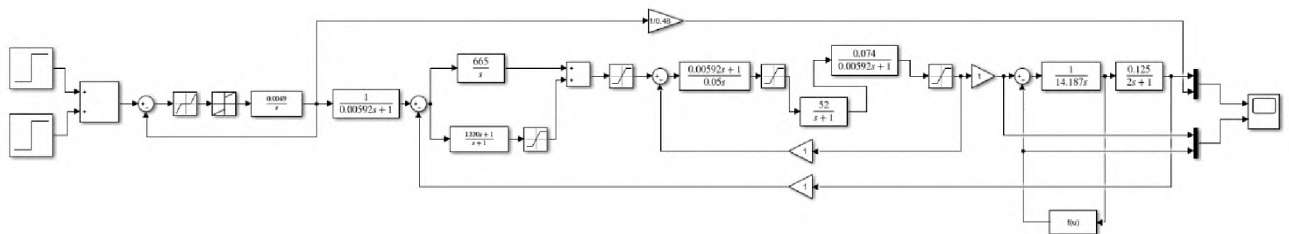


Рисунок 3.4 – Схема моделі електроприводу ПЧ-АД вентиляторної установки

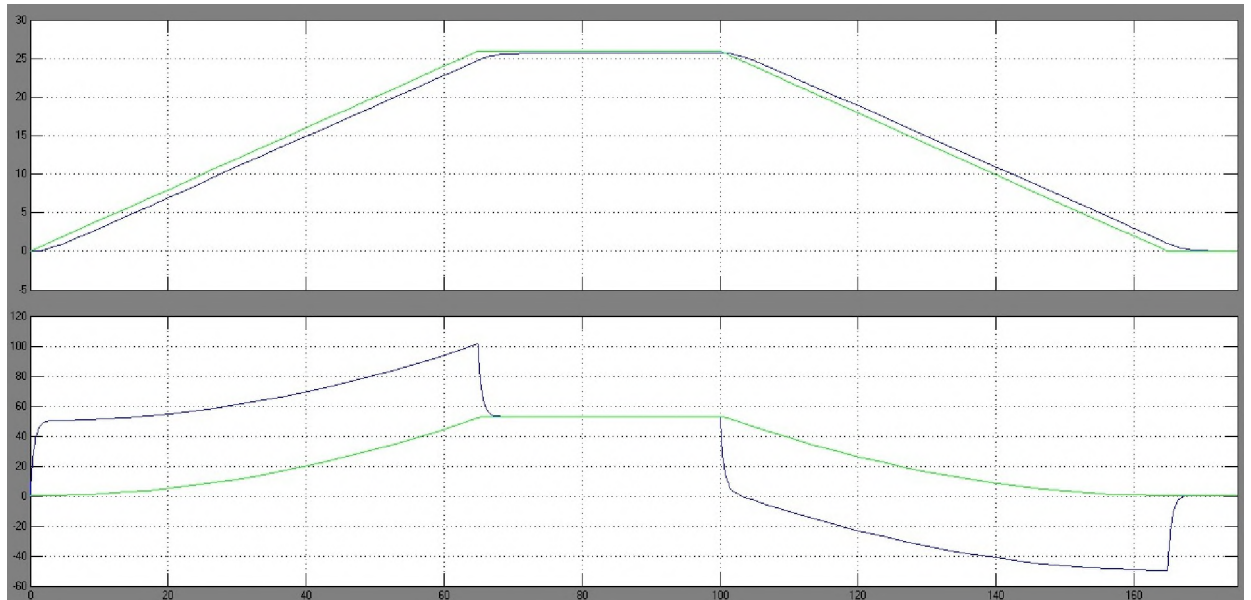


Рисунок 3.5 – Графіки зміни тиску та моменту моделі системи ПЧ–АД

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі досліджено електромеханічну системи вентиляторної установки, обрано обладнання.

Для досягнення поставленої мети в ході виконання роботи виконаний огляд принципів організації вентиляції промислових будівель. Розглянуто основні поняття та визначення, досліджено призначення вентиляції, а також вивчено різні типи вентиляційних систем. Надано вичерпні відомості про якість повітря та середовище в приміщеннях. Сформульовано вимоги до вентиляції будівель, розглянуто теперішній стан та перспективи розвитку вентиляційних систем.

З метою розробки системи перетворювач частоти асинхронний двигун проведено розрахунок вентиляції швейного цеху. Визначено параметри зовнішнього і внутрішнього повітря, розраховано повітрообмін виробничої будівлі, а також обчислено надходження та втрати тепла. Вентилятор має забезпечувати витрату повітря на рівні $3456 \text{ м}^3/\text{год}$. За отриманими показниками було вибрано вентилятор Salda KF T120 400-4 L3 з максимальним тиском 580 Па при частоті обертання на рівні 1390 об/хв. В якості приводного двигуна обраний WEG 0.55kW 4P 230/400V B34S 71 IE1 IP55 W21 з номінальною частотою 1385 об/хв та перетворювач частоти Danfoss VLT Midi Drive FC 280 0,55 кВт/3ф.

Дослідити шляхом моделювання систему електромеханічної системи вентиляторної установки на базі ПЧ-АД було вирішено в Matlab/Simulink. Попередньо були розглянуті замкнуті системи частотного керування, визначені параметри схеми заміщення та розраховані параметри моделі системи ПЧ-АД, отримані графіки перехідних процесів тиску та моменту.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Zhang, X; Wargocki, P; and Lian, Z. Physiological responses during exposure to carbon dioxide and bioeffluents at levels typically occurring indoors. *Indoor Air*. 2016, 27, 65–77.
2. S. J. Cao and Z. Feng, *Handbook of Ventilation Technology for the Built Environment: Design, Control and Testing*. Institution of Engineering and Technology, 2021.
3. Пономарчук І.А., Волошин О.Б. П 56 Вентиляція та кондиціонування повітря: Навчальний посібник. -Вінниця: ВНТУ, 2004. - 121с.
4. Дорошенко, Ю.Н. Проектирование вентиляции промышленного здания [Текст] : учебное пособие / Ю. Н. Дорошенко, В.С. Рекунов. - Томск ; Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2015.- 128 с.
5. Методичні вказівки до проведення практичних занять та виконання самостійної роботи з навчальної дисципліни "Вентиляція, кондиціонування та очищення повітря" для студентів за напрямом підготовки 6.170202 "Охорона праці" всіх форм навчання/ Новицька О.С. - Рівне: НУВГП, 2013. - 28 с.
6. Мощинский Ю.А., Беспалов В.Я., Кирякин А.А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным
7. Ващенко А.П., Онищенко Г.Б. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод. Серия «Электропривод и автоматизация промышленных установок» (Итоги науки и техники). – Том 9. – М.: ВИНТИ, 1988. – 96 с.
8. Справочник по автоматизированному электроприводу / Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского.–М.: Энергоатомиздат, 1983. – 616 с., ил.
9. ЕРГОНОМІКА ТЕПЛОВОГО СЕРЕДОВИЩА Аналітичне визначення та інтерпретація теплового комфорту на основі розрахунків показників PMV і PPD і критеріїв локального теплового комфорту (EN ISO 7730:2005, IDT) ДСТУ Б EN ISO 7730:2011

ДОДАТОК А. ОХОРОНА ПРАЦІ

А.1 Організація робочого місця

В цьому розділі розглянемо умови праці персоналу на робочому місці при обслуговуванні та ремонті систем вентиляції в даному приміщенні.

При правильній організації робочого місця продуктивність роботи зростає з 8 до 20 відсотків.

Основними шкідливими факторами є шум, вібрація і мікроклімат. Основна небезпека виникає підчас ремонтних робіт: травмування рухомими частинами (лопаток вентилятора), ураження струмом.

А.2 Безпечна експлуатація вентиляторної установки

При експлуатації вентилятора необхідно дотримуватися правил технічної експлуатації електроустановок споживачів і міжгалузеві правила по охороні праці (правила безпеки) при експлуатації електроустановок .

Роботу з обслуговування вентилятора має проводити відповідно підготовлений електротехнічний персонал.

Допуск персоналу до самостійної роботи проводити у відповідності з інструкцією №2 «Про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з ОП», яка складена на основі Типового положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань ОП, затвердженого наказом Державного комітету України по нагляду за ОП від 4.04.94р. Працівники повинні працювати в надійному, згідно норм, спецодязі та засобах захисту. Спецодяг, спецвзуття і запобіжні пристосування видаються працівникам в цеху, на робочому місці. Не допускається робота з порушенням технологічного режиму та паспортних норм завантаження обладнання. Не допускається робота на несправному обладнанні або несправною апаратурою чи приладами КВП і А.

При роботі необхідно виконувати вимоги інструкції по робочому місцю, правил техніки безпеки і пожежної безпеки.

Працівники цеху зобов'язані слідкувати за наявністю і справністю протипожежного інвентарю. На території цеху забороняється курити. Курити можна тільки в спеціально відведених місцях.

На установці забороняється використовувати відкритий вогонь. Зварювальні роботи із застосуванням відкритого вогню проводити тільки в відповідності з вимогами інструкції по проведенню вогневих робіт.

При виникненні в цеху пожежі негайно повідомити майстра зміни, в пожежну части-ну, в диспетчерську і вжити заходи по ліквідації пожежі первинними засобами гасіння.

Підготовка проведення і проведення ремонтних робіт повинні вестись згідно вимог «Системи технічного обслуговування і ремонту обладнання хімічної промисловості». Не допускається проведення ремонтних робіт на обладнанні яке знаходиться під тиском або не звільнене від продукту.

Не допускається ведення ремонтних робіт і протирання рухомих частин при працюючій машині.

При відсутності або недостатності на установці освітлення, можна користуватись тільки освітлювальними приладами в вибухонебезпечному виконанні напругою 12 В.

Основними газовими викидами цеху з цеху з виробництва галоїдопохідних етилену, їх полімерів і співполімерів є:

- затворні та промивні гази компресорів;
- викиди з дихальних клапанів.

Всі основні газові викиди відводяться на спалювання на факельну установку. Для повноти спалювання газових викидів, багатих ненасиченими вуглеводнями, на факельну установку подається пара $p=1\ 600\ \text{кПа}$ (надл.).

Забруднене повітря систем пневмотранспорту і мастерміксу перед скиданням попередньо очищається на фільтрах.

На площадках, де встановлено технологічне обладнання, всі дощові водії, забруднені маслопродуктами, збираються в піддони, обладнані припомниками системи органічної каналізації цеху з виробництва галоїдопохідних етилену, їх полімерів і співполімерів. Насосна системи органічної каналізації відкачує

забруднені води в лінію передачі органічних стоків з установки по виробництву олефінів на очисні споруди .

А.3 Режими роботи

А.3.1 Нормальна робота.

Розподільчі мережі електроенергії передбачені радіальними лініями від розподільних пунктів. Розподільчі мережі, в основному, виконані дротом АПВ та МСМК, що прокладається в трубах в підлозі під заливку бетоном. Пускова апаратура передбачена для електродвигунів (ЕД) силових ЕП. Як пускові апарати в проєкті прийняті шафи управління.

А.3.2 Аварійний режим.

Аварійний режим представляє собою коротке замикання, пробій ізоляції, попадання току на нетоковедущі частини.

Захист ЕД, що відходять від силових шаф, здійснюється запобіжниками.

А.4 Раціональне освітлення

Можливість людини орієнтуватися у просторі, здійснювати фізіологічні функції, виконувати різні види робіт залежить від виду і якості освітлення навколишнього середовища.

До освітлення ставляться певні гігієнічні вимоги. Освітлення повинно бути рівномірним і достатнім для швидкого й легкого розрізнення об'єктів, забезпечувати деяку контрастність між об'єктом і фоном. Джерело світла не повинно засліплювати людину і створювати бліків на об'єкті, що розглядається.

Раціональне освітлення робочих місць і приміщень створює у працівників певний психологічний тонус, попереджує зорову і загальну втоми, сприяє високопродуктивній праці. Недостатня освітленість робочих місць може бути непрямою причиною нещасних випадків на виробництві.

Забезпечення гігієнічно раціональних умов освітлення у виробничих приміщеннях сприяє тривалому збереженню працездатності, призводить до зростання продуктивності праці і до поліпшення якості продукції, що випускається.

А.5 Шум та його шкідливі наслідки , способи вирішення

Шум несприятливо впливає на людину. У робітників, які мають справу з гуркотливими машинами та механізмами, виникають стійкі порушення слуху, що нерідко призводить до професійних захворювань (глухуватості і глухоти).

Найбільша втрата слуху спостерігається протягом перших десяти років роботи, і з плином часу ця небезпека зростає. Тривала дія шуму на організм людини призводить до розвитку хронічної перевтоми, зниження працездатності, виникнення таких симптомів як поганий сон, сонливість, зниження слуху, порушення терморегуляції. Усе це може спричинити аварію на виробництві. Короточасний, навіть одноразовий вплив шуму високої інтенсивності може спричинити повну загибель спірального органу або розрив барабанної перетинки, що супроводжується почуттям закладеності та різким болем у вухах. Наслідком баротравми нерідко буває повна втрата слуху.

Шум впливає на систему травлення і кровообігу, серцево-судинну систему. У разі постійного шумового фону до 70 дБ виникає порушення ендокринної та нервової систем, до 90 дБ — порушує слух, до 120 дБ — призводить до фізичного болю, який може бути нестерпним. Шум не лише погіршує самопочуття людини, а й знижує продуктивність праці на 10—15 %. У зв'язку з цим боротьба з ним має не лише санітарно-гігієнічне, а й велике техніко-економічне значення.

Способи вирішення :

1. Зменшення рівня шуму у джерелі виникнення, застосування раціональних конструкцій, нових матеріалів і технологічних процесів.
2. Звукоізоляція устаткування за допомогою глушників, резонаторів, кожухів, захисних конструкцій, оздоблення стін, стелі, підлоги тощо.
3. Використання засобів індивідуального захисту.

А.6 Заходи безпечної експлуатації електроустановок

Безпечна експлуатація електроустановок забезпечується: конструкцією електроустановок; технічними способами та засобами захисту; організаційними та технічними заходами.

Конструкція електроустановок повинна відповідати умовам їх експлуатації та забезпечувати захист персоналу від можливого доторкання до рухомих та струмовідних частин, а устаткування - від потрапляння всередину сторонніх предметів та води.

За способом захисту людини від ураження електричним струмом встановлено п'ять класів електротехнічних виробів: 0, 01, I, II, III.

Способи та засоби захисту при нормальних режимах роботи електроустановок:

- ізоляція струмовідних частин;
- огорожі та оболонки в ЕУ;
- попереджувальні сигналізація, знаки та написи
- бар'єри в ЕУ;
- розміщення струмовідних частин поза зоною досяжності;

Захисне заземлення

Застосовують у мережах з напругою до 1000 В з ізолюваною нейтраллю та в мережах напругою вище 1000 В з будь-яким режимом нейтралі джерела живлення.

Захисне заземлення - це навмисне електричне з'єднання зі землею або з її еквівалентом металевих частин електроустановки, які нормально не перебувають під напругою, але можуть опинитись під нею в аварійних режимах.

ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА

Позначення документа	Документ	Умовне позначення	Зміст зауваження

Дата _____