

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет автоматики та енергетики
Кафедра “Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент”

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЕШКОВ
“ ____ ” _____ 2021р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої
освіти
на тему
“Аналіз ефективності режимів роботи
промислових вентиляційних установок із
запровадженням енергоаудиту вентиляції”

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕНМ-20М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»

_____Тюкаєв А.С.
« ____ » _____ 2021р.

Керівник роботи
к.т.н., доцент

_____Андрій КОТИШ
« ____ » _____ 2021р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Автоматики та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Плешков П.Г.

«_____» _____ 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Тюкаєва Андрія Сергійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Аналіз ефективності режимів роботи промислових
вентиляційних установок із запровадженням енергоаудиту вентиляції

Analysis of efficiency of the modes of operation of industrial ventilation systems with
application of energy audit of ventilation

2. Керівник роботи (проекту)

Котили Андрій Іванович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту 29.11.2021 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Вступ; 1.Аналіз існуючих систем вентиляції у промислових об'єктах;
2.Загальні положення по вибору схем для проектування систем вентиляції;
3.Шляхи впровадження систем вентиляції на виробництві; 4.Проектування
систем вентиляції промислових споруд; 5.Енергетичний аудит
вентиляційних установок; 6.Охорона праці; Висновки; Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Економічна частина</i>	<i>к.е.н., доц. Ірина ЖУРИЛО</i>		
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н, доц. Іван САВЕЛЕНКО</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>05.10.21</i>	
2	<i>Аналіз існуючих систем вентиляції у промислових об'єктах</i>	<i>10.10.21.</i>	
3	<i>Загальні положення по вибору схем для проектування систем вентиляції</i>	<i>20.11.21.</i>	
4	<i>Шляхи впровадження систем вентиляції на виробництві</i>	<i>01.11.21.</i>	
5	<i>Проектування систем вентиляції промислових споруд</i>	<i>10.11.21.</i>	
6	<i>Енергетичний аудит вентиляційних установок</i>	<i>20.11.21</i>	
7	<i>Охорона праці</i>	<i>26.11.21.</i>	
8	<i>Висновки</i>	<i>29.11.21</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2021 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2021 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Тюкаєв А.С. Аналіз ефективності режимів роботи промислових вентиляційних установок із запровадженням енергоаудиту вентиляції. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Енергетичний менеджмент». Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький, 2021 р.

Метою кваліфікаційної роботи є детальний аналіз ефективності режимів роботи промислових вентиляційних установок із запровадженням енергетичного аудиту вентиляції у виробничому приміщенні.

В даній роботі Виконано детальний аналіз існуючих систем вентиляції на промислових підприємствах. Розглянуто переваги і недоліки зазначених систем. Сформульовано загальні положення по вибору схем при проектуванні вентиляційних систем із зв'язанням основних вимог та обмежувальних умов щодо вибору вентиляції. Розглянуто існуючі методики розрахунку вентиляційних установок.

Розроблений проект енергоаудиту вентиляційних установок на підприємстві, де показано заходи з енергоефективного використання згаданих установок.

Ключові слова: вентиляційна установка, система вентиляції, кондиціонування, шкідливі виділення, вентилятор, енергетичний аудит.

SUMMARY

Tyukaev A.S. Analysis of efficiency of the modes of operation of industrial ventilation systems with application of energy audit of ventilation. 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics" EPP, "Energy management". Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi, 2021.

The purpose of the qualification work is a detailed analysis of the effectiveness of the modes of operation of industrial ventilation systems with the introduction of energy audit of ventilation in the production room.

In this paper a detailed analysis of existing ventilation systems at industrial enterprises is performed. The advantages and disadvantages of these systems are considered. The general provisions on the choice of schemes at designing of ventilation systems with the definition of the basic requirements and restrictive conditions concerning the choice of ventilation are formulated. The existing methods of calculation of ventilation installations are considered.

The project of energy audit of ventilation installations at the enterprise is developed, where measures on energy efficient use of the mentioned installations are shown.

Keywords: ventilation equipment, ventilation system, air conditioning, harmful emissions, fan, energy audit.

ЗМІСТ

ВСТУП	
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ У ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТАХ.....	
1.1. Загальні відомості про вентиляцію.....	
1.2. Особливості вентиляції в цехах різних галузей промисловості.....	
1.3. Класифікація систем вентиляції.....	
РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПО ВИБОРУ СХЕМ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПОВІТРЯ НА ВИРОБНИЦТВІ.....	
2.1. Різновид вентиляційних систем.....	
2.2. Схеми систем вентиляції.....	
РОЗДІЛ 3 ШЛЯХИ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ НА ВИРОБНИЦТВІ.....	
3.1 Критерії вибору систем вентиляції.....	
3.2 Обмежувальні умови щодо вибору вентиляційних систем.....	
3.3. Сучасні методи розрахунку повітрообміну у промислових приміщеннях	
РОЗДІЛ 4 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ СПОРУД.....	
4.1. Вихідні дані до проектування	
4.2. Методика розрахунку вентиляційної установки	
РОЗДІЛ 5. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВОК....	
5.1. Загальна характеристика вентиляційних установок.....	

5.2. Аналіз технологічної установки.....

5.3. Можливості енергозбереження в вентиляторах В 2.3-130.....

5.4. Опис можливостей енергозбереження.....

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

ДОДАТКИ

Випускна робота здобувача спеціальності 141 «Електроенергетика електротехніка та електромеханіка» освітньої програми «Енергетичний менеджмент» передбачає вирішення широкого кола питань.

В даній роботі мова піде про вентиляційні установки, а саме про ефективне застосування останніх у промисловому виробництві. Для цього необхідно вирішити задачі, які детально розглядаються у розділах випускної роботи.

Взагалі тема вентиляції є досить актуальною. Це твердження є цілком справедливим не тільки для промислової вентиляції (яка буде найбільш детально розглянута у роботі), а й для побутової, тваринних та рослинних приміщень. Саме завдяки ефективності роботи вентиляції визначається стан не тільки комфорту людини, а і її здоров'я. А також здоров'я тварин та стану технологічного обладнання.

Вентиляція будівель виконує декілька функцій, а саме – видалення шкідливих речовин із повітря (гази, пил, надлишкова волога та тепло), а також забезпечення свіжим повітрям приміщення де працюють люди знаходяться тварини устаткування тощо.

При проектуванні промислової вентиляції необхідно враховувати комплекс багатьох вимог: санітарно-гігієнічних та акустичних, технологічних, конструктивно-компонувальних, вимог вибухопожежної та пожежної безпеки, вимог до надійності систем кондиціонування та вентиляції, екологічних, фінансових, вимог до енергозбереження та експлуатації.

Фахівець з вентиляції повинен мати знання з архітектури та будівництву, враховувати особливості технологічного процесу та архітектурно-планувальних рішень будівель.

1.1 Загальні відомості про вентиляцію.

Вентиляція (від лат. *ventilatio* — провітрювання) — утворення обміну повітря в приміщеннях для видалення надлишків вологи, теплоти, шкідливих та інших речовин з метою забезпечення допустимих санітарно-гігієнічних, технологічних умов повітряного середовища. Вентиляція створює умови повітряного середовища, що сприяють здоров'ю і самопочуттю людини, відповідають вимогам технологічного процесу, збереження будівельних конструкцій, устаткування і зберігання матеріалів, продуктів, книг, картин тощо.[1]

Для оптимального теплового самопочуття для людини важливо зберігати постійну температуру тіла, що забезпечується безперервним відведенням тепла, яке утворюється в процесі життєдіяльності організму і сприйманої ним теплоти— в навколишнє середовище. Теплообмін і теплове самопочуття людини обумовлюються сумісним впливом температури повітря і навколишніх предметів, вологості повітря і швидкості його руху біля тіла. [1]

Життєдіяльність людини і тварин, виробничі процеси супроводжуються виділенням теплоти, шкідливих газів, парів і пилу, які з плином часу роблять повітря приміщення непридатним для дихання. Звичайними шкідливими виділеннями для житлових і цивільних будівель є тепло- і вологізбитки, вуглекислий газ. У тваринницьких приміщеннях до перерахованих шкідливим виділенням додається аміак. Перелік шкідливих речовин, що виділяються в повітря промислових будівель, складається з багатьох тисяч найменувань. Серед них є радіоактивні аерозолі, канцерогенні речовини (сажа, аерозоль нікелю, діоксин і т.д.), пари та гази, як вибухонебезпечні, так і впливають на шкірний покрив і слизові оболонки організму.

Тому представляється, що основним завданням вентиляції є підтримка стану повітряного середовища, сприятливого для перебування в приміщенні людини і виконання технологічних процесів.

Вплив на людину шкідливих речовин, що містяться в повітрі приміщення, може викликати захворювання, звані «професійними», так як їх причиною є несприятливі умови на робочих місцях. Часто - це звичайні захворювання (бронхіт, ревматизм, астма, цироз печінки) «професійне походження» яких підтверджується більш частими випадками її у працівників даного виробництва в порівнянні з населенням даного району, селища, міста. Це можуть бути і специфічні захворювання, в природі не зустрічаються. До них відноситься променева хвороба. З професійних захворювань найбільш поширені пневмоконіози - наслідок відкладення і накопичення пилу в легенях. Пневмоконіози розрізняють за видами пилу, що вдихається. Тому, другим завданням вентиляції є боротьба з професійними захворюваннями шляхом забезпечення необхідних нормами умов на робочих місцях.

Шкідливі речовини, що викидаються в атмосферу витяжними вентиляційними установками, забруднюють її і служать причиною серйозної небезпеки людському здоров'ю, тваринного та рослинного світу. Боротьба з цим видом забруднень ведеться шляхом:

- впровадження екологічно чистих технологій;
- очищення вентиляційних викидів від шкідливих речовин перед викидом в атмосферу;
- розсіювання вентиляційних викидів, що містять деяке залишкове кількість шкідливих домішок у такий спосіб, щоб концентрація шкідливих речовин в приземному шарі повітря не перевищувала допустимих норм.

Третє завдання вентиляції - захист атмосферного повітря від забруднення шкідливими речовинами, що містяться у вентиляційних викидах.

1.2. Особливості вентиляції в цехах різних галузей промисловості

Відмінна особливість промислових будівель – різні шкідливі для людини і вибухонебезпечні речовини, що виділяються в ході технологічних процесів і вимагають застосування систем промислової вентиляції та протипожежних рішень. Наряду з цим багато процесів вимагають кондиціонування повітря для забезпечення спеціальних параметрів повітряного середовища і особливо чистоти повітря. До таких виробництв відносять окремі ділянки або цеху підприємств машино і верстатобудування, електронної та радіопромисловості, приладобудування, друкарні, підприємств текстильної і легкої промисловості, об'єктів зв'язку та телекомунікацій, фармацевтичних виробництв, підприємств харчової промисловості та ін.

Гальванічні цехи

У цих цехах наносять метал на поверхню різних виробів для запобігання їх від корозії, поліпшення зовнішнього вигляду або додання поверхні більшої міцності. Шкідливі речовини виділяються у вигляді пилу (очищення, шліфування, полірування та ін.) і численних хімічних речовин при хімічному або електрохімічному знежирення, травлення, цинкування, Кадміювання, хромуванні та інших операціях.

Перед нанесенням гальванічного покриття вироби піддають травленню і знежирення. При травленні використовують розчини сірчаної, соляної та азотної кислот. Для попереднього очищення виробів застосовують знежирення бензином [4]. У гальванічних цехах поряд з відділеннями травлення і гальванопокриття є ділянки зберігання хімікатів і приготування розчинів, а також машинне відділення і відділення полірування. У машинному відділенні домінуючими шкідливими виділеннями є надлишки тепла, а в полірувальному - пил.

Основні шкідливі речовини: водень (H_2), оксиди азоту (NO_2 , N_2O , N_2O_3 , N_2O_4 , N_2O_5), азотна кислота (HNO_3), оксиди хрому (CrO_3 , Cr_2O_3 , $CrSO_4$), плавикова кислота (40% -ний розчин фторводорода HF в воді), розчинники, сірчана кислота (H_2SO_4), фтористий водень (FH_3), хлористий водень (HCl), ціаністий водень (HCN), лужні аерозолі ($NaOH$, KOH) [5].

Ливарні цехи

До складу ливарного цеху машинобудівного заводу входять плавильні агрегати, шихтовий двір, ділянки приготування формувальних і стрижневих сумішей, розливу металу і очищення лиття. Як плавильні агрегати використовують в основному вагранки відкритого і закритого типу, дугові і індукційні печі.

При плавці чавуну виділяються: пил, оксид вуглецю (CO_2), сірчистий ангідрид (SO_2), оксиди азоту (N_xO_y) і вуглеводні (C_xH_y); при плавці алюмінію додатково виділяються хлор (Cl) і фтористий водень (HF) [4]. У робочих зонах виробничих приміщень виникають зони з явними надлишками теплоти (більше ніж $23 \text{ Вт} / \text{м}^3$)

Термічні та ковальсько-пресові цехи

У ковальсько-пресових цехах виготовляються заготовки для деталей і виробів машинобудування. Виробничий процес складається з різання холодних заготовок металу; нагріву металу під ковку або гаряче штампування в нагрівальних печах до температури $1100 - 1250 \text{ }^\circ\text{C}$; ковка металу на молотах; штампування виробів на гарячих пресах. Основні виробничі шкідливості [6]: конвективна і промениста теплота, оксид вуглецю, сірчистий газ, пил, окалини металу, пари та аерозолі кислот, аміак, оксиди азоту, ціаністий водень та ін.

У термічних цехах відбувається обробка металів: отжиг, нормалізація, гарт, відпустка, цементація, ціанування, азотування і інші операції. У термічних цехах здійснюється обробка металевих злитків і заготовок відштампованих виробів для надання їм певних хімічних, механічних і металографічних властивостей.

Металообробні цехи

У них здійснюється обробка металу на стругальних, свердлильних, токарних, фрезерних, шліфувальних і інших верстатах. Основні шкідливі виділення [4]: тепловиділення від електротродвигунів, людей і сонячної радіації, аерозолі масла, металевий та наждачний пил.

Зварювальні та збірні цехи

У них виконують операції по збірці і зварюванні плоских і об'ємних металевих конструкцій. Основний технологічний процес, від якого виділяється найбільша кількість шкідливих виділень (оксид азоту, оксид вуглецю, оксид

марганцю, фтористі з'єднання, озон, пил і супутня їм теплота), - це зварювання. Роботи з виготовлення зварних виробів виконують на стаціонарних і нестаціонарних місцях. До числа найбільш поширених в промисловості електрозварювальних процесів відносяться ручне зварювання покритими штучними електродами, напіваавтоматичне зварювання в середовищі вуглекислого газу, контактне зварювання, зварювання під флюсом, порошковим дротом і зварювання в середовищі інертних газів.

Цехи з переробки пластмаси

Переробка пластмас супроводжується вивільненням пов'язаних і утворенням нових хімічних речовин. Наприклад, при пресуванні фенопластів в повітря цеху виділяється більше десятка шкідливих речовин: фенол, формальдегід, ацетон, ацетальдегід, спирти метиловий, бутиловий, пропіловий, бензол, ксилол, толуол, граничні вуглеводні. Серед продуктів деструкції фенопластів найбільшим коефіцієнтом небезпеки, як ставлення маси виділяється речовини до його граничної концентрації, є фенол (C_6H_6O) [7].

Фарбувальні цехи

У таких цехах наносять захисні покриття від корозії і гниття, а також для надання виробам товарного вигляду. У них використовують фарбувальні матеріали: масляні фарби, наповнювачі, плівкоутворювальні речовини і розчинники. У фарбувальних цехах виділяються пари розчинників і розріджувачів, окрасочная пил як в рідкому, так і в твердому стані. При роботі з лакофарбовими матеріалами можливо їх пролиття, в результаті чого в повітря приміщення надходить значна кількість парів розчинника. Як правило, ці пари в суміші з повітрям утворюють вибухонебезпечні концентрації.

Деревообробні цехи

Деревообробні цехи, де виготовляють меблі, моделі для ливарних цехів, тару та інші вироби, характеризуються утворенням тирси, стружки і деревного пилу, парів клею, розчинників фарб і лаків, надлишкової теплоти і водяної пари. Боротьба з виробничою пилом є складним завданням і виявляється найбільш ефективною, якщо ведеться комплексно із застосуванням технологічних і

вентиляційних заходів. До технологічних відносять всі заходи, що сприяють зменшенню пилоутворення або зовсім зводять їх на нівець.

1.3. Класифікація систем вентиляції

Вентиляційною системою називають сукупність пристроїв для обробки, транспортування, подачі або видалення повітря.

Природна вентиляція є найпоширенішим способом змінювати внутрішнє повітря в будинку, подаючи зовнішнє свіже. Сьогодні це, як правило, не найкраща стратегія вентиляції, особливо для будинків, які належним чином теплоізовані для підвищення енергоефективності. Природна вентиляція також зазвичай не забезпечує належного контролю вологи.

Природна вентиляція виникає, коли спостерігається неконтрольований рух повітря або проникнення через тріщини та невеликі отвори у домі - ті самі, які потрібно скріпити, щоб зробити будинок більш енергоефективним. Відкриття вікон та дверей також забезпечує природну вентиляцію.

Рівень природної вентиляції будівель неконтрольований і непередбачуваний, тому не можна покладатися на те, щоб рівномірно вентилувати будинок. Природна вентиляція в основному залежить від герметичності будинку, зовнішніх температур, вітру та інших факторів. Тому під час м'якої погоди деякі будівлі можуть не мати достатньої природної вентиляції для видалення забруднюючих речовин. З іншого боку, у важко закритих будинках може бути геть недостатня природна вентиляція значну частину часу, тоді як будинки з високим рівнем інфільтрації повітря можуть мати високі витрати на енергію. Природна вентиляція - це неконтрольований людиною рух повітря всередині та з щилин, невеликих отворів у домі. На сьогоднішній день ущільнюють тріщини та отвори, щоб зробити будівлі більш енергоефективними, і після того, як в споруді повітря буде належним чином зафіксовано, вентиляція необхідна для підтримки комфортного та здорового внутрішнього середовища. Відкриття вікон і дверей також звичайно забезпечує природну вентиляцію, але багато людей залишають свої будинки закритими, оскільки вони як правило

використовують системи центрального опалення та охолодження на протязі року [2].

Штучна вентиляція може бути використана для підвищення ефективності природної вентиляції. Однак, природна вентиляція не завжди відповідає потребам у вентиляції будівлі, тому слід розглянути стратегію вентиляції будинку в цілому.

Повітряна вентиляція значно покращує ефективність будинків - шляхом видалення забруднюючих речовин повітря у приміщенні та / або вологи та їх джерела. Штучна вентиляція включає в себе використання локалізованих витяжних вентиляторів, схожих як ті, що використовуються вище кухонних діапазонів та у ванних кімнатах.[3].

За призначенням системи вентиляції поділяються на припливні і витяжні. Припливні системи подають повітря в приміщення. Системи, що видаляють повітря з приміщення прийнято називати витяжними. Своєю сукупною дією припливні і витяжні системи організують припливно-витяжну вентиляцію приміщення.

У літературі часто можна зустріти поняття вентиляційної установки. Цей термін застосовують до вентиляційних системам, що використовують в якості джерела тяги вентилятор.

Вентиляційною установкою називають частину вентиляційної системи, в яку не включено мережу повітропроводів і каналів, по яким транспортується повітря, а також пристрої для подачі (розподільники повітря) і видалення повітря (витяжні решітки, місцеві відсмоктувачі).

Припливна вентиляційна установка складається з повітрозабірного пристрою, утепленого клапана, фільтра для очищення повітря від пилу, нагрівача повітря і вентиляційного агрегату, що складається з вентилятора і електродвигуна. У деяких припливних установках фільтр може бути відсутнім.



Рис. 1.1. Схема припливної вентиляції на виробництві

Витяжна вентиляційна установка включає в себе пристрої для очищення вентиляційних викидів від забруднюючих їх речовин і вентиляційного агрегату. Якщо очищення видається в атмосферу повітря не потрібно, що характерно для цивільних будівель і деяких виробничих приміщень, де очисний пристрій відсутній і вентустановка складається тільки із вентагрегата.

Останнім часом стали застосовувати припливно-витяжні вентиляційні установки, komponуючи в одному агрегаті припливну і витяжну установки. Це стало можливим в зв'язку з розробкою та промисловим виробництвом панельно-каркасних припливних і витяжних установок, конструкція яких передбачає можливість такого суміщення. Основна причина застосування припливно-витяжних агрегатів - необхідність утилізувати теплоту, що видається. У припливно витяжному агрегаті часто використовується загальний поверхневий теплообмінник, що передає теплоту повітря що видається холодному припливному. Крім того, припливно-витяжні агрегати вимагають менших площ, ніж роздільні припливні і витяжні установки.

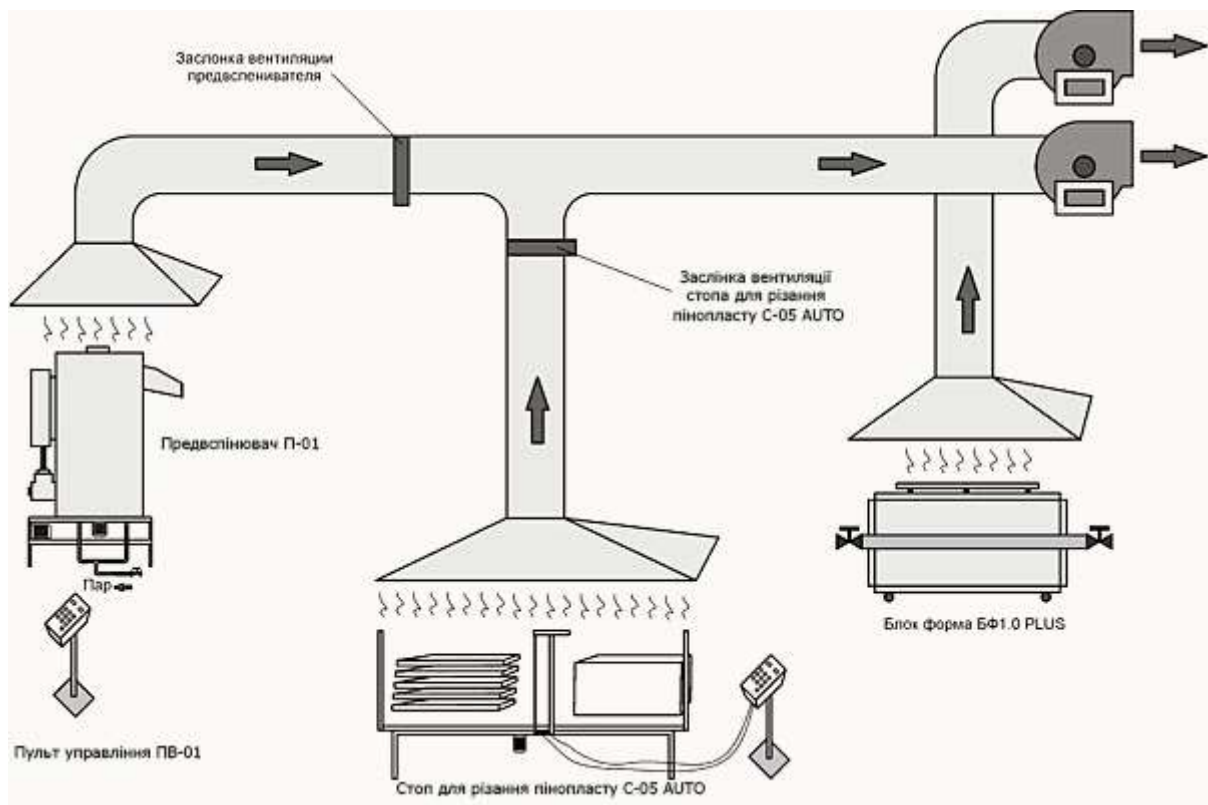


Рис. 1.2. Схема витяжної вентиляції на виробництві

Якщо вентилюється весь обсяг приміщення або його робоча зона при наявності розосереджених джерел шкідливих виділень вентиляцію називають загальнообмінною припливно-витяжною. Видалення повітря безпосередньо від зони де знаходиться так зване «шкідливе» обладнання або подача повітря безпосередньо на робочі місця або в певну частину приміщення називається місцевою вентиляцією. Місцева витяжна вентиляція ефективніша, ніж загальнообмінна, так як видаляє шкідливі виділення з більшою концентрацією в порівнянні з загальнообмінною, але більш дорога, так як вимагає більшої кількості повітропроводів та відсмоктувачів.

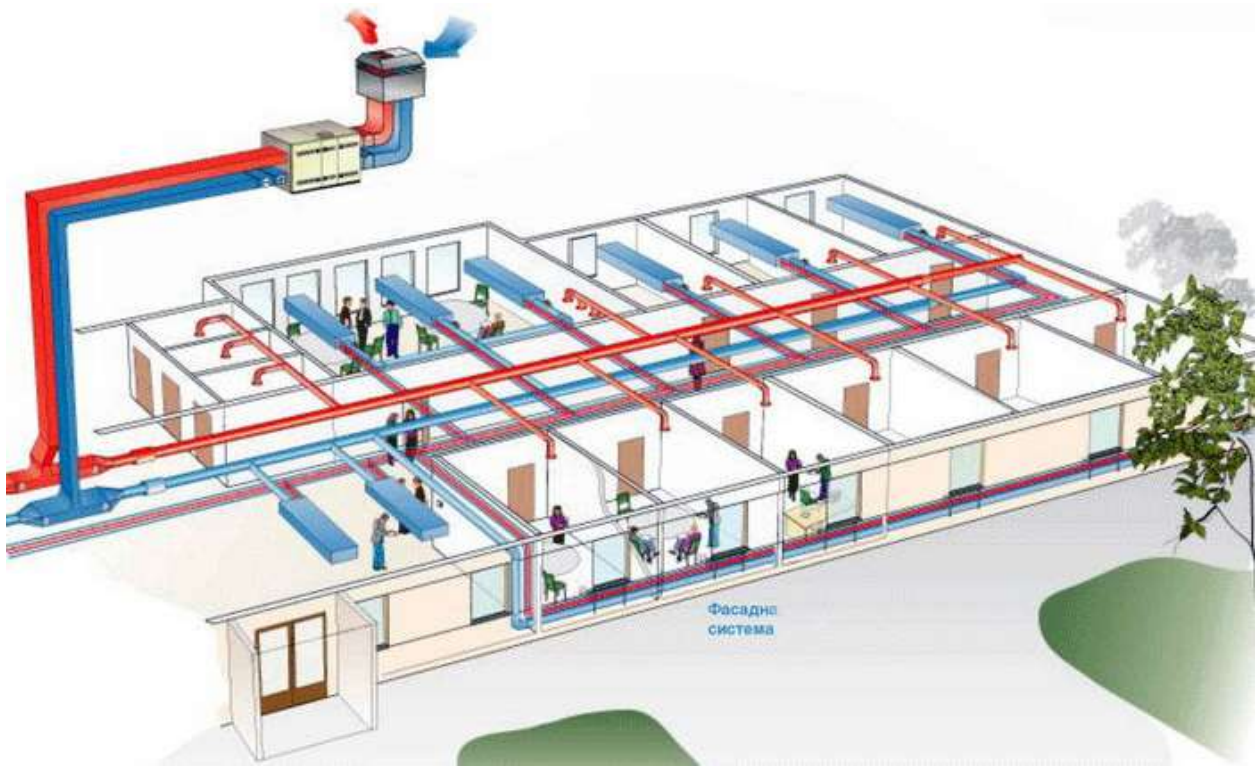


Рис. 1.3. Схема припливно-витяжної вентиляції на виробництві

За способом організації вентиляції приміщення розрізняють централізовані і децентралізовані системи вентиляції. В централізованих системах вентиляції припливні і витяжні вентиляційні установки обслуговують групу приміщень або будівлю в цілому. У разі, якщо необхідно вентилувати приміщення великої площі кращою може виявитися децентралізована схема вентиляції із декількома приточно-витяжною агрегатами. Цей спосіб організації вентиляції дозволяє обійтися без розгалуженої мережі повітропроводів.

За способом спонукання руху повітря системи поділяють на системи з механічним спонуканням (із застосуванням вентиляторів, ежекторів і ін.) і системи з гравітаційним спонуканням (дія сил гравітації, вітру). Повітря в вентильовані приміщення може подаватися (або видалятися) через розгалужену мережу повітряпроводів, (такі системи називаються каналними) або через отвори в огорожі (така вентиляція називається безканалною).

Найбільш широко застосовуються каналні системи з механічним спонуканням. Припливна система вентиляції з механічним спонуканням може бути виконана з рециркуляцією. Рециркуляцією називають підмішування повітря,

що видаляється до припливного. Рециркуляція буває повною і частковою. Часткова рециркуляція застосовується в системах звичайної вентиляції в робочий час, так як в приміщення необхідний приплив зовнішнього повітря. Мінімальна кількість зовнішнього повітря не повинна бути менше санітарної норми. Застосування рециркуляції дозволяє економити витрати теплоти в холодний період року.

Таким чином можна формювати переваги приточно-витяжної вентиляції:

- Поєднання функцій подачі свіжого повітря і видалення забрудненого.
- Ергономічність, з огляду на те, що немає необхідності робити два різновиди вентиляції.
- Можливість реалізації проекту рекуперації тепла.
- Можливість підігріву вхідного повітряного потоку.
- Можливість реалізації функції очищення відпрацьованого повітря з поверненням в приміщення.

Іншими словами, припливно-витяжної тип дозволяє поєднати переваги двох типів вентиляційних систем – припливної та витяжної.

Але найбільш прогресивною на погляд автора є спліт-системи вентиляції. Теплові надлишки ці системи видаляють за допомогою холодильної машини, що складається з двох блоків: зовнішнього і внутрішнього. У зовнішньому змонтовані: холодильна машина, конденсатор і вентилятор повітряного охолодження. Тобто це фактично центральне кондиціонерне обладнання з низьким споживанням електроенергії та низьким рівнем шуму, при якому гарантується певна кількість повітря для кожного приміщення, при цьому охолодження або обігрів незалежно регулюється для кожної кімнати [8].

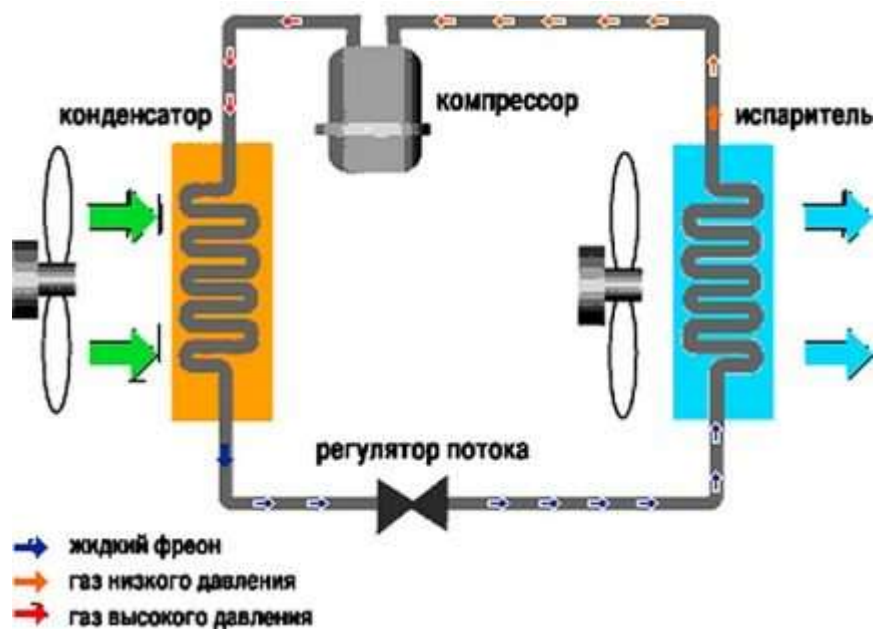


Рис.1.4. Типова схема спліт-системи



Рис. 1.5. Конструктивне виконання спліт-системи

Переваги спліт-системи:

- Спліт-система вентиляції здатна регулювати мікроклімат будівкль та приміщень, враховуючи вимоги найвимогливіших користувачів. Останнім часом постійно удосконалюються системи зміни параметрів у спліт-кондиціонерах, що дозволяє інтуїтивно коригувати їх роботу без додаткового навчання персоналу.

- Основною перевагою кондиціонерів типу спліт-система є винесення з приміщення зовні його самого громіздкого і гучного елементу — зовнішнього блоку. Внутрішній же блок не має обмежень за вимогами до місця розташування, тому розмістити його можна там, де зручно.

РОЗДІЛ 2 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ ПО ВИБОРУ СХЕМ ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПОВІТРЯ НА ВИРОБНИЦТВІ

2.1. Різновид вентиляційних систем

Вибір і проектування схем систем вентиляції і кондиціонування повітря (СВКП) слід здійснювати з урахуванням вимог нормативних документів (Державних стандартів, державних будівельних норм ДБН та ін.)

Вибір схем систем вентиляції в житлових, громадських і виробничих приміщеннях слід здійснювати з урахуванням класифікації видів систем вентиляції (рис.2.1).

За функціональним призначенням системи вентиляції повинні:

- виконувати повітрообмін в приміщенні - загальнообмінна і місцева вентиляція;
- запобігати небезпеці задимлення будівлі і його вплив на людей і майно при виникненні пожежі в одному з його приміщень – протидимна вентиляція;
- запобігати збільшенню до небезпечних концентрацій горючих газів, парів і пилу при їх раптовому надходженні в приміщення - аварійна вентиляція.

При проектуванні СВКП слід передбачати:

- забезпечення необхідного повітрообміну;
- організацію потоків повітря в приміщенні;
- установку систем кліматичного контролю для підтримки заданих показників температури, відносної вологості, швидкості і чистоти повітря.

Типи потоків повітря в приміщеннях та відповідні їм схеми СВКП слід приймати у відповідності ДБН В.2.5-67: 2013 (опалення, вентиляція та кондиціювання).

При проектуванні СВКВ застосовують можливі схемні рішення на основі:

- рециркуляції повітря;
- функціонального поділу СВКП з урахуванням режимів роботи приміщень, що обслуговуються, в тому числі одночасності їх роботи.

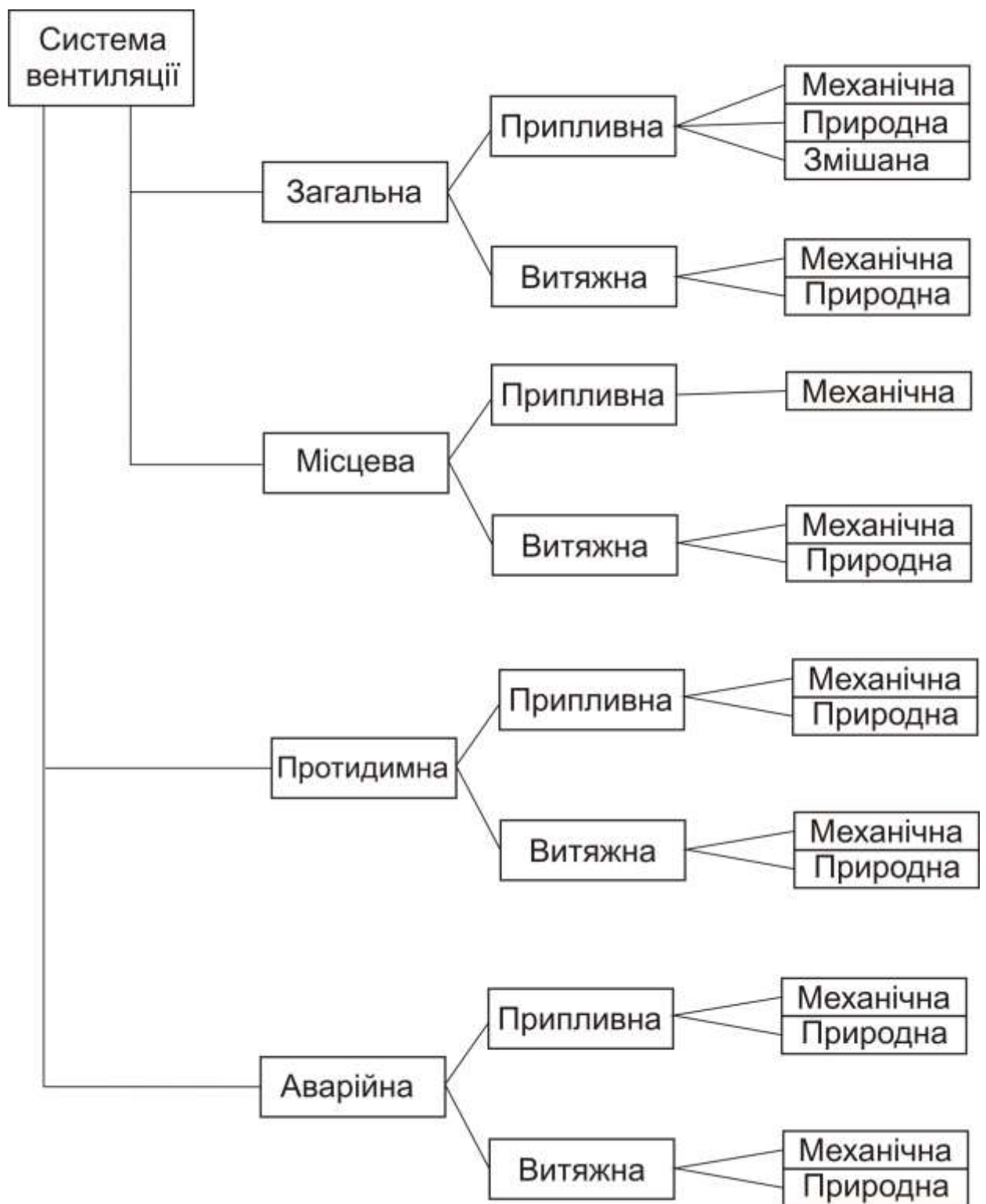


Рис. 2.1. Класифікація систем вентиляції повітря

При проектуванні СВКП застосовують такі схеми, які забезпечують необхідні за технічним завданням (ТЗ) параметри повітря:

- схеми загальнообмінної прямооточних систем вентиляції;

- схеми загальнообмінної систем вентиляції з рециркуляцією;
- схеми місцевих систем вентиляції;
- схеми центральних прямоточних систем кондиціонування повітря (СКП);
- схеми СКП із змінною і постійною першою рециркуляцією;
- схеми СКП з місцевими доводчиками: фенкойлами, системами VRV (VRF), моноблоками, спліт-системами і ежекційними доводчиками;
- схеми СКП із застосуванням кліматичних балок і стель;
- схеми СКП з місцевими адіабатними зволожквачами;
- схеми СКП з непрямим і двоступінчастим випарним охолодженням.

Для утилізації теплоти і холоду застосовують СВКП з використанням:

- систем з проміжним теплоносієм;
- пластинчастих і регенеративних обертових повітряних теплообмінників;
- теплових насосів;
- систем оборотного водопостачання.

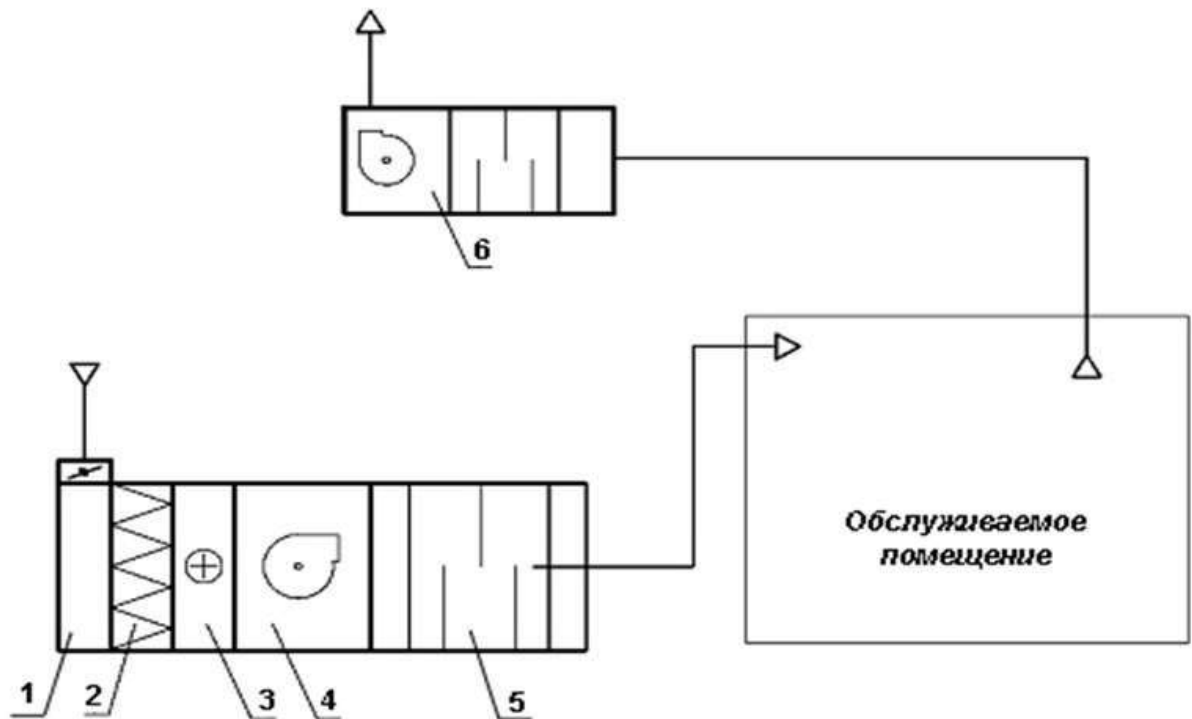
Для проектування енергоефективних схем обробки повітря в СВКП використовують такі технічні рішення:

- застосування місцевої рециркуляції повітря і його адіабатного охолодження і зволоження, що дозволяє зменшити споживання теплоти;
- застосування схем з непрямим і двоступінчастим випарним охолодженням, що дозволяє в деяких випадках відмовитися від використання штучного холоду або знизити холодильне навантаження.

Слід зазначити, що у даній роботі дослідження будуть проводитися лише для систем вентиляції повітря. Тому на них зупинемося більш детально.

2.2. Схеми систем вентиляції

Принципова схема проточної системи вентиляції приведена на рис. 2.2.

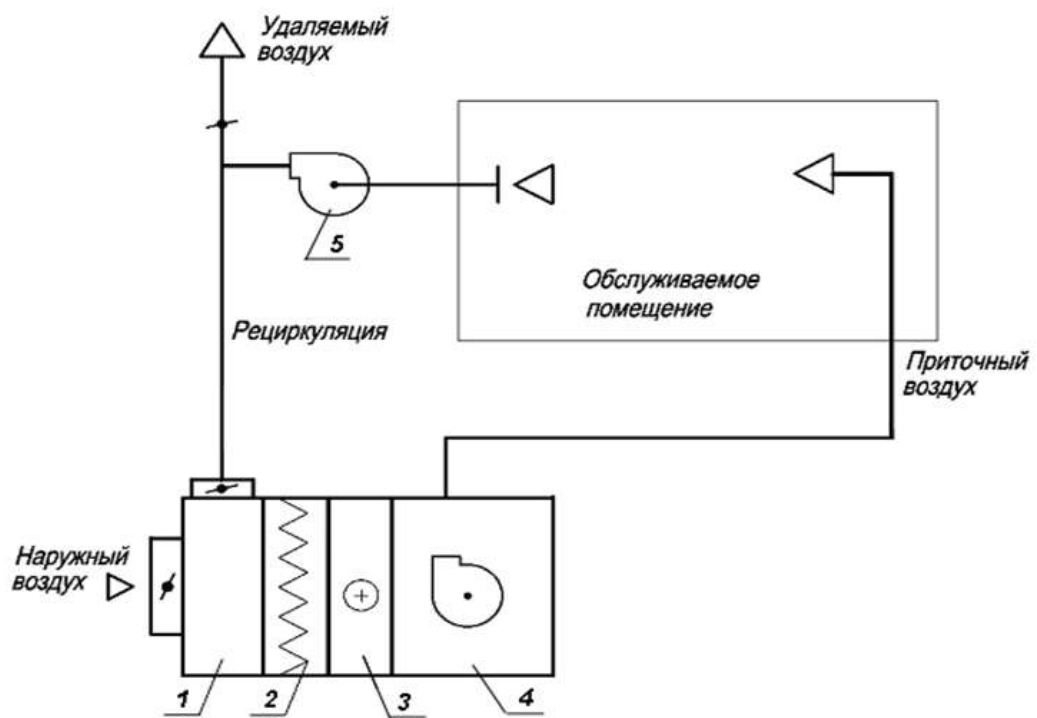


1 – приймальна секція; 2 – повітряний фільтр грубої очистки; 3 – повітряний обігрівач; 4 – приточний вентилятор; 5 – шумоглушник; 6 – витяжний вентилятор

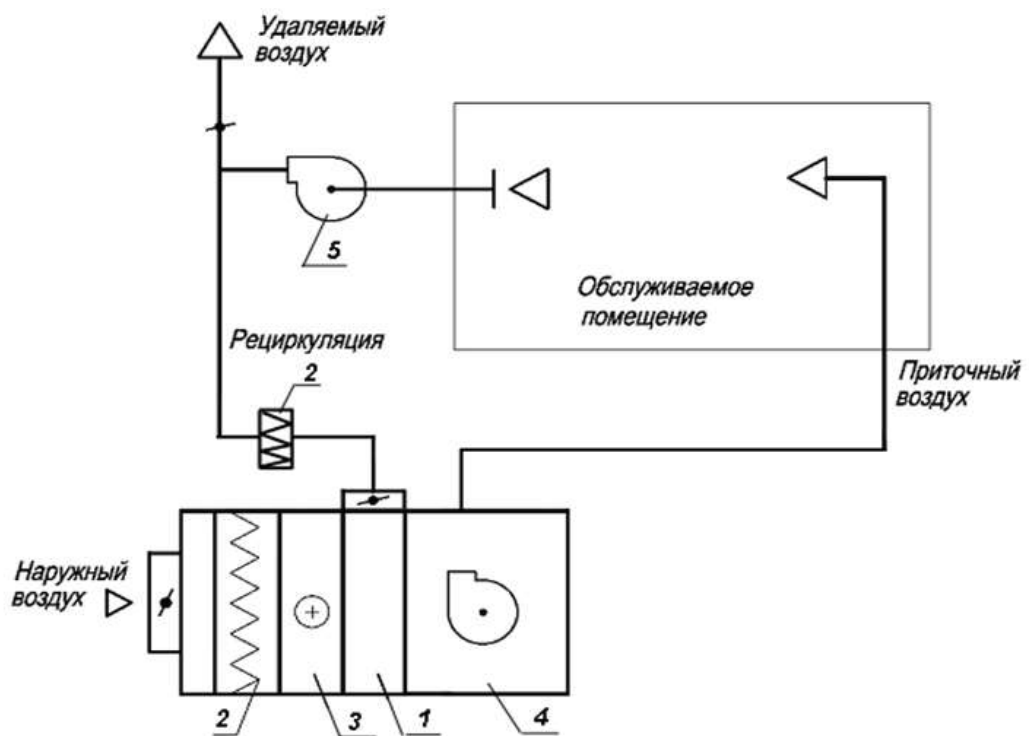
Рис. 2.2. Принципова схема центральної проточної припливної системи вентиляції

На рис. 2.3. показано схеми приточних систем з рециркуляцією повітря. Компонування припливних вентиляційних установок з рециркуляцією повітря за схемами (рис. 2.3) приймається в залежності від побудови процесу обробки повітря на $J - d$ діаграмі. Якщо при змішуванні повітря, що видаляється та зовнішнього повітря точка суміші розташовується нижче $\phi = 100\%$, тобто

утворюється конденсат, то необхідно прийняти компоновку за схемою, представленої на рис. 2.3. зображення б.



а)



б)

1 – змішувальна секція; 2 – повітряний фільтр грубої очистки; 3 – повітряний обігрівач; 4 – приточний вентилятор; 5 – витяжний вентилятор

Рис. 2.3. Принципові схеми центральної припливної системи вентиляції з рециркуляцією

У квартирах житлових будинків застосовують такі схеми систем вентиляції:

- з природним припливом і видаленням повітря системою природної вентиляції;
- з природним припливом і видаленням повітря механічною системою вентиляції;
- з механічним припливом і природним видаленням повітря;
- з механічним припливом і видаленням повітря.

Для зниження теплоспоживання житлових будинків на вентиляцію слід застосовувати схеми систем механічної припливно-витяжної вентиляції з пристроями утилізації теплоти повітря, що видаляється (централізовані і децентралізовані).

РОЗДІЛ 3 ШЛЯХИ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ НА ВИРОБНИЦТВІ

3.1. Критерії вибору систем вентиляції

При остаточному виборі системи вентиляції проектувальники завжди керуються низкою критеріїв, які відображають пріоритети та можливості замовника. Слід брати до уваги той факт, що критерії вибору систем вентиляції у інвесторів, що будують будівлі для подальшого продажу або здачі в оренду, і фахівців, які розробляють проект будівлі, можуть не збігатися. Інвестори зацікавлені виключно в швидкості будівництва і якомога більшої надійності будівель і споруд. Однак економічно вигідне будівництво як правило означає автоматичну відмову від самих високих стандартів якості повітря - стандартів, які, на думку експертів, просто необхідні.

Вибір систем вентиляції в будівлях має проводитися на основі ретельно опрацьованого технічного завдання. Там містяться конкретні вимоги щодо мікроклімату (мінімальна кількість зовнішнього повітря, теплова комфортність і рухливість повітря в приміщенні, яке обслуговується, рівень шуму та інші параметри). При цьому необхідно взяти до уваги необхідний термін служби системи, провести оцінку очікуємих витрат на обслуговування і експлуатацію. Також не треба нехтувати естетичними вимогами дизайнера, користувача і замовника.

Деякі критерії вибору щодо типу системи є ключовими, відповідність їм визначається словами «так/ні»: система або задовольняє цим критеріям, або не задовольняє. Система, яка не відповідає ключовому критерію, не може розглядатися в проекті - хіба що на її прийнятті буде наполягати замовник. Ось деякі з критеріїв.

Функціональні вимоги

Один з найважливіших факторів при виборі системи - це взаєморозуміння замовника і проектувальника в частині функціональності системи. Не має

вкликого значення, наскільки система є якісною в інших аспектах, якщо вона не задовольняє замовленим вимогам функціональності. Однак проектувальник має пояснити замовнику, що, змінивши свої вимоги, він може отримати більший ефект від запропонованого рішення.

Вимоги до продуктивності

Якщо нам необхідно, наприклад, подати повітря припливної системи в певній кількості $\text{м}^3/\text{год}$ при температурі $t \text{ } ^\circ \text{C}$, щоб забезпечити необхідні умови в приміщенні при розрахункових параметрах довкілля, то у проектувальника немає можливості певного вибору. Він мусить передбачити систему, яка забезпечує вказані умови. Однак різні системи характеризуються різною продуктивністю в розрахунку на будівлю в цілому і забезпечують при цьому один і той же ефект.

При виборі продуктивності систем вентиляції основними факторами, при відомих конструктивних і об'ємно-планувальних рішеннях будівлі, є температура зовнішнього повітря, інтенсивність сонячної радіації і величина технологічних навантажень. Необгрунтований кількісний і якісний вибір цих факторів може призвести до відмов в роботі систем вентиляції приміщення або доволі невиправданого запасу потужності системи.

Наприклад, при прийнятті за розрахункову для систем опалення температуру зовнішнього повітря із забезпеченістю 0,92, в практиці проектування, як правило, не перевіряється, яка температура повітря буде в конкретному приміщенні в період різкого похолодання, коли температура зовнішнього повітря буде нижчою за розрахункову. Оцінка ймовірного значення температури внутрішнього повітря в квартирах житлових будинків після 2000 року показує, що для будинків вище 5 поверхів в діапазоні значень розрахункової температури довкілля $-25 \dots -30 \text{ } ^\circ \text{C}$ температура внутрішнього повітря (при відсутності тепловиділень) знизиться до $12-13 \text{ } ^\circ \text{C}$, що на наш погляд не можна вважати прийнятним [9].

Вимоги до розміщення

Рекомендована система вентиляції повинна розміщуватися в тій частині будівлі, яку для неї відведено. Неважливо, наскільки система надійна, та дешева в

експлуатації, малошумна, - неможливо її буде використовувати, якщо немає спеціального місця для її розміщення.

Капітальні витрати

Початкові капітальні вкладення включають у себе не тільки вартість самої системи, а ще й вплив різних систем на вартість електропостачання, вартість займаної площі та спеціальних будівельних робіт і огорож, а також можливості перепланування або установки додаткового спеціального обладнання. Очікуваний термін експлуатації системи також пов'язаний з капітальними витратами.

Експлуатаційні витрати

В першу чергу йдеться про вартість енергії, тому що як правило це найбільша складова експлуатаційних витрат. Можливість використання «безкоштовного» холоду в зимовий час, утилізації тепла для вентиляції, запобігання пікових навантажень за допомогою акумуляторів тепла впливає на вартість електропостачання. Крім того враховується, чи буде необхідно для системи періодичний нагляд або наявність постійного обслуговуючого персоналу? Яка порівняльна вартість планового технічного обслуговування і ремонту? Для систем з водяним охолодженням велике значення може грати вартість води, хімічної водопідготовки та спеціальних водостоків.

Комфорт

У цьому розділі порівнюються можливості кожної системи відносно забезпечення комфортних умов, розглядаються питання місцевого регулювання температури, зонального регулювання, шуму, подачі зовнішнього вентиляційного повітря, можливості стельового опалення, локалізації протягів з боку вікон при великій висоті скління, порівняльної ефективності різних способів очищення повітря, а також наслідки відмови одного з елементів обладнання.

Як не буває єдиної оптимальної системи для кожного проекту, так немає і єдиного правильного способу представлення результатів вибору систем. Одним із способів подання великого обсягу інформації в стислій формі є зведена таблиця. У простому проекті для ухвалення прийнятих рішень достатньо таблиці з доволі грубими оцінками (посередньо, добре, краще, дуже добре) і супровідного листа для замовника. Така таблиця може включати інформацію про те, які системи

розглядалися, які недоліки і переваги кожної з них для даного проекту за означеними вище параметрами.

Більш складні проекти можуть займати досить багато сторінок зі схемами, рисунками, розрахунковими таблицями, пояснювальним текстом і кількісними порівняннями.

3.2. Обмежувальні умови щодо вибору вентиляційних систем

Не може існувати найкращої єдиної системи кліматизації на всі випадки. Не може існувати також єдиної оптимальної системи як для різного типу проектів, так і для кожного проекту окремо. Існують лише системи, які придатні або непридатні для даного проекту. Серед таких систем одні будуть працювати краще, інші гірше. Проблема вибору полягає в тому, щоб відкинути неприйнятні варіанти, а потім порівняти переваги працездатних систем. Спочатку необхідно визначити, чи усі працездатні системи відповідають обмежувальним умовам конкретного проекту.

Розрахункові навантаження по теплу і холоду

Система охолодження повинна забезпечувати відведення тепла з приміщень відповідно до теплових надходжень; система опалення - обігрів відповідний до тепловтрат. Це відноситься як до будівлі в цілому, так і до кожного окремого приміщення. Це означає, що проектувальник повинен розраховувати пікові навантаження для кожного приміщення і для кожної системи, а не використовувати якісь наближені значення питомих показників, що взяті з практики. Це також означає, що потужність установки має бути не менше розрахункової.[10].

Одним з основних показників при виборі схемних рішень системи вентиляції та кондиціонування повітря є нерівномірність розподілу теплових навантажень в приміщеннях, що обслуговуються, ця нерівномірність характеризується поняттям «градієнт теплового навантаження». Його величина (3.1) визначається як відношення відносного теплового навантаження окремих

приміщень q_i до середнього розрахункового по всій площі будівлі, де працює система кондиціонування повітря q_{cp} :

$$D_q = q_i / q_{cp} \quad (3.1)$$

Чим більшим є відхилення значень градієнтів від 1, тим більшими регулюючим діапазоном повинна забезпечувати система кондиціонування повітря.

Зональне регулювання

Тривалість пікових навантажень може становити лише кілька годин на рік, і в приміщеннях на різних сторонах будівлі пікові навантаження можуть бути в різний час доби або в різні місяці. Деякі внутрішні зони потребують охолодження цілий рік, незалежно від параметрів зовнішнього повітря [10]. Для постійної підтримки необхідної температури в кожному приміщенні система має забезпечувати необхідну продуктивність відповідно до графіка. Це означає, що необхідна можливість регулювання зміни продуктивності системи для кожного приміщення (або групи приміщень). Системи різних типів використовують різноманітні методи регулювання продуктивності, які можуть значно впливати на розмір систем і експлуатаційні витрати.

Опалення

Система має компенсувати теплові втрати через зовнішні стіни та покрівлю, а також забезпечувати нагрів зовнішнього повітря, яке подається в будівлю (вентиляція) або проникає через нещільність (інфільтрація). Подача тепла у внутрішню зону не в змозі відшкодувати теплові втрати через скло в приміщеннях периметральної зони. Для підтримки належних комфортних умов в холодний період року система опалення має також оберігати персонал від спадаючих холодних потоків повітря, що надходять від вікон і від зовнішніх стін з недостатньою теплоізоляцією.

Вентиляція

Люди, що знаходяться в приміщеннях, потребують свіжого підготовленого повітря. У загальному випадку кількість вентиляційного повітря повинно відповідати рекомендаціям і правилам. Вимоги до систем вентиляції

передбачають зниження концентрації різноманітних забруднень повітря до прийнятного рівня. В основному це забруднення біологічного походження, викликані присутністю людей, це пояснює той факт, що вимоги до вентиляції використовують показник витрати припливного повітря в м³/год. на одну людину [11]. Однак в приміщеннях є й інші джерела шкідливих виділень: оргтехніка, лазерні принтери, факси, килими, оздоблювальні матеріали, а іноді навіть меблі.

Архітектурні обмеження

Зазначені системи повинні вписуватися в відведений для них простір. Для одних систем критичним може бути висота поверху, для інших - віжстань між встановленим обладнанням і стелею. Інші фактори, пов'язані з розміщенням, можуть включати місце для прокладки повітряпроводів, машинні зали або невеликі кімнати для обладнання устаткування. Так зване «вторгнення» у приміщення додаткової апаратури важливо для багатьох замовників і для більшості архітекторів. «Вторгнення» може також бути візуальним: якщо систему неможливо зробити невидимою, вона повинна гармоніювати з дизайном інтер'єру.

Бюджет

Дуже часто бюджет буває самим жорстким обмеженням, яке має першочергову важливість для замовників. І хоча більшість замовників обмежені певною сумою витрат на проект, деякі визнають, що система з низьким енергоспоживанням та дешевим обслуговуванням - це гарне вкладення капіталу. Замовники іноді можуть піти й на великі капіталовкладення, якщо заздалегіть бачать попередньо розраховане зниження річних витрат. Інформація, яка може переконати їх у цьому, повинна міститися в проектній документації.

Стандарти та нормативи

Проектувальники завжди зобов'язані розробляти такі системи, що задовольняють чинним стандартам і нормативам. Крім цього необхідно отримати дозвіл на будівництво спроектованої системи, а це у свою чергу передбачає розгляд проекту в наглядових органах. Іноді проектувальники пропонують альтернативні рішення, які повинні бути погоджені з наглядовими органами. Доцільно обговорити ці питання ще до того, як офіційно звернутися за узгодженням, до початку будівництва. У зв'язку із цим проектувальник повинен

орієнтуватися у законодавстві, знати всі наглядові органи, що мають відповідні юридичні права, і вміти регулювати суперечливі питання у всіх інстанціях, від яких залежить отримання дозвілу.

Навантаження

При виборі системи необхідно розглядати усі типи навантажень та їх розподіл по приміщеннях.

Явна і прихована теплота. Навантаження на охолодження складається з явної та прихованої частин (визначаються відповідно температурою повітря по сухому термометру і вологовмісту повітря). На психрометричній діаграмі явне тепло представлено горизонтальним відрізком, а приховане тепло, або вологовміст - вертикальним.

Приміщення та холодильне обладнання

Тепло у приміщення надходить за рахунок трансмісійної теплопередачі через огороження, сонячної радіації через вікна та внутрішніх тепловиділень. Теплообмінник-охолоджувач має асимілювати не тільки теплонадходження в приміщення, а також і нагрів рециркуляційного повітря, тепло й вологу зовнішнього вентиляційного повітря і тепловиділення вентиляторів, які є частиною охолоджувача [12]. Таким чином, теплове навантаження приміщення значно відрізняється від теплового навантаження на холодильне устаткування, яке, в свою чергу, залежить від типу систем.

Частка явного тепла

Цей показник визначається відношенням явного тепла до повного (суми явної та прихованої теплоти). Частка явного тепла в навантаженні приміщення відрізняється від цього ж показника для холодильного обладнання. Частка явного тепла для певного приміщення визначає оптимальну температуру і витрату припливного повітря.

3.3. Сучасні методи розрахунку повітрообміну у промислових приміщеннях

При розрахунку повітрообміну необхідно мати уявлення про схему організації повітрообміну в приміщенні. У тому числі необхідно знати розподіл

параметрів повітря в об'ємі приміщення і витрату повітря, що подається і видаляється з окремих частин приміщення системами місцевої вентиляції.

Основні принципи, якими слід керуватися при виборі схем подачі - видалення повітря в приміщенні:

- подача припливного повітря (загально обмінна приплив) повинна передбачатися в зону дихання, припливні струмені не повинні проходити через забруднені зони приміщення;
- видалення повітря доцільно здійснювати безпосередньо від місць освіти шкідливих виділень (місцеві відсмоктувачі, парасолі та інші укриття систем місцевої вентиляції);
- загально обмінна витяжка влаштовується з зон приміщення з найбільшим забрудненням повітря;
- співвідношення між потоками подається і видаляється з приміщень повітря вибирають таким, щоб забезпечити спрямування і достатній потік повітря, що перетікає з "чистих" приміщень в "забруднені" суміжні приміщення;
- в будівлі і окремих його частинах і секціях, як правило, повинен бути повний баланс між сумарним припливом і сумарною витяжкою.

У більшості приміщень промислових будівель для загальнообмінної вентиляції припливні і витяжні пристрої можна розміщувати у верхній зоні приміщення. У приміщеннях з зосередженими джерелами тепловиділень припливні струмені не повинні порушувати роботи місцевих відсмоктувачів або розбивати природну конвективну струмінь над нагрітим обладнанням.

Таким чином можна констатувати, що в основу визначення повітрообміну закладений принцип розрахунку на максимальну величину потоку шкідливих виділень. Справедливо вважають, що розрахований по максимуму шкідливих виділень повітрообмін впадає і з меншою їх кількістю, а можливі коливання параметрів повітря в робочій зоні будуть скориговані системами автоматичного регулювання.

У приміщеннях цивільних і виробничих будівель часто виділяються кілька видів шкідливих виділень. Для обчислення загального припливу і витяжки або температури припливу необхідно скласти систему балансових рівнянь витрат

повітря і потоків шкідливих виділень. Оскільки кількість шкідливих виділень може бути значною, виходить система, що складається з декількох лінійних рівнянь, яку нескладно вирішити, використовуючи комп'ютер і пакет математичних програм, наприклад MatCAD.

Можливо замінити систему рівнянь витрат і тепломісткості одним рівнянням балансів зміни тепломісткості, але його складання вимагає певних навичок і досвіду. Саме останнім способом користуються досвідчені інженери.

В результаті вирішення цих рівнянь отримують величину повітрообміну, що забезпечує підтримання необхідної температури в робочій зоні. Її величина порівнюється зі значеннями повітрообмінів, достатніми для підтримки в робочій зоні гранично допустиму концентрацію всіх інших видів шкідливих виділень, що обчислюються за формулою:

$$L = \frac{M_{\text{вр}}}{C_{\text{рз}} - C_0} \quad (3.2)$$

де $M_{\text{вр}}$ - кількість і-го шкідливого газу чи пару, що виділяється, мг/год.,

$C_{\text{рз}}$ та C_0 - концентрація шкідливих викідів, відповідно у робочій зоні та приточному повітрі, мг/м³

За розрахунковий повітрообмін приймається найбільше з отриманих значень, після чого уточнюється температура припливу.

Послідовність складення балансових рівнянь

1. Приймається рішення про організацію повітрообміну в приміщенні зони подачі припливу і розміщення витяжних отворів (робоча зона, верхня). Уточнюється можливість пристрою аерації за технологічними вимогами.

2. Викреслюється схема організації повітрообміну, на якій вказуються всі види витрат: приплив механічний (загальний, місцевий) або природний; витяжка місцева, загальнообмінна на схемі вказується величина теплонадлишків або теплодефіциту.

3. Складаються балансові рівняння витрат повітря і тепловмісту. При складанні рівняння витрат керуються правилом: повітря, що надходить в приміщення, має знак плюс, що видаляється - знак мінус. У рівнянні тепловмісту знак теплонадходжень - плюс, тепловтрат - мінус. Тепловміст являє собою добуток питомої теплоємності повітря, $C_{\text{пов}}$ кДж/(кг·°C), маси повітряного потоку G кг/год та температури t °C.

Рівняння зміни тепловмісту складається, виходячи з таких передумов:

- припливне повітря видаляється або через місцеві відсмоктувачі, або з верхньої зони;
- зміна теплоти повітря, що видаляється через місцеві відсмоктувачі визначається різницею температур ($t_{\text{пр}} - t_{\text{рз}}$), а кількість теплоти складатиме $C_{\text{пов}} G_{\text{мв}} (t_{\text{пр}} - t_{\text{рз}})$;
- повітря, що видаляється через вікна, фрамуги, аераційні шахти змінює свою температуру від $t_{\text{пр}}$ до t_y , а тепло що видаляється із верхньої зони $C_{\text{пов}} G_{\text{мв}} (t_{\text{пр}} - t_y)$;
- складання балансового рівняння полягає у прирівнювання теплоти що видаляється до теплонадлишків або теплодефіциту приміщення $\pm Q$.

Рішення

- Система рівнянь витрат повітря і тепловмісту або рівняння зміни тепловмісту аналізується з метою виявлення невідомих величин, які необхідно визначити.
- Вирішується система складених рівнянь.
- Проводиться аналіз отриманих результатів, згідно яких приймається остаточне рішення про прийнятність (неприйнятність) обраної системи.

РОЗДІЛ 4 ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ СПОРУД

Системи вентиляції промислових будівель по відношенню до систем цивільних будівель та адміністративно-побутових корпусів мають такі відмінні риси: значно більші витрати повітря; великі швидкості руху повітря у повітроводах; великі площі поперечних перерізів повітроводів; переважне використання повітроводів круглого перерізу; наявність великої кількості загальнообмінних та місцевих припливно-витяжних систем.

Проектування та монтаж систем промислової вентиляції мають свої специфічні вимоги залежно від технологічних особливостей виробничих процесів, що виконуються на ділянках цехів. Висока концентрація шкідливих компонентів у повітрі, що видаляється, місцевими витяжними системами передбачає його очищення в спеціальному обладнанні перед викидом в атмосферу.

4.1. Вихідні дані до проектування

Тепловий баланс споруди.

Для складання теплового балансу будівлі необхідно визначити всі тепловтрати та теплонадходження, які мають місце у приміщеннях. Величину витрати тепла та теплонадходжень заносять до таблиці теплового балансу (табл. 4.1) та визначають надлишок або нестачу тепла для кожного періоду року (холодної, теплої та перехідної) по всіх приміщеннях будівлі за формулами:

$$Q_{\text{надл}} = \sum Q_{\text{пост}} - Q_{\text{втр}} > 0 \quad (4.1)$$

$$Q_{\text{нед}} = \sum Q_{\text{втр}} - Q_{\text{пост}} > 0 \quad (4.2)$$

Таблиця 4.1. Тепловий баланс приміщення

Период року	Тепловтрати, Вт					Теплонадходження, Вт								Баланс тепла, Вт	
	Через огорожувальні конструкції	На нагрів інфільтруючого повітря	На нагрів матеріалів і транспорту	Інші	Всього	Від людей	Від освітлення	Від нагрітих матеріалів	Від електромеханічного обладнання	Від сонячної радіації через світові отвори	Від сонячної радіації через покриття	Інші	Всього	Недостаток (формула (2))	Надлишок (формула (1))
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Теплові надходження

Тепловіддача від людей, Вт, залежать від енергії, що виділяється людьми при роботі (категорії робіт) і температури навколишнього повітря в приміщенні:

$$Q_{\text{люд}} = q_{\text{явн}} \quad (4.3)$$

де $q_{\text{явн}}$ – явне тепло, що виділяється людиною (чоловіком), Вт/чол., приймається залежно від температури внутрішнього повітря та категорії робіт за табл. 4.2; n – кількість робітників за зміну, чол.

Таблиця 4.2. Кількість теплоти та вологи, що виділяється дорослою людиною

Температура довкілля, °С	Кількість теплоти $q_{\text{явн}}$, Вт, та вологи w , г/год, що виділяються дорослим чоловіком							
	У стані спокою		при легкій роботі		при роботі середньої тяжкості		при важкій роботі	
	w	$q_{\text{явн}}$	w	$q_{\text{явн}}$	w	$q_{\text{явн}}$	w	$q_{\text{явн}}$
15	30	120	55	120	110	135	185	165
16	32	114	59	116	116	129	196	158
17	34	108	63	112	122	123	207	151
18	36	102	67	108	128	117	218	144
19	38	96	71	104	134	111	229	137
20	40	90	75	100	140	105	240	130
21	42	84	83	93	149	98	251	123
22	44	78	91	86	158	91	262	116
23	46	72	99	79	167	84	273	109

24	48	66	107	72	176	77	284	102
25	50	60	115	65	185	70	295	95
26	55	56	122	60	194	64	307	86
27	60	52	129	55	203	58	319	77
28	65	48	136	50	212	52	331	68
29	70	44	143	45	221	46	341	59
30	75	40	150	40	230	40	355	50

Тепловиділення від джерел штучного освітлення, Вт:

$$Q_{\text{осв}} = E \cdot F \cdot q_{\text{осв}} \cdot \eta_{\text{осв}}, \quad (4.4)$$

де E – нормована освітленість приміщення, лк (табл. 4.3); F – площа підлоги приміщення, м^2 ; $q_{\text{осв}}$ – питомі тепловиділення від ламп, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{лк})$ (табл. 4.4); $\eta_{\text{осв}}$ – частка теплоти, що надходить приміщення (при люмінесцентних лампах $\eta_{\text{осв}} = 0,45$; при лампах розжарювання $\eta_{\text{осв}} = 0,15$).

Для більшості приміщень, що мають природне освітлення, теплонадходження від джерел штучного освітлення враховуються у холодний та перехідний період року.

Таблиця 4.3. Нормована освітленість приміщень, лк

№ п/п	Помещение	E , лк
1	Ковальські, термічні, фарбувальні, складальні, гальванічні цехи	150
2	Механічні, ремонтно-механічні, зварювальні, деревообробні, електроремонтні цехи	200
3	Технічне обслуговування та ремонт автомобілів та с/г техніки	200

Таблиця 4.4. Питомі тепловиділення від світильників

Тип світильника	Питомі тепловиділення, $q_{\text{осв}}$, Вт/(м²лк), для приміщень площею, м²					
	менше 50		50–200		більше 200	
	при висоті приміщення, м					
	≤ 4	> 4	≤ 4	> 4	≤ 4	> 4

Люмінесцентні 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

Надходження тепла від сонячної радіації через заповнення світлових отворів. Кількість тепла, Вт, що надходить у приміщення в теплий період року через світлові отвори, для найбільш спекотного місяця року:

$$Q = q' F_0' + q'' F_0'' \beta \quad (4.5)$$

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

F_0' , F_0'' - площі світлових прорізів, відповідно, освітлених і не опромінюваних прямою сонячною радіацією, м²;

β – коефіцієнт теплопропускання сонцезахисних пристроїв (штори, жалюзі і т.ін.).

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

$$q' = q_{\text{п}}^{\text{с}} + q_{\text{р}}^{\text{с}} K_1 K_2 \quad (4.6)$$

Для вертикального заповнення світлових прорізів, що знаходяться в тіні,

$$q'' = q_{\text{р}}^{\text{с}} K_1 K_2 \quad (4.7)$$

де $q_{\text{п}}^{\text{с}}$, $q_{\text{р}}^{\text{с}}$ - кількість теплоти прямої та розсіяної сонячної радіації, Вт/м², що надходить у приміщення в розрахунковий час, приймаються в залежності від географічної широти та орієнтації світлових прорізів. За розрахунковий приймається час для якого ці значення максимальні.

K_1 - коефіцієнт, що враховує затінення світлових прорізів скління обкладинкою (табл. 4.5);

K_2 - Коефіцієнт, що враховує забруднення скла (табл. 4.6).

Таблиця 4.5. Коефіцієнт K_1

Заповнення світлового отвору	K_1
Скління без палітурки:	
одинарне	1,0
подвійне	0,9
Скління в металевих палітурках:	
одинарне	0,8
подвійне	0,72
Скління в дерев'яних палітурках:	
одинарне	0,65
подвійне	0,6

Таблиця 4.6. Коефіцієнт K_2

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

Надходження тепла від сонячної радіації через масивні огорожувальні конструкції. Надходження тепла, Вт, у теплий період року у приміщення через масивні огорожувальні конструкції (зовнішні стіни та покриття):

$$Q_{o/k} = q_{cp} + \Delta q \cdot F = Q_{cp} + A_q \quad (4.8)$$

де Q_{cp} - середня за добу кількість теплоти, що надходить, Вт;

A_q – частина теплонадходів, що змінюється протягом доби, Вт;

F – площа масивної огорожувальної конструкції, м²

Теплонадходження через зовнішні стіни незначні і ними можна знехтувати [13], а теплонадходження через перекриття можна визначити за середньодобовими значеннями:

$$Q_{\text{пок}} = Q_{\text{ср}} = F \frac{\left(t_{\text{н}} + \frac{\rho \cdot q_{\text{н+р}}^{\text{р}}}{\alpha_{\text{н}}} - t_{\text{в}} \right)}{R_0} \quad (4.9)$$

де $t_{\text{в}}$ - Розрахункова температура внутрішнього повітря в теплий період року, °C;

$t_{\text{н}}$ – середньомісячна температура зовнішнього повітря за липень [2], °C;

ρ – коефіцієнт поглинання сонячної радіації перекриттям;

$q_{\text{н+р}}^{\text{р}}$ - середньодобова кількість теплоти від сумарної (прямой та розсіяної) сонячної радіації, що надходить на поверхню покриття, Вт/м²;

$\alpha_{\text{н}}$ - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні покриття, Вт/(м²•K).

Опір теплопередачі покриття R_0 , м²•K/Вт, визначається за формулою

$$R_0^{\text{тп}} = \frac{n(t_{\text{в.х}} - t_{\text{н}}^{\text{б}})}{\Delta t^{\text{н}} \alpha_{\text{в}}} \quad (4.10)$$

де n – коефіцієнт, що приймається залежно від положення зовнішньої поверхні конструкцій, по відношенню до навколишнього середовища, для горизонтального покриття $n = 1$;

$t_{\text{в.х}}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря для холодного періоду року, °C;

$\Delta t^{\text{н}}$ – нормативний температурний перепад між температурою внутрішнього повітря та температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції.

Таблиця 4.7. Середньодобова кількість теплоти від сумарної (прямої та розсіяної) сонячної радіації у липні

Географічна широта, град.	Середньодобове значення, Вт/м ² , $q_{п+р}^{\Gamma}$	Географічна широта, град.	Середньодобове значення, Вт/м ² , $q_{п+р}^{\Gamma}$
36	344	56	327
40	333	60	319
44	331	64	319
48	328	68	332
52	329		

Теплонадходження від електромеханічного обладнання. Надходження тепла від електродвигунів, Вт, та обладнання, що ними приводиться в дію

$$Q_{эл} = N_y K_{сп} (1 - K_{п} \eta + K_{т} K_{п} \eta) 10^3 \quad (4.11)$$

де N_y - встановлена потужність електродвигунів, кВт;

$K_{сп}$ – коефіцієнт попиту електроенергію, за відсутності даних можна прийняти 0,2–0,8;

$K_{т}$ = 0,9–1,0 – коефіцієнт переходу тепла до приміщення;

$K_{п}$ = 0,9–1,0 – коефіцієнт, що враховує повноту завантаження електродвигуна;

η = 0,75 – 0,92 – ККД електродвигуна при його повному завантаженні.

Тепловиділення від нагрівальних печей. Кількість теплоти, Вт, що надходить від нагрівальних печей (через стінки теплового балансу печей):

$$Q_{н.п} = 0,278 \cdot B \cdot Q^p \cdot \eta \quad (4.12)$$

де B – витрата палива, кг/год;

Q^p - теплота згоряння палива, кДж/кг;

η – втрати у цеху, у частках (за відсутності даних $\eta = 0,3$).

Тепловиділення через відкриті отвори та нещільність печей. Кількість теплоти, Вт, що надходить у приміщення через відкриті отвори та нещільності печей від продуктів згоряння:

$$Q_{\text{отв.п}} = 0,278 \cdot c \cdot G_{\text{г}}(t_{\text{г}} - t_{\text{в}}) \quad (4.13)$$

де $c = 1,05$ кДж/(кг•°C) – питома теплоємність газів;

$G_{\text{г}}$ – кількість газів, що вибиваються з печі, кг/год;

$t_{\text{г}}$ – температура газів, що надходять до цеху, зазвичай приймається на 150 °C нижче температури газів у печі $t_{\text{п}}$;

$t_{\text{в}}$ – температура внутрішнього повітря у цеху.

Тепловиділення від остигаючого матеріалу. Якщо у приміщенні падають матеріали та вироби у нагрітому стані (наприклад, з нагрівальних печей), необхідно враховувати тепло, яке вони віддають приміщенню при охолодженні. Якщо остигаючий матеріал знаходиться в твердому стані, то кількість тепла, Вт, що виділяється їм у приміщення:

$$Q_{\text{м}} = 0,278 \cdot c \cdot G_{\text{м}}(t_{\text{н}} - t_{\text{к}})b \quad (4.14)$$

де $G_{\text{м}}$ - кількість остигаючого матеріалу, кг;

c – середня теплоємність матеріалу (для сталі $c = 0,73$ кДж/(кг•°C), для чавуну $c = 0,76$ кДж/(кг•°C));

$t_{\text{н}}$ – початкова температура матеріалу, що вивантажується, приймається на 50–100 °C нижче температури печі $t_{\text{п}}$;

$t_{\text{к}} = t_{\text{в}}$ - кінцева температура вивантаженого матеріалу;

b - коефіцієнт, що враховує нерівномірність виділення тепла за часом.

Тепловиділення від зварювальних постів. Теплота, що виділяється до приміщення, може бути прийнята від одного електрозварювального посту в розмірі $Q_{\text{е.п}} = 4600 \text{ Вт}$, а від поста газового зварювання – 10000 Вт [13].

Теплові втрати

Тепловтрати через огорожувальні конструкції. Розрахунок тепловтрат будівлі через огорожувальні конструкції ведемо за укрупненими показниками. Тепловтрати будівлі, Вт, через огорожувальні конструкції в холодну пору року:

$$Q_{\text{огр}}^{\text{хпт}} = q_{\text{уд}} \cdot V(t_{\text{в}} - t_{\text{н}}^{\text{б}}) \quad (4.15)$$

де V - Зовнішній обсяг будівлі, м³;

$t_{\text{в}}$ - температура внутрішнього повітря, °С;

$t_{\text{н}}^{\text{б}}$ – розрахункова зимова температура зовнішнього повітря, °С;

$q_{\text{уд}}$ – питома теплова характеристика будівлі (для виробничих будівель $q_{\text{уд}} = 0,4 \text{ Вт}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{С})$).

Тепловтрати на нагрівання інфільтраційного повітря. Тепловтрати на нагрівання інфільтраційного повітря, тобто повітря, що надходить у приміщення через нещільності заповнення світлових отворів та огорож (неорганізований повітрообмін), можна прийняти рівними 30% від основних втрат тепла:

$$Q_{\text{инф}} = 0,3 \cdot Q_{\text{огр}} \quad (4.16)$$

Тепловтрати, Вт, на нагрівання матеріалу, сировини, що ввозиться в приміщення

$$Q_{\text{мат}} = 0,278 \cdot c \cdot G_{\text{м}}(t_{\text{в}} - t_{\text{м}})b \quad (4.17)$$

де $G_{\text{м}}$ - кількість матеріалу, що ввозиться, кг;

$t_{\text{м}}$ – початкова температура матеріалу, що надходить у цех, °С;

t_v – температура навколишнього повітря у приміщенні, °C;

b – коефіцієнт, що враховує загальну частку кількості теплоти, що сприймається матеріалом за кожну годину.

Температура матеріалу t_m приймається для матеріалів, що надходять із сусідніх приміщень, за технологічним завданням; температура матеріалів, виробів, що надходять з вулиці, визначається: для металу – рівною розрахунковій температурі зовнішнього повітря t_n , для інших несипких матеріалів та виробів – на 10 °C вище t_n ; для сипких матеріалів (піску, руди, вугілля тощо), а також волокон та одягу – на 15 °C вище t_n .

Вологовиділення

Надходження вологи до приміщення відбувається внаслідок випаровування з поверхні шкіри та дихання людей, випаровування зі вільної поверхні, випаровування з вологих поверхонь матеріалів та виробів, а також сушіння матеріалів, хімічних реакцій, роботи технологічного обладнання.

Вологовиділення людей залежить від категорії робіт і температури навколишнього повітря у приміщенні, г/год.:

$$W_{\text{л}} = w \cdot n \quad (4.18)$$

де w – кількість вологи, що виділяється однією дорослою людиною (чоловіком), г/год;

n – кількість робітників за зміну, чол.

З відкритої водної поверхні. Кількість вологи, що випарувалася з поверхні некиплячої води (при t_w до 100 °C), кг/год

$$W_{\text{в}}^{\text{некип}} = (a + 0,131 \cdot v_{\text{в}})(P_{\text{в.п}}^{\text{пов}} - P_{\text{в.п}}^{\text{окр}}) \frac{101,3}{B} F \quad (4.19)$$

де a – температурний коефіцієнт поверхні випаровування;

$P_{\text{вп}}^{\text{пов}}$ – тиск водяної пари, що насичують повітря у приміщенні, при температурі поверхні води t_w , кПа;

$P_{\text{вп}}^{\text{окр}}$ – тиск водяної пари, що міститься в навколишньому повітрі, кПа;

B – барометричний тиск внутрішнього повітря, кПа, $B = 760$ мм рт. ст. = 101,308 кПа;

u_v – швидкість руху повітря над поверхнею випаровування, м/с;

F – площа поверхні випаровування, м^2 .

Пиловиділення

Виділення пилу відбувається при дробленні та розмолі, перевантаженні сипких матеріалів, при обдирці та шліфуванні, заточуванні та розфасовуванні, у деревообробній промисловості. При розрахунку місцевої витяжної вентиляції від обладнання, що виділяє пил, зазвичай виявляється достатнім знати інтенсивність пиловиділення і тип самого обладнання, оскільки визначити, скільки пилу надходить у повітря, майже неможливо. Тут оперують не цифрами, а такими умовними поняттями, як інтенсивне пиловиділення (подрібнення та розмелювання, перевантаження сипучих матеріалів), значне пиловиділення (обдирання та шліфування, робота з прес-порошками, заточування, розфасовка), незначне пиловиділення (в текстильній, деревообробній промисловості).

Газовиділення

Шкідливі гази та пари виділяються у повітря приміщення у таких випадках: при хімічних реакціях та інших процесах в апаратах; при випаровуванні з відкритих поверхонь резервуарів та ванн, заповнених різними розчинами, лугами та ін., а також зі змоченою розчинами та лугами поверхні предметів при переміщенні їх по цеху; через нещільності в кладці полум'яних печей; через

відкриті оглядові та завантажувальні щілини та вікна, нещільності укриттів над устаткуванням, що встановлюється у місцях виділення шкідливих речовин.

Двоокис вуглецю CO₂, що виділяється людьми. Вуглекислий газ, г/год, що виділяється дорослими людьми під час виконання робіт різної тяжкості:

$$G_{\text{л}} = q_{\text{co}_2} \cdot n, \quad (4.20)$$

де q_{co_2} – кількість вуглекислоти, що виділяється однією людиною г/год.;

n – кількість лідей, працюючих у зміні.

Газовиділення від шкідливих виробництв визначаються окремо у кожному випадку, в залежності від характеру виробництва, терміну роботи обладнання тощо.

Для подальшого розрахунку систем вентиляції сумарні шкідливі виділення у приміщенні заносять до розрахункової відомості, поданої у вигляді табл. 4.8.

Таблица 4.8.

Период року	Найменування приміщення (цеха)	Об'єм приміщення	Газо- та пило виділення, г/год	Теплонадишки, Вт	Вологовиділення, кг/год
1	2	3	4	5	6

4.2. Методика розрахунку вентиляційної установки

Вибір типу та кількості вентиляторів здійснюється, виходячи з необхідної сумарної продуктивності вентиляційної установки. За розрахункову продуктивність системи вентиляції приймається максимально можлива необхідна

витрата повітря за умовами: видалення вологи, видалення тепла, видалення вуглекислоти. В основі розрахунку продуктивності лежить співвідношення:

$$L_1 = \frac{z_i}{z_{iB} - z_{iH}} \quad (4.21)$$

де L_1 - необхідна продуктивність вентиляційної установки з точки зору підтримки всередині приміщення i -ї компоненти складу повітря, на рівні норми z_{iB} , за умови, що кількість шкідливої компоненти, що виділяється в приміщенні, дорівнює z_i та її вміст у зовнішньому повітрі дорівнює z_{iH} .

Витрата повітря для вентиляції промислового приміщення визначають за такими показниками. Витрата повітря на видалення надлишкової вологи:

$$L_B = \frac{W}{d'_2 - d'_1} N_c \quad (4.22)$$

де W -кількість вологи, що виділяється людьми та іншими джерелами;

d'_2 ; d'_1 - допустимий вміст вологи в повітрі всередині та зовні приміщення;

Витрата повітря на видалення надлишкової вуглекислоти:

$$L_{CO_2} = \frac{1,2 \cdot c \cdot N_c}{c_2 - c_1} \quad (4.23)$$

де c – кількість шкідливостей, що виділяються однією людиною;

c_2 -допустимий вміст вуглекислоти всередині приміщення;

c_1 - допустимий вміст вуглекислоти у зовнішньому повітрі.

Витрата повітря на видалення надлишкової теплоти:

$$L_\tau = \frac{Q \cdot (1 - \alpha \cdot \Theta) \cdot N_c}{c \cdot (\Theta_B - \Theta_H)} \quad (4.24)$$

де Q - зайва теплота в тепловому балансі, що виділяється у приміщенні;

с - теплоємність повітря.

Розрахунковий напор вентилятора:

$$H_p = H_d + H_c \quad (4.25)$$

де H_d - динамічний напор, Па;

H_c - статичний напор, Па.

За годинною продуктивністю та розрахунковим напором вибирають сам вентилятор.

Необхідна потужність вентилятора:

$$P_n = \frac{K_z \cdot L_B \cdot H_p}{3600 \cdot \eta_B \cdot \eta_{II}} \quad (4.26)$$

де K_z – коефіцієнт запасу;

η_B - коефіцієнт корисної дії вентилятора;

η_{II} -коефіцієнт корисної дії передачі.

Вибір електричного двигуна. Досвід експлуатації вентиляційних установок промислових приміщень показує, що приводи вентиляторів припливу в основному працюють у тривалому режимі.

У зв'язку з цим вибирають електричний двигун, виходячи з таких умов:

1. Кліматичне виконання та категорія розміщення СУ2.
2. Спосіб захисту від впливу довкілля IP54.
3. Конструктивне виконання та спосіб монтажу IM1081.
4. За модифікацією.
5. За частотою обертання.

6. За родом струму та напруги (змінного струму $\sim I$, $U_N = 380/220$ В).

7. За потужністю.

Перевірку правильності розрахунків та обраного обладнання можливо здійснити, побудувавши навантажувальну діаграму електроприводу.

Визначення часу запуску проводиться в наступному порядку

1. За п'ятьма точками будується механічна характеристика АД (рис. 4.1).

2. На цьому графіку будується наведений момент опору робочої машини $M_{с.р.м.}$ (довідкова величина). $M_{с.р.м.} = 0,25 N \cdot m$.

3 Знаходимо динамічний момент $M_{дин}$ рафічним способом.

4. Знаходимо масштаб за моментом інерції за формулою:

$$M_y = \frac{J_{np}}{[O - A]} \quad (4.27)$$

де J_{np} - приведений момент інерції, $kg \cdot m^2$;

$[O - A]$ - відрізок, що відповідає $M_{с.р.м.}$

5. З точки А проведемо коло радіусом $M_{дин1}$, робимо насічку на осі ординат у точці 1 з'єднуємо точку О з горизонталлю 1 лінією паралельної лінії $[A-1]$, отримуємо на горизонталі 1 точку 1' Інші побудови виробляються аналогічно.

6. Визначаємо масштаб по осі обертання, для чого застосуємо основне рівняння руху електропривода.

$$M_{дс} - M_{с.р.м.} = J_{np} \cdot \frac{\Delta \omega}{\Delta t} \Rightarrow,$$

$$\Delta t = J_{np} \cdot \frac{\Delta \omega}{M_{дин}}, \quad (4.28)$$

$$\mu_t = \mu_j \cdot \frac{\mu_\omega}{\mu_n},$$

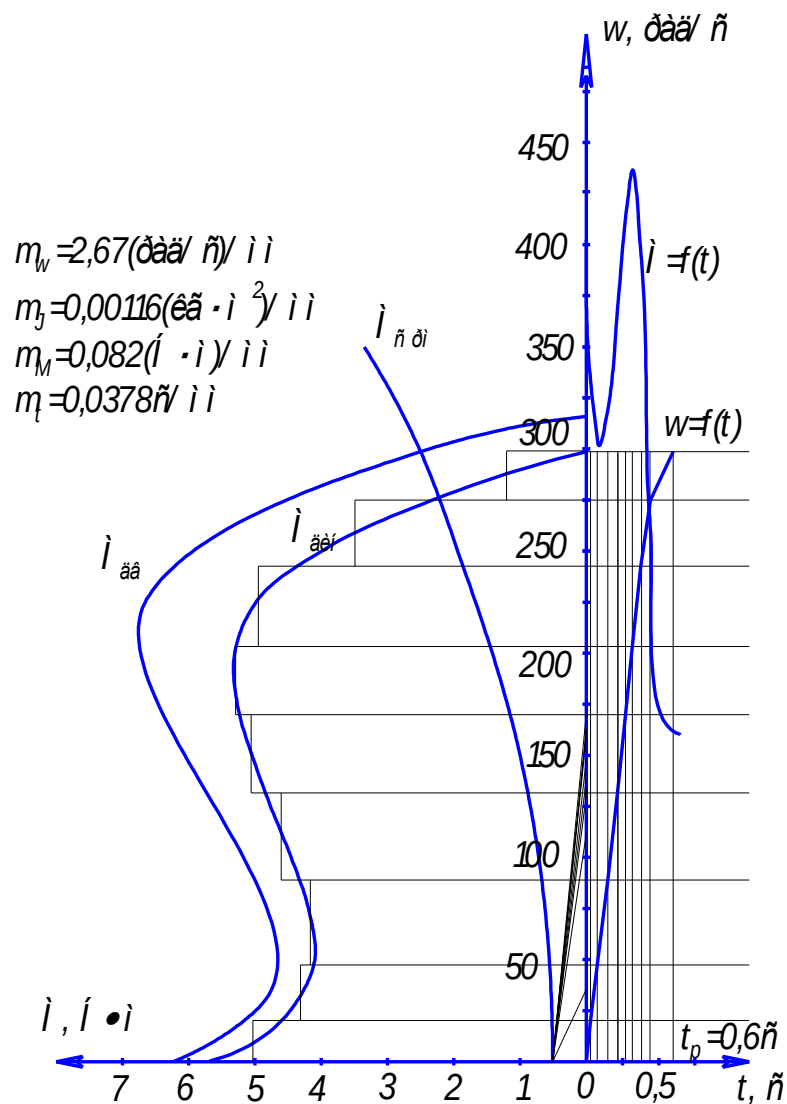


Рис. 4.1. Механічна характеристика електроприводу з робочою машиною

Вимоги до схеми автоматичного керування вентиляційними установками:

1. Схема повинна забезпечувати плавне або ступінчасте регулювання частоти обертання двигунів у режимі автоматичного керування температурою.
2. Схема має передбачати можливість переходу на ручне керування.

3. Схема повинна передбачати захист від коротких замикань, тепловий, обрив фаз мережі та мимовільного пуску.

Як приклад, для управління вентиляційною установкою пропонується схема представлена на рис. 4.2.

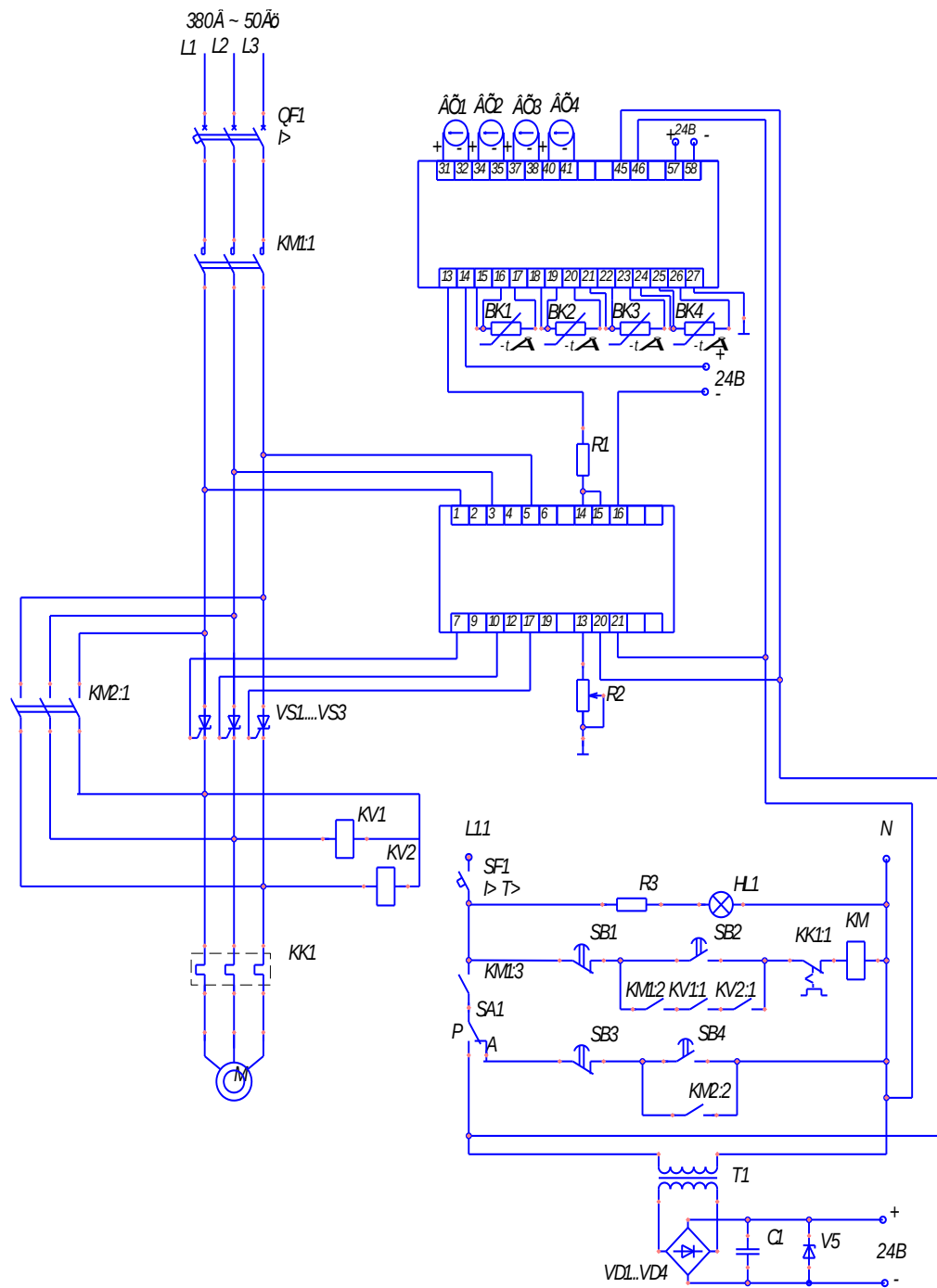


Рис. 4.2. Електрична схема управління вентиляційною установкою

Дана схема дозволяє проводити управління установкою в ручному та автоматичному режимах. Для вибору режиму призначено перемикач SA1.

У схемі застосовано наступний захист:

- від КЗ у силовій мережі автомат QF1 з електромагнітним розчіплювачем;
- від обриву фаз та перевантаження теплові реле КК1...КК2, що захищають групу двигунів;
- від неповнофазного режиму реле напруги KV1 та KV2;
- кола управління захищені автоматичним вимикачем SF1.

РОЗДІЛ 5. ЕНЕРГЕТИЧНИЙ АУДИТ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ УСТАНОВОК

Електроенергія в системах вентиляції витрачається на роботу припливних і витяжних вентиляторів, циркуляційних насосів систем утилізації теплоти вентиляційних викидів.

Кількість споживаної електричної енергії визначається встановленою потужністю електродвигунів для приводів вентиляторів і насосів, а також тривалістю їхньої роботи за певний період часу (найчастіше за рік).

Для знаходження потужності вентиляторів і насосів необхідно також знати дійсні напори, що розвиваються вентилятором і насосом. Дійсний напір, створюваний вентилятором або насосом, необхідний для подолання робочим середовищем усіх аеродинамічних опорів у повітропроводах, повітророзподільниках, фільтрах, калориферах та ін.

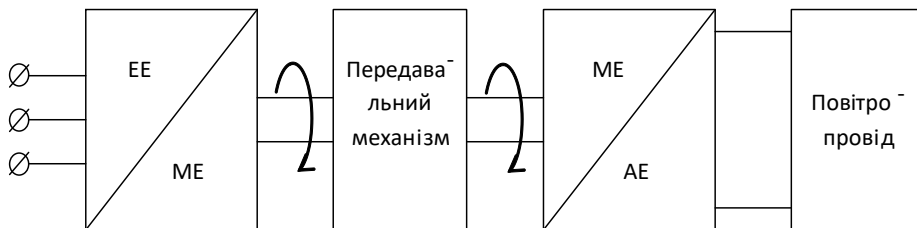


Рис. 5.1 - Функціональна схема системи вентиляції і кондиціонування:

ЕЕ – електрична енергія; МЕ – механічна енергія; АЕ – гідравлічна енергія

Для одержання "картини" розподілу енергії всередині розглянутого об'єкта й виявлення складових рівняння енергобалансу доцільно побудувати енергетичну діаграму об'єкта, яка наочно подає обумовлені величини й взаємозв'язок між ними (рис. 5.2).

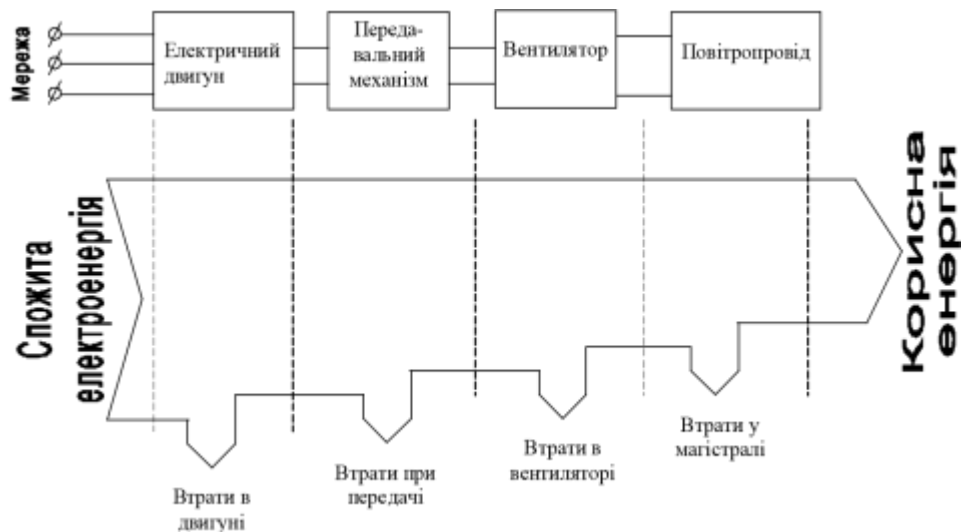


Рис. 5.2 – Енергетична діаграма системи вентиляції

Можливі енергоощадні заходи, при виконанні енергоаудиту вентиляційних установок:

- Зниження перепаду тиску в системі.
- Зменшення втрат в результаті експлуатаційних дефектів.
- Заміна старих вентиляторів новими, більш економічними.
- Блокування вентиляторів теплових завіс з пристроями відкривання і закривання воріт.
- Скорочення терміну роботи (відключення вентиляційних установок під час обідніх перерв, перезмін і т. п.).
- Підбір двигунів вентиляційних установок відповідно до завантаження.
- Оптимізація регулювання вентиляційного навантаження та вентиляційних установок за рахунок:
 - відключення окремих вентиляторів в агрегатах, що містять декілька вентиляторів;
 - використання багатошвидкісних електродвигунів;
 - використання ремінних приводів з різним діаметром шківів та гідравлічних/індукційних муфт;
 - регулювання за допомогою шиберів;
 - використання частотних регуляторів на електроприводах;
 - регулювання кута нахилу лопаток робочого колеса вентилятора.
- Впровадження автоматичного керування вентиляційними установками.

5.1. Загальна характеристика вентиляційних установок

Людський організм підкоряється відомим законам тепломасообміну. Звідси витікає, що для забезпечення нормального функціонування організму є вірним вираз, що визначається балансом теплової енергії:

$$Q = F_l \cdot \alpha_l \cdot (t_l - t_{o.c.}), \quad (5.1)$$

де F_l - площа поверхні тіла людини; α_l - коефіцієнт тепловіддачі; t_l - температура тіла людини; $t_{o.c.}$ - температура оточуючого середовища.

Перепад температур тіла людини, залежить від температури навколишнього середовища. Санітарними нормами він встановлений для холодного періоду часу: нижня межа 25 °С (тобто температура при виконанні важкої роботи в приміщенні повинна бути + 12 °С, а верхня межа 28 °С, тобто $\Delta t_l = +7^\circ\text{C}$).

За межами цього проміжку, організм вже працює на рівні виснаження енергетичного потенціалу і вимушений включати систему терморегуляції, відводячи з потом надлишок теплоти, який не відводиться конвекцією.

Вище приведене свідчить про важливість вентиляції не тільки, як засобу забезпечення повітрообміну, але і як процесу забезпечення енергетичного балансу людського організму.

Завданням енергоаудитора є, в першу чергу, запропонувати технічні рішення, що є близькими до ідеальних. При цьому дії енергоаудитора обмежені рамками між дійсним та ідеальним споживанням енергії системою при прийнятних термінах окупності.

Сумарне споживання електроенергії, як основного джерела енергії для вентиляційних систем:

$$\sum N = N_{П.В.} + N_{Д.У.} \quad , \text{кВт} \quad (5.2)$$

де $N_{П.В.}$ - потужність (встановлена) приводів вентиляторів; $N_{Д.У.}$ - потужність додаткового устаткування, що використовується у вентиляційних системах.

В загальному вигляді, для всіх електродвигунів вентиляторів, встановлена потужність є функція роботи і визначається за виразом:

$$N_{П.В.} = \frac{L \cdot H_{П}}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_{В} \cdot \eta_{П} \cdot \eta_{е}} \quad , \text{кВт} \quad (5.3)$$

де L - продуктивність нагнітача, $\text{м}^3/\text{год}$; $\eta_{В}$ - ККД вентилятора (за паспортними даними); $\eta_{П}$ - при муфтовому з'єднанні $\eta_{П} = 0,98$ ККД передачі; $\eta_{е}$ - ККД електродвигуна ($\eta_{е} = 0,97 - 0,99$); K - коефіцієнт запасу потужності, що враховує пусковий момент; $H_{П}$ - повний тиск, що розвивається, визначається по робочій характеристиці нагнітача

$$H_{П} = H_{С} + H_{Д} \quad , \text{кПа} \quad (5.4)$$

де $H_{С}$ - статичний напір; $H_{Д}$ - динамічний напір.

Таким чином, у будь-якому випадку

$$\sum N = N_{П.В.} + N_{Д.У.} = f(L) \quad (5.5)$$

Тобто потужність приводу вентилятора, вибирається, перш за все, по продуктивності вентиляторів. Виходячи з цього, при рішенні питання мінімізації ви і раї енергоресурсів, основним критерієм є оцінка мінімізації продуктивності.

Формування повітрообміну загально обмінної вентиляції визначається об'ємом приміщення і нормованою кратністю циркуляції, згідно санітарних норм:

$$L_0 = V \cdot K_0 \quad (5.6)$$

де V - об'єм приміщення; K_0 - кратність повітрообміну.

Об'єм повітря місцевої вентиляції, що видаляється, залежить від конкретного типу устаткування, його виділення шкідливих речовин або теплоти, до дотримання норм ГДК (гранично допустимих концентрацій).

При тепловиділенні:

$$L_T = \frac{\sum Q_T}{c \cdot \rho \cdot \Delta t}$$

де Q_T – вентиляційне теплонавантаження; $\Delta t = t_n - t_{np}$ – робоча різниця температур; t_{np} – температура припливного повітря °С; t_n – температура в приміщенні °С; c – питома теплоємність повітря $c=0,24$ ккал/кг (кДж/кг), ρ – щільність повітря, кг/м³, а для інженерних розрахунків систем вентиляції $\rho=1,2$ кг/м³

Для інших типів вентиляції (гази):

$$L_T = \frac{\sum G}{\Delta q_1} \quad (5.7)$$

Де різниця вмісту шкідливих речовин $\Delta q_1 = q_{IP} - q_{II}$; q_{gr} – гранично допустима концентрація шкідливих речовин в повітрі приміщення-мг/м³; q_n – початкова концентрація шкідливих речовин в зовнішньому (припливна) повітрі мг/м³

При визначенні витрат електроенергії на забезпечення вентиляції необхідно враховувати наступні коефіцієнти - одночасності, рівномірності завантаження та коефіцієнт використання:

$$K_N = K_O \cdot K_3 \cdot K_B, \quad (5.8)$$

де K_O - коефіцієнт одночасності роботи однойменного технологічного устаткування; K_3 - коефіцієнт рівномірності завантаження технологічного устаткування; K_B - коефіцієнт використання, що пов'язаний з особливостями виробництва.

5.2. Аналіз технологічної установки

Як зазначалося вище, на підприємстві використовується значна частка вентиляторного навантаження, це обумовлено встановленням системи кондиціювання повітря. В якості агрегатів для вентиляції та кондиціювання повітря використовуються вентилятори марки В 2.3-130, призначені для переміщення газоповітряних сумішей із складом пилу до 10 мг/м³ при температурному режимі від –40 до + 40°С. В таблиці 13.1 вказані технічні характеристики вказаних вентиляторів, а на рис. 5.3 показано їх зовнішній вигляд та габаритні розміри.

Таблиця 5.1. Технічна характеристика вентиляторів

Технічна характеристика	В 2,3-130-8,0	В 2,3-130-10,0	В 2,3-130-12,5
-------------------------	---------------	----------------	----------------

Електричний двигун:			
Тип	АИР112МА6 АИР132S6 АИР132М4	АИР132М8 АИР160S6	АИР200М6
Потужність, кВт	3,0 5,5 11,0	5,5 11,0	22,0
Частота обертання, об/хв.	1000 1500	750 1000	1000
Параметри в робочій зоні:			
Продуктивність, тис. м ³ /год	17,0-24,0 27,0-37,0	26,0-37,0 34,0-49,0	60,0-110,0
Повний тиск, Па	380-250 890-570	350-230 630-410	1000-600
Маса вентилятора, кг (без двигуна)	175	240 280	500

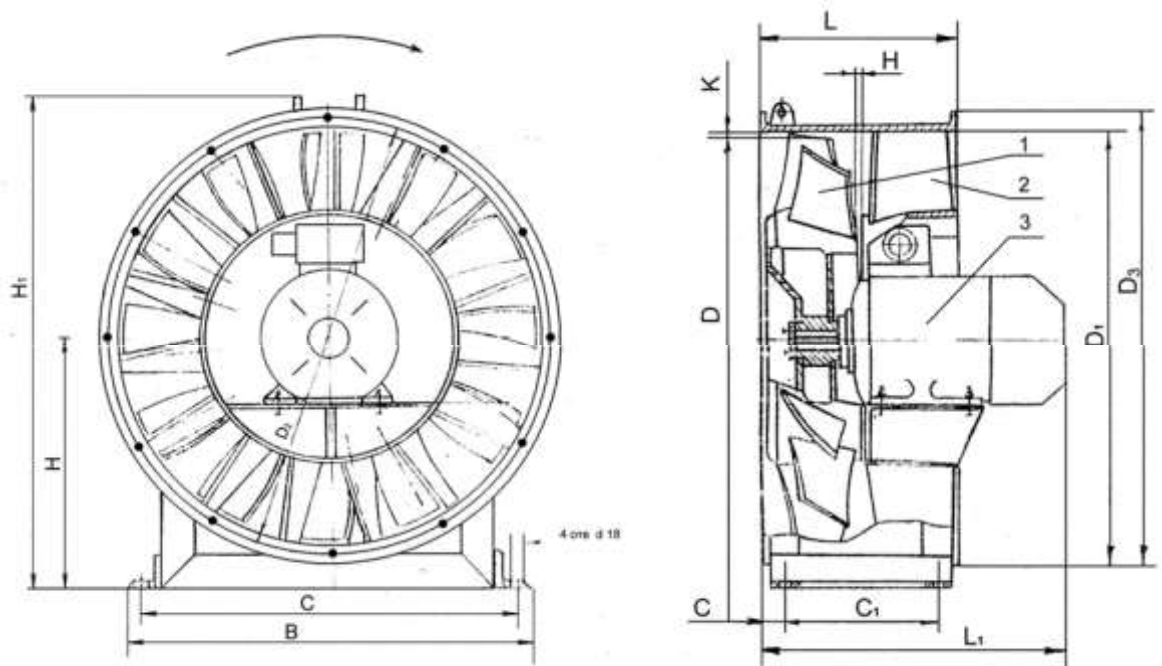


Рис. 5.3 Габарітні та приєднувальні розміри вентиляторів типу В 2.3-130

Марка вентилятора	B	C	C1	D	D1	D2	D3	n	H	H1	K	e	L	L1	M	n1, мм.
B 2,3-130 №6,3A	645	600	240	630	-	660	695	132	385	725	2,5 ^{+1,5}	30,5	300	540/590	3 ±1	32
B 2,3-130-8-01A /B 2,3-130-8A	830	770	310	800	805	835	860	132	495	960	2,5 ^{+1,6}	32,5	375	590/540		
B 2,3-130-10-01A /B 2,3-130-10A	960	900	408	1000	1006	1045	1060	160	595	1155	3 ^{+2,4}	33,5	475	720/760		
B 2,3-130 №12,5	1180	1100	465	1250	1260	1290	1320	200	740	1440	4	43	550	930		

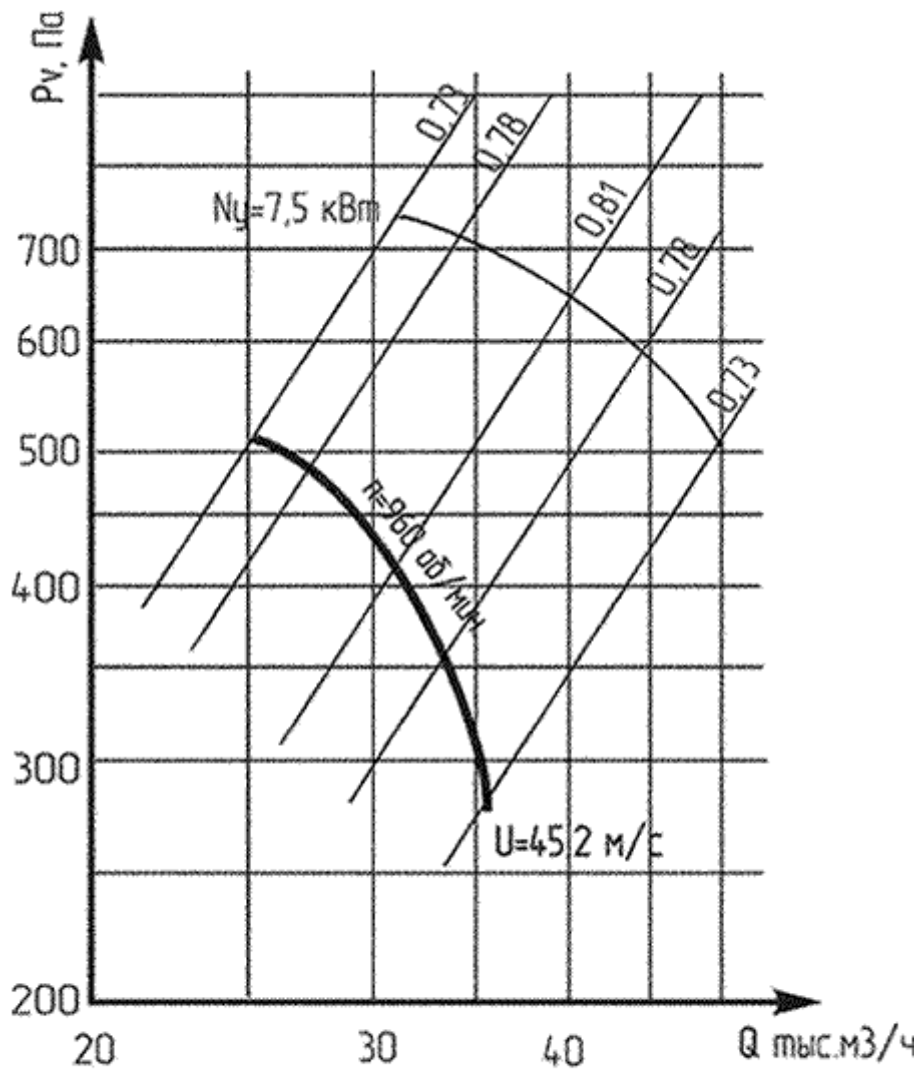


Рис. 5.4 Аеродинамічна характеристика вентилятора В 2.3-130-8



Рис.5.5. Зовнішній вигляд вентиляторів типу В 2.3-130

5.3. Можливості енергозбереження в вентиляторах В 2.3-130

Технічний огляд та аналіз параметрів робочих та холостих режимів за допомогою контрольно-вимірювальної апаратури показав, що існують наступні можливості енергозбереження (МЕЗ), які умовно можна поділити на три групи:

Малозатратні МЕЗ

1. Якісне обслуговування всіх елементів електроприводу, контроль графіку ППЗРЕ;
2. Дисципліна праці, своєчасне вимикання електроприводу, недопущення його роботи на холостому ході;
3. Використання таймерів холостого ходу

Середньозатратні МЕЗ

4. Заміна електричного двигуна на менш потужний;
5. Заміна двигуна на інший з кращими технічними характеристиками;
6. Впровадження обмежувачів холостого ходу двигуна;
7. Встановлення індивідуальної компенсації приводу вентиляторів I та II зон.

Багатовитратні МЕЗ

8. Автоматичне регулювання температури теплоносія
9. Використання впускних золотників для обмеження повітряного потоку
10. Використання віскозних муфт для регулювання крутного моменту між вентилятором і двигуном
11. Встановлення пристрою регулювання кута атаки лопастей вентиляторів
12. Встановлення частотно-керованого пристрою для регулювання швидкості обертання двигуна.

В даній роботі розглянемо більш докладно лише деякі з описаних вище можливостей енергозбереження.

5.4. Опис можливостей енергозбереження

5.4.1. Заміна не завантажених електродвигунів

Якщо при аналізі ефективності використання середнє навантаження електродвигунів складає менше 45% від номінальної потужності, то вони підлягають заміні на електродвигуни меншої потужності. У інтервалі між 45% і 70% необхідно провести розрахунок, підтверджуючий доцільність заміни

електродвигуна. При навантаженні на електродвигун 70% і більш проводити заміну такого електродвигуна недоцільно.

Сумарні втрати активної потужності можуть бути визначені, згідно виразу:

$$\Delta P_{\text{сум}} = [Q_{\text{х.х.}} (1 - k_n^2) + k_n^2 Q_n] k_\gamma + \Delta P_{\text{х.х.}} + k_n^2 \Delta P_{\text{а.н.}}, \text{ кВт} \quad (5.9)$$

де $Q_{\text{х.х.}} = \sqrt{3} U_n I_{\text{хх}}$ – реактивна потужність, споживана з мережі при холостому ході, кВар; U_n – номінальна напруга, В; $I_{\text{х.х.}}$ – струм холостого ходу електродвигуна, А; $k_n = P/P_n$ – коефіцієнт навантаження електродвигуна; P і P_n – середнє навантаження і номінальна потужність електродвигателя, кВт; $Q_n = P_n \cdot \text{tg}\phi / \eta$ – реактивна потужність електродвигуна при номінальному навантаженні, кВар, η – к.п.д. двигуна при повному навантаженні; $\text{tg}\phi$ – похідна від номінального коефіцієнта потужності електродвигуна; k_γ – коефіцієнт підвищення втрат; $\Delta P_{\text{х.х.}}$ – втрати активної потужності при холостому ході електродвигуна, кВт; $\Delta P_{\text{а.н.}}$ – приріст втрат активної потужності в електродвигуні при навантаженні 100%, кВт. При іншому навантаженні визначається:

$$\Delta P_{\text{а.н.}} = P_n \left(\frac{1 - \eta_n}{\eta_n} \right) \left(\frac{1}{1 + \gamma} \right) \quad (5.10)$$

$$\text{Де } \gamma = \frac{\Delta P_{\text{хх}}}{(1 - \eta_n) - \Delta P_{\text{хх}}}$$

При ухваленні рішення про заміну (установці електродвигуна меншої потужності) необхідно ретельно аналізувати ситуації, пов'язані з можливим збільшенням навантаження надалі.

Для прикладу розглянемо вентилятор В 2.3-130-8.0, що працює з двигуном АИР132М4 потужністю 11 кВт. Електродвигун потужністю 11 кВт працює з навантаженням 7 кВт; його характеристика: $P_n = 11$ кВт, $U_n = 380$ В, $\eta_n = 0,92$, $\cos\phi_n = 0,92$, $I_{\text{хх}} = 7,1$ А, $\Delta P_{\text{х.х.}} = 4,4$ кВт.

Перевіряємо доцільність заміни даного електродвигуна на двигун типу АИР132М4 потужністю $P_n = 7,5$ кВт.

Приймаємо коефіцієнт підвищення втрат $k_\gamma = 0,1$; його характеристики: $P_n = 7,5$ кВт, $U_n = 380$ В, $\eta_n = 0,91$, $\cos\phi_n = 0,92$, $I_{\text{хх}} = 4,26$ А, $\Delta P_{\text{х.х.}} = 3,2$ кВт.

Визначимо втрати в базовому варіанті:

$$Q_{\text{х.х.}} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 7,1 \cdot 10^{-3} = 4,66 \text{ кВар.}$$

Реактивна потужність електродвигуна при номінальному навантаженні:

$$Q_n = (11 \cdot 0,426) / 0,92 = 5,8 \text{ кВар.}$$

Коефіцієнт навантаження електродвигуна

$$k_H = 7 / 11 = 0,68 \approx 0,7;$$

$$\gamma = 4,4 / (100-92) - 4,4 = 1,22.$$

Приріст втрат активної потужності в електродвигуні при поточному навантаженні:

$$\Delta P_{a.H} = 11 \cdot (1-0,92) / 0,92 (1+1,22) = 0,49 \text{ кВт.}$$

Сумарні втрати активної потужності можуть бути визначені, згідно виразу:

$$\Delta P_{\text{сум1}} = [4,66 (1 - 0,7) + 0,7 \cdot 5,8] \cdot 0,1 + 4,4 + 0,7 \cdot 0,49 = 1,199 \text{ кВт};$$

Для нового двигуна, що передбачався на заміну реактивна потужність, спожита з мережі на холостому ході:

$$Q_{x.x} = \sqrt{3} \cdot 380 \cdot 4,26 = 2,79 \text{ кВар};$$

Реактивна потужність електродвигуна при номінальному навантаженні нового двигуна:

$$Q_H = (7,5 \cdot 0,426) / 0,91 = 3,5 \text{ кВар};$$

Коефіцієнт навантаження електродвигуна:

$$k_H = 70/75 = 0,93;$$

Приріст втрат активної потужності в електродвигуні при поточному навантаженні:

$$\Delta P_{a.H} = 7,5 \cdot (1-0,91) / 0,91(1 + 0,57) = 0,436 \text{ кВт};$$

$$\gamma = 3,2 / (100-91) - 3,2 = 0,57;$$

$$\Delta P_{\text{сум2}} = [2,79 (1 - 0,932) + 0,932 \cdot 35] \cdot 0,1 + 3,2 + 0,932 \cdot 0,436 = 1,04 \text{ кВт.}$$

Економія за рахунок встановлення двигуна меншої потужності буде складати:

$$\Delta P = \Delta P_{\text{сум1}} - \Delta P_{\text{сум2}} = 1,199 - 1,04 = 0,159 \text{ кВт.}$$

В результаті заміни електродвигуна отримаємо зниження втрат активної потужності в електродвигуні і мережах 0,159 кВт. При роботі установки за рік (250 робочих днів) протягом 16 год щодня річна економія складе:

$$\Delta E_{\text{дв}} = \Delta P \cdot 250 \cdot 16 \cdot C_0 = 0,159 \cdot 250 \cdot 16 \cdot 2,21 = 1405 \text{ грн/рік}$$

де $C_0 = 2,21$ грн/кВт·год- вартість електричної енергії.

5.4.2. Заміна вентилятора старого типу

Заміна вентиляторів старого типу дає економію 20-30%. Розрахуємо економію електроенергії при заміні вентилятора з двигуном А81200L-6А (старі типи двигунів) на АИР180М4. Параметри двигунів приведені в таблиці 5.2

Таблиця 5.2. Параметри двигунів, що порівнюються

Тип двигуна	Рн, кВт	n ₂ , обер ⁻¹	Подача, Па	Напір м ³ /год	η, %
А81200L-6А	11	970	890-570	27	87
АИР180М4	11	975	890-570	37	91

Економія електроенергії буде складати:

$$\Delta W = \frac{H \cdot Q \cdot (\eta_2 - \eta_1)}{102 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_n \cdot \eta_c} T =$$

$$= \frac{27 \cdot 730 \cdot (0,65 - 0,5)}{102 \cdot 0,65 \cdot 0,5 \cdot 0,91 \cdot 0,87} \cdot 4000 = 450 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де, η_1 , η_2 , η_n , η_c – ККД заміняємого та нового вентилятора, електродвигуна; H - Тиск вентилятора, мм.вод.ст; Q – подача, м³/год, $T = 4000$ год – річний час роботи вентилятора.

Річна економія від впровадження МЕЗ:

$$\Delta E_{\text{вен}} = \Delta W \cdot C_0 = 450 \cdot 2,21 = 994 \text{ грн/рік}$$

5.4.3. Встановлення індивідуальної компенсації приводу вентиляторів I та II зон

Важливим напрямом в економії електроенергії і раціональному її використанні є підвищення коефіцієнту потужності (cos φ).

Коефіцієнт потужності - величина, що показує, яку частину споживаної повної потужності складає активна. При одній і тій же використовуваній потужності електроприймач з

низьким коефіцієнтом потужності споживає більший струм, що викликає збільшення навантаження ліній електропередач і трансформаторів. Це веде до зменшення експлуатаційної потужності трансформатора, генератора і збільшує втрати електроенергії в мережах.

Для визначення середньозваженого коефіцієнта потужності за годину, добу, місяць або рік можна користуватися формулою:

$$\cos\varphi_{сз} = \frac{W_a}{\sqrt{W_a^2 - W_p^2}} \quad (5.11)$$

де W_a і W_p - активна і реактивна енергія за певний проміжок часу.

У установках до 1000 В розрядні опори рекомендується встановлювати з автоматичним виключенням у момент відключення конденсаторів.

Конденсатори випускаються чотирьох серій - I, II, III, IV. Шкала напруги і потужностей конденсаторів серій I, II, III приведена в табл.13.3

Таблиця 5.3. Шкала напруги і потужностей косинусних конденсаторів

U _н , В	Q _н , квар					
	Серія I		Серія II		Серія III	
	КМ, КМА	КМ2, КМ2А	КС, КСА	КС2, КС2А	КС, КСА	КС2, КС2А
380	13,0	26,0	18,0	36,0	25,0	50,0

Спожита потужність компенсуючих пристроїв визначається по формулі, квар:

$$Q_{кп} = P_{ср}(tg\varphi_1 - tg\varphi_2) \quad (5.12)$$

де $P_{ср}$ - середньорічна активна потужність, кВт; $tg\varphi_1$ - тангенс кута відповідний середньозваженому $\cos\varphi_1$ що існує на підприємстві; $tg\varphi_2$ - тангенс кута, відповідний середньозваженому $\cos\varphi_2$ необхідної величини.

При установці компенсуючих пристроїв економія електричної енергії визначається за формулою, кВт·год:

$$\Delta E_{кп} = 0,05 W_a \left[1 - \left(\frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2} \right)^2 \right]; \quad (5.13)$$

де W_a - річна витрата активної енергії, кВт·год.

Визначимо ефективність встановлення індивідуальної компенсації для вентиляторів I та II зон. Потужність вентиляторів складає 11 та 22 кВт для першої та другої зон відповідно. Час роботи вентиляторів протягом року складає $T_{річ} = 4000$ год. Коефіцієнт потужності вентилятора 0,75 та 0,72 відповідно для першої та другої зони.

Для вентилятора зони I $\text{tg}\varphi_1 = 0,88$, при $\cos\varphi_1 = 0,75$ для даного електроприводу. Виконуємо компенсацію з забезпеченням $\text{tg}\varphi_2 = 0,25$ згідно вимог методики по розрахунку перетоків реактивної потужності.

Визначимо необхідну потужність компенсуючих пристроїв визначається для вентилятора зони I, квар:

$$P_{cp1} = P_{ном} \cdot K_{\epsilon} = 11 \cdot 0,65 = 7,15 \text{ кВт};$$

$$Q_{кп} = P_{cp1}(\text{tg}\varphi_1 - \text{tg}\varphi_2) = 7,15(0,88 - 0,25) = 4,5 \text{ квар}.$$

Для вентилятора зони II $\text{tg}\varphi_1 = 0,96$ при $\cos\varphi_1 = 0,72$. Визначимо необхідну потужність компенсуючих пристроїв визначається для вентилятора зони II, квар:

$$P_{cp2} = P_{ном} \cdot K_{\epsilon} = 22 \cdot 0,7 = 15,4 \text{ кВт};$$

$$Q_{кп} = P_{cp2}(\text{tg}\varphi_1 - \text{tg}\varphi_2) = 15,4 \cdot (0,96 - 0,25) = 10,9 \text{ квар}.$$

Тобто для забезпечення компенсації реактивної потужності для даних електроприводів необхідно встановити косинусний конденсатор потужністю 13 квар, який покриє потребу в реактивній потужності 15,4 квар.

Економія електричної енергії при встановленні компенсуючих конденсаторів, кВт·год:

Річне споживання вентилятором зони I:

$$W_{a1} = P_{cp1} \cdot T_{річ} = 7,15 \cdot 4000 = 28600 \text{ кВт·год}.$$

Річне споживання вентилятором зони II:

$$W_{a1} = P_{cp1} \cdot T_{річ} = 15,4 \cdot 4000 = 61600 \text{ кВт·год}.$$

Для вентилятора зони I, кВт·год:

$$\Delta W_{\text{кп1}} = 0,05W_a \left[1 - \left(\frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2} \right)^2 \right] = 0,05 \cdot 28600 \left[1 - \left(\frac{0,75}{0,97} \right)^2 \right] = 574,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Для вентилятора зони II, кВт·год:

$$\Delta W_{\text{кп2}} = 0,05W_a \left[1 - \left(\frac{\cos\varphi_1}{\cos\varphi_2} \right)^2 \right] = 0,05 \cdot 61600 \left[1 - \left(\frac{0,75}{0,97} \right)^2 \right] = 1238,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Річна економія від впровадження МЕЗ:

$$\Delta E_{\text{кп}} = (\Delta W_{\text{кп1}} + \Delta W_{\text{кп2}}) \cdot C_0 = (574,8 + 1238,2) \cdot 2,21 = 4006 \text{ грн/рік.}$$

Визначена річна економія є відправною точкою для прийняття рішення про встановлення КП, так як практично всі заходи виконуються за рахунок кредитних або інвестованих коштів, тому економічний ефект повинен перевищувати відсоткову ставку по кредиту або інвестиції. Крім того служить для визначення строку окупності МЕЗ.

5.4.4. Встановлення частотно-керованого пристрою для регулювання швидкості обертання двигуна

Розрахуємо економічну ефективність впровадження пристрою частотного керування при впровадженні електроприводу комплектного ПЧСВ на вентиляторі В 2.3-130-8.0.

Пропонується впровадження перетворювача частоти для регулювання продуктивності вентилятора. Це дозволить при повністю відкритих заслонках проводити регулювання частоти обертання приводного двигуна вентилятора зміною числа оборотів двигуна, а не механічними засобами.

Застосування перетворювача частоти дозволить забезпечити:

1. Можливість регулювання продуктивності вентилятора головного провітрювання при повністю відкритих заслінках за рахунок зміни частоти обертання приводного електродвигуна в найбільш економічному режимі споживання електроенергії.
2. Плавний, частотний пуск і розгін електродвигуна вентилятора до заданої швидкості, що виключає динамічні і пневматичні удари у вентиляційній системі.
3. Зниження електродинамічних ударних навантажень при пуску в трансформаторно-фідерних ланцюгах.
4. Збільшення міжремонтних циклів і надійності електричного комутаційного устаткування.

5. Забезпечення можливості автоматичного регулювання продуктивності вентиляційної установки по сигналу завдання швидкості від зовнішньої системи регулювання.

Залежність споживаної потужності двигуна вентилятора від його частоти обертання є статичною функцією і має кубічну залежність, а у відносних одиницях P/P_{max} – квадратичну. Її вигляд показаний на рисунку 5.6 (залежність 2).

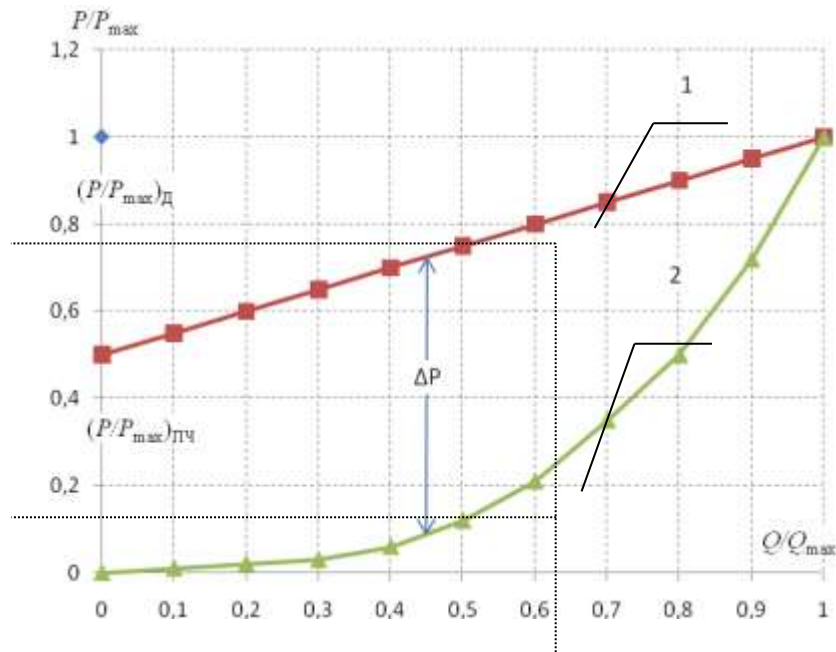


Рис. 5.6 - Залежність споживаної потужності двигуна вентилятора від частоти обертання

Відрізком ΔP показана різниця між значеннями споживаних потужностей при двох способах регулювання продуктивності (вниз від номінальної):

- дроселюванням - крива (1);
- регулюванням числа оборотів за допомогою перетворювача частоти – крива (2).

У вентилятора положення лопастей $\pm 40^\circ$ (при повному закритті $\pm 90^\circ$), тобто існуючий робочий діапазон роботи вентилятора $Q/Q_{max} = 0,6 \dots 0,7$.

При дроселюванні (крива 1) $(P/P_{max})_{\text{Д}} = 0,82$;

При частотному регулюванні (крива 2): $P/P_{max} = 0,25 \dots 0,35$; Приймаємо $(P/P_{max})_{\text{ПЧ}} = 0,3$;

Різниця між значеннями споживаних потужностей при двох способах регулювання продуктивності вентилятора:

$$\Delta P = (P/P_{max})_{\text{Д}} - (P/P_{max})_{\text{ПЧ}} = 0,82 - 0,3 = 0,52;$$

Потужність двигуна $P_{\text{дв}} = 11$ кВт;

Час роботи в рік $T_{\text{річ}} = 4000$ годин;

Вартість ел. енергії $C_0 = 2,21$ грн/кВт·год.

Різниця між значеннями споживаних потужностей при двох способах регулювання продуктивності вентилятора $\Delta P = 0,52$;

Річна економія електроенергії при впровадженні МЕЗ складає:

$$\Delta E_{\text{пч}} = P_{\text{дв}} \cdot \Delta P \cdot T_{\text{річ}} \cdot C_0 = 11 \cdot 0,52 \cdot 4000 \cdot 2,21 = 50565 \text{ грн/рік.}$$

При проведенні аналізу технологічного режиму електроприводу і введенні систем автоматичного управління завданням швидкості, надійність роботи установки вентилятора і економічний ефект також можуть бути збільшені.

При проведенні енергетичного аудиту визначені економія електроенергії при впровадженні МЕЗ. Економія електроенергії при впровадженні різна, але потрібно враховувати, що затрати на впровадження того чи іншого МЕЗ, також відрізняються. Перелік розрахованих МЕЗ приведений нижче.

МЕЗ. Заміна не завантажених електродвигунів – 1405 грн/рік.

МЕЗ. Заміна вентилятора старого типу – 994 грн/рік.

МЕЗ. Встановлення індивідуальної компенсації приводу вентиляторів I та II зон - 4006 грн/рік.

МЕЗ. Встановлення частотно-керованого пристрою для регулювання швидкості обертання двигуна - 50565 грн/рік.

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ

По умовам електробезпеки електроустановки ділять на електроустановки напругою до 1000 В і напругою вище 1000 В. При цьому мається на увазі діюче значення напруги. Вимоги техніки безпеки і технологічні вимоги, пропоновані до конструкції, пристрою, розміщенні і експлуатації електроустановок вище 1000 В, значно більш жорсткі, чим вимоги до електроустановок до 1000 В.

Досвід експлуатації показує, що для забезпечення безвідмовної, безаварійної і високопродуктивної роботи електроустановок необхідно разом із бездоганним їх виконанням і спорядженням засобами захисту так організувати їх експлуатацію, щоб була виключена всяка можливість помилок із сторони обслуговуючого персоналу.

Структура такої організації експлуатації розроблена в результаті тривалого досвіду роботи багатьох електроустановок і викладена в виді "Правил безпечної експлуатації електроустановок".

Основою організації безпечної експлуатації електроустановок є висока технічна грамотність і свідома дисципліна обслуговуючого персоналу, який зобов'язаний суворо дотримуватись особливі організаційні і технічні заходи, а також прийоми і черговість виконання експлуатаційних операцій згідно вказівкам Правил.

Особи, обслуговуючі електроустановки, не повинні мати каліцтв або хвороб, які заважають роботі і посилюють небезпеку впливові струму на організм.

Персонал, який несе чергування в електроустановках та приймаючий безпосередньо участь в оперативних перемиканнях, а також виконує ремонтні, монтажні, налагоджувальні та інші роботи в діючих електроустановках, піддається медичному огляду при прийомі на роботу, а потім періодично раз в

два роки; особи, які працюють з ртутними випрямлячами і перетворювачами, виконують роботи на висоті або пов'язані з підйомом на висоту, а також обслуговуючі підйомні спорудження, проходять медичний огляд щорічно.

Всі заново прийняті на роботу особи до отримання дозволу на відвідування ними даного підприємства повинні пройти ввідний інструктаж, а потім до отримання дозволу на відвідування робочого місця - первинний інструктаж.

Особи із числа чергового і оперативно-ремонтного персоналу до призначення на самостійну роботу зобов'язані, крім того, пройти необхідну теоретичну підготовку; навчання на робочому місці; перевірку знань ПБЕЕ, виробничих і посадових інструкцій в об'ємі, обов'язковому для даної посади; дублювання, тобто виконання обов'язків чергового по місту роботи.

Ввідний інструктаж проводить інженер інспектор по техніці безпеки даного підприємства. Мета цього інструктажу заключається в тому, щоб дати особі, яка заново поступає на роботу, загальні уявлення про правила техніки безпеки, виробничої санітарії і пожежної безпеки. При цьому роз'яснюються правила внутрішнього трудового розпорядку; правила поведінки на території підприємства, у виробничих і побутових приміщеннях; основні види небезпек при знаходженні на території в цехах підприємства; значення запобіжних надписів, плакатів, звукової та світлової сигналізації, а також вказуються номери телефонів, по яким потрібно телефонувати в екстрених випадках (пожежа, нещасливий випадок, аварійний стан обладнання тощо).

Ремонтні, монтажні, налагоджувальні, будівельні роботи, які виконуються в діючих електроустановках, в тому ж числі на повітряних і кабельних лініях, у відношенні до мір безпеки поділяються на три категорії: роботи без напруги; роботи без знімання напруги; роботи під напругою.

Роботи із зняттям напруги виконують при повній або частковому відключенні електроустановки.

При роботах із частковим відключенням робочий не повинен наближуватись до струмоведучих частин, які знаходяться під напругою. В електроустановках електростанцій і підстанцій 6 - 110 кВ при роботі біля неогороджених струмоведучих частин забороняється розміщуватись так, щоб ці частини знаходилися ззаді або з двох бокових сторін.

Роботи без зняття напруги виконують без відключення електроустановки. При цьому працювати дозволяється за постійними і тимчасовими огороженнями струмоведучих частин, на корпусах обладнання, на поверхні оболонок кабелів, а також на відстані від неогороджених струмоведучих частин, які знаходяться під напругою більше допустимого.

Роботи під напругою виконують безпосередньо на струмоведучих частинах, які знаходяться під робочою напругою, із застосуванням електрозахисних засобів, а також на відстані від струмоведучих частин менше допустимого.

Умови виконання робіт.

В електроустановках всі роботи необхідно виконувати при обов'язковому дотриманні наступних умов:

- 1) роботу можна виконувати тільки з дозволу уповноваженої на це офіційної особи у відповідності із завданням, яке оформлено в виді наряду або розпорядження;
- 2) роботу повинні проводити, як правило, не менше чим дві особи;
- 3) повинні бути виконані організаційні і технічні заходи, які забезпечували б персоналу безпечні умови робіт.

Організаційні заходи мають за мету забезпечити безпечну організацію виконання робіт в електроустановках для виключення нещасливих випадків з людьми при високій продуктивності праці і хорошою якістю робіт. Такими заходами є:

- а) видача нарядів і розпоряджень на хід робіт;
- б) допуск бригади до роботи;
- в) нагляд за бригадою під час роботи;
- г) оформлення переривів в роботі і закінчення робіт.

Технічні заходи за мету забезпечити безпеку персоналу при виконанні робіт з повним або частковим зняттям напруги з електроустановки. Такими заходами є:

- а) хід необхідних відключень і прийняття мір для запобігання помилкового або мимовільного вмикання комутаційної апаратури (блокування, механічний запір приводів, зняття запобіжників тощо);
- б) вивішування переносних плакатів по техніці безпеки і при необхідності установки тимчасових огорожень;
- в) перевірка відсутності напруги на струмоведучих установках, призначених для роботи;
- г) наложення тимчасових заземлювачів.

Відповідальними за організацію і виконання високопродуктивного і безпечного процесу робіт в діючих електроустановках є:

- 1) особа, яка видає наряд або розпорядження на хід робіт в діючих електроустановках;
- 2) керівник робіт, які виконуються по наряду;
- 3) особа, яка видає дозвіл на підготовку робочого місця і допуск бригади до роботи;
- 4) особа, яка підготовляє робоче місце;
- 5) особа, яка допускає бригаду до роботи;

б)наглядач.

В електроустановках вище 1000 В при роботах із зняттям напруги на місці ходу робіт повинні бути відключені:

- струмоведучі частини, на яких будуть про водитись роботи;
- неогорожені струмоведучі частини, до яких потрібно наближатися людям на відстанях менше допустимого або механізмам на відстанях менше приведених в таблиці 6.1.

Таблица 6.1. Найменші допустимі відстані від механізмів і вантажопідйомних машин, а також від стропів, вантажозахватних пристроїв і вантажів до струмоведучих частин електроустановок, які знаходяться під напругою

Напруга електроустановки,кВ	До 1	1-35	60-110	150	220	330	400-500	750	800 постійного струму
Найменша допустима відстань, м	1	1	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	4,5

Відключення повинно проводитися так, щоб виділені для роботи частини електроустановки або електрообладнання були відокремлені з усіх сторін від струмоведучих частин, які знаходяться під напругою. При цьому з кожної сторони, звідки комутаційним апаратом може бути подано напруга на робоче місце, повинний бути видимий розрив, утворений відключенням роз'єднувачів, зняттям запобіжників, відокремленням або зняттям шин і проводів. Видимий розрив може бути створений відключенням відокремлювачів і вимикачів

навантаження, крім тих, у яких автоматичне включення проводиться пружинами, установленими на самих апаратах.

Для запобігання мимовільного або помилкового включення ручних приводів роз'єднувачів, відокремлювачів і вимикачів навантаження, якими може бути подано напругу до місця роботи, повинні бути заперті на замок у відключеному положенні. Якщо ж апарати мають дистанційне управління, то у їх приводів повинні бути відключені ланцюги силові і оперативного струму, а у пневматичних приводів, крім того, повинен бути закритий і запертий на замок вентиль на підходящому трубопроводі зжатого повітря і випущене зжате повітря.

Для виключення можливості з'явлення напруги на відключеному ділянці внаслідок зворотної трансформації трансформатори напруги і силові трансформатори, пов'язана із цим ділянкою, необхідно відключити і зі сторони напруги до 1000 В, а також вивісити плакат "Не вмикати - працюють люди" (на рубильнику, автоматі, запобіжнику тощо). При цьому приводи відключаючих апаратів слід запирати механічно або встановлювати накладки між їх контактами.

В електроустановках до 1000 В із струмоведучих частин, на яких буде проводитись робота, напруга із всіх сторін повинна бути знята відключенням комутаційних апаратів з ручним приводом, а при наявності в схемі запобіжників - зняття останніх. При відсутності в схемах запобіжників запобіжне помилкове включення комутаційних апаратів повинно бути забезпечено такими заходами, як запирання рукояток або дверець шафа, закриття кнопок, встановлення між контактами ізолюючих накладок та ін. Якщо комутаційний апарат має дистанційне управління, то після його відключення повинні бути відокремлені кінці проводів від включаючої котушки цього апарата.

Якщо ж конструктивне виконання апаратури і характер роботи, перераховані вище міри можуть бути замінені розшиновкою або

відокремленням кінців кабеля, проводів від комутаційного апарата або від обладнання, на якому повинна проводитись робота.

Плакати по техніці безпеки вивішує персонал, який проводить відключення, відразу після відключення відповідного апарата, а також при підготовці робочого місця.

Тимчасові огороження встановлюють у сусідніх і протилежачих місцях робіт комірок РП, не маючих огорожень, у проходів у сусідні приміщення електроустановки, куди персоналу не слід входити, а також у тих ділянок електроустановки, які близько розміщені до місця робіт і до невідключених частин яких можливе випадкове наближення на небезпечну відстань.

Для тимчасового огороження струмоведучих частин, які залишилися під напругою, можна застосовувати щити, ширми, екрани і т. п., виготовлені із дерева або інших ізоляційних матеріалів.

Плакати і огороження, встановлені при підготовці робочих місць, забороняється знімати або переставляти до повного закінчення робіт.

Відключені для роботи струмоведучі частини повинні бути тимчасово заземлені із всіх сторін, звідки може бути подано напруга, а проводи повітряних ліній електропередачі, крім того, - на місці виконання робіт. Додатково заземлити відключені струмоведучі частини, тобто на робочому місці, необхідно і в інших електроустановках, якщо можливе виникнення на цих частинах наведеного потенціалу від впливу сусідніх частин, які залишилися під напругою.

6.1. Розрахунок заземлення.

У відповідності із ПБЕЕ, всі металеві частини електроустановок, які в процесі роботи не мають з'єднання з струмопровідними частинами, але можуть потрапити під напругу, повинні бути заземлені.

Трансформаторні підстанції напругою 10/0,4 кВ на стороні 0,4 кВ мають глухозаземлену нейтраль. З'єднання обмоток цехових трансформаторів - Δ/Υ з нулем. Струм замикання на землю 27 А. Для цехового обладнання використовують заземлення. Цехові підстанції отримують живлення від двох кабелів, що прокладені в одній траншеї. Грунт - чорнозем, другий кліматичний район. Розрахунок зводиться до визначення вертикальних заземлювачів і довжин з'єднувальної смуги з розміщенням на плані.

Визначимо норму на опір заземлення R_3^H . Якщо заземлюючий пристрій вткористовується одночасно для електроустановок напругою до 1000 В та вище:

$$R_3 = U_p / I_3 = 125 / 27 = 4,63 \text{ Ом};$$

Згідно ПУЕ, так як сумарна потужність струмоприймачів більше 100 кВА то R_3 повинен бути не більше 4 Ом.

Визначимо розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_p = \rho_{\text{табл}} \cdot \Psi = 200 \cdot 1,3 = 260 \text{ Ом}\cdot\text{м},$$

де $\rho_{\text{табл}}$ - табличне значення, для чорнозему $\rho_{\text{табл}} = 200 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ (табл.7.15.[5]; Ψ - підвищуючий коефіцієнт для стержньових заземлювачів. Для України $\Psi = 1,2 \dots 1,4$.

Опір одинарного вертикального заземлювача:

$$R_0 = 0,366 \cdot (\rho_p / l) \cdot (\lg(2 \cdot l / d) + (1/2) \cdot \lg((4 \cdot t + l) / (4 \cdot t - l))) = 0,366 \cdot (260 / 5) \cdot (\lg(2 \cdot 5 / 2,5 \cdot 10^{-3}) + (1/2) \cdot \lg((4 \cdot 3 + 5) / (4 \cdot 3 - 5))) = 53,19 \text{ Ом},$$

де l - довжина заземлювача, приймаємо 5 м; d - діаметр заземлювача (приймаємо стрижні діаметром 2,5 см).

$$t = h + l/2 = 0,5 + 5/2 = 3 \text{ м};$$

де h - глибина прокладки смуг (згідно ПУЕ - 0,5...0,8 м).

Приймаємо електроди прокладені по замкнутому контуру згідно плану знаходимо орієнтовну кількість заземлювачів:

$$n_0 = R_B / (R_3^H \cdot \eta_0) = 53,19 / (4 \cdot 0,59) = 22,54 \approx 23 \text{ шт.}$$

Де η_0 - коефіцієнт використання ряду заземлювачів, для $a/l = 4/5 = 0,8$, $\eta_0 = 0,59$ (рис. 7.5[5], де $a = 4$ м - відстань між електродами згідно ПУЕ.

Довжина горизонтальної з'єднувальної смуги:

$$l_n = 1,05 \cdot a \cdot n = 1,05 \cdot 4 \cdot 23 = 96,6 \text{ м.}$$

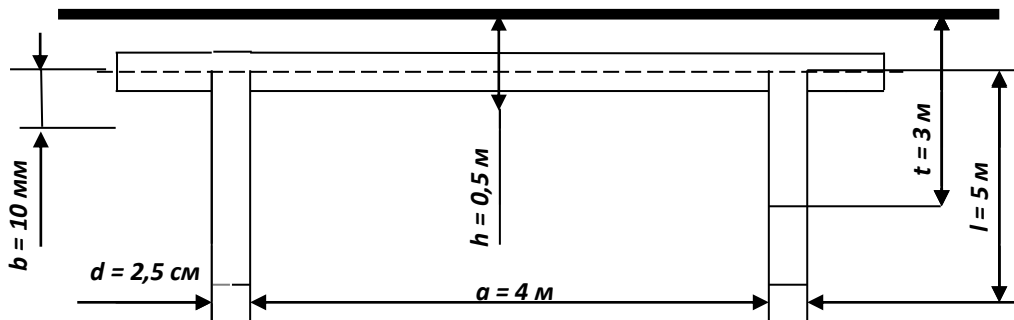


Рис.6.1. Схема прокладки заземлення.

Необхідний опір вертикальних заземлювачів з урахуванням опору з'єднувальної смуги:

$$R_{тр} = (R_n \cdot R_3^H) / (R_n - R_3^H) = (9,48 \cdot 4) / (9,48 - 4) = 6,92 \text{ Ом}$$

Остаточна кількість заземлювачів:

$$n = R_0 / (R_{тр} \cdot \eta_0) = 53,19 / (6,92 \cdot 0,59) = 13,02 \approx 13 \text{ шт.}$$

Виконаємо перевірку опору заземлювача і порівняємо отримане значення з нормуємим:

Опір смуги з урахуванням екранування:

$$R_n = 0,366 \cdot ((\rho_p)/(l_n \cdot \eta_n)) \cdot \lg((2 \cdot l_n^2)/(b \cdot n)) =$$
$$= 0,366 \cdot ((260)/(96,6 \cdot 0,51)) \cdot \lg((2 \cdot 96,6^2)/(0,01 \cdot 23)) = 9,48 \text{ Ом};$$

Де η_n - коефіцієнт використання з'єднувальної смуги шириною $b = 10$ мм та товщиною 5 мм.

$$R_3 = 1/((1/R_{тр}) + (1/R_n)) = 1/((1/6,92) + (1/9,48)) = 3,74 \leq 4 \text{ Ом} - R_3 \text{ максимально допустиме}$$

Таким чином, розрахункове значення заземлювача задовольняє заданій умові.

ВИСНОВКИ

1. Виконано детальний аналіз існуючих систем вентиляції на промислових підприємствах. Розглянуто переваги і недоліки зазначених систем. Намічено шляхи подальших досліджень.

2. Сформульовано загальні положення по вибору схем при проектуванні вентиляційних систем із зв'язанням основних вимог та обмежувальних умов щодо вибору вентиляції.

3. Розроблений проект енергоаудиту вентиляційних установок на підприємстві, де показано заходи з енергоефективного використання згаданих установок.

4. В результаті запропонованих МЕЗ можливо отримати економію при експлуатації вентиляційних установок понад 55 тис. грн. на рік.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії.- Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D0%B5>.
2. Природна вентиляція.- Режим доступу: <https://buklib.net/books/29849/>
3. Загальні вимоги до систем вентиляції. Лекція 3. ПРОМИСЛОВА ВЕНТИЛЯЦІЯ.- Режим доступу: https://studopedia.su/10_83589_vidi-sistem-ventilyatsii.html
4. Гримитлин, М. И. Отопление и вентиляция цехов машиностроительных заводов / М. И. Гримитлин [и др.]. – М. : машиностроение, 1978. – 272 с.
5. Елинский И. И. Вентиляция и отопление гальванических цехов машиностроительных предприятий. – 2-е изд., перераб. и доп. / И. И. Елинский. – М.: Машиностроение, 1989. – 152 с.
6. Бутаков, С. Е. Основы вентиляции горячих цехов / С. Е. Бутаков. – Свердловск: Metallurgiz, 1962. – 288 с.
7. Гримитлин, М.И. Вентиляция и отопление цехов переработки пластмасс / М. И. Гримитлин [и др.]. – Л. : Химия, 1983. – 134 с.
8. І.А. Пономарчук. Вентиляція та кондиціювання повітря: Навчальний посібник/ Пономарчук І.А., Волошин О.Б. – Вінниця: ВНТУ, 2004.- 121с.
9. Ратушняк Г. С. Експлуатація систем теплопостачання та вентиляції / Г. С. Ратушняк, Г. С. Попова. – Вінниця : ВДТУ, 2001. – 122 с
10. Журнал АВОК №3'2007 - Возможности применения естественной вентиляции для городских зданий.

11. Журнал АВОК №3'2004 «Организация воздухообмена в квартирах многоэтажного жилого дома» — информация о проекте нового свода правил НП «АВОК».

12. Белова Е.М. Системи кондиціонування повітря з чиллерами і фанкойлами / Белова Е.М. — М.: Євроклімат, 2003р. — 400.

13. Дорошенко Ю.Н. Проектирование вентиляции промышленного здания: Учебное пособие / Ю.Н. Дорошенко, В.С. Рекунов. — Томск: Изд-во Том. гос. архит-строит. ун-та, 2015 — 128 с.

14. Боровицкий, А. А. Современная промышленная вентиляция: учеб. пособие /А.А. Боровицкий, С.В. Угорова, В.И. Тарасенко: Владим. гос. ун-т. — Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2011. — 59 с.