

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка конструкції електроприводу для вентиляційної установки

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
4 курсу група ЕМ-20-1


Підпис


Яскорунський Р.О.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

к.т.н., доц. Майдан П.С.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

Пундик С.І.
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
т.в.о. зав. кафедри
МАЕЕС


Підпис, дата

к.т.н., доц. Неймак В.С.
Ініціали, прізвище

3 09 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

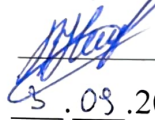
Шифр і назва

Спеціалізація _____

Освітня програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

 Нейман В.С.

5.09.2024

ЗАВДАННЯ

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Яскорунський Ростислав Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка конструкції електроприводу для вентиляційної установки

керівник роботи Майдан Павло Сергійович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від _____ 202__ р. № _____

2. Строк подання студентом роботи на кафедру _____

3. Вихідні дані до роботи енергетичні характеристики силового обладнання та мережі

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень. 2. Проектування системи автоматичного керування припливно-витяжної вентиляції. 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність. Загальні висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)
1. Типові схеми автоматизації систем вентиляції (ДО, А1). 2. Функціональна схема припливно-витяжної вентиляції (ДО, А1). 3 Блок схема припливно-витяжної вентиляції (С2, А1). 4. Система припливно-витяжної вентиляції (Е3, А1). 5. Характеристики електроприводу (РР, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень		
2. Проектування системи автоматичного керування припливно-витяжної вентиляції		
3. Розрахунки, що підтверджують працездатність		
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу		

Студент


Підпис

Р.О. Яскорунський
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис

П.С. Майдан
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Яскорунський Ростислав Олександрович
2. Тема магістерської роботи Розробка конструкції електроприводу для вентиляційної установки
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____
4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 79

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки: _____
В першому розділі проаналізовано основні типові схеми систем автоматизованого керування припливно-витяжної вентиляції та функції, які їм досяжні. Також проаналізовано та розглянуто особливості використання систем частотного керування електроприводом вентиляторів для систем ПВВ. В другому розділі було виконано проектування системи автоматичного керування припливно-витяжної вентиляції. Розроблено функціональну схему системи керування ПВВ, проведено розрахунок необхідної продуктивності системи вентиляції. Виконано підбір пристроїв. ПЛК та частотного перетворювача, давачів для системи керування вентиляцією приміщення. В третьому розділі проведено порівняльний аналіз законів керування електроприводів. Виконано обґрунтування обраного закону керування електроприводом в результаті якого отримано наступні значення у замкнутій системі ПВВ діапазон регулювання $D=12.8$ повністю відповідає заданому значенню – $D=5:1$. У зв'язку з цим можна зробити висновок, що даний закон керування підходить і зворотній зв'язок за швидкістю в створюваній системі ПВВ необхідний.

Підпис студента 


" 3 " 08 2024 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол №1 від " 11 " 08 2024 р.

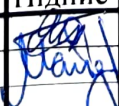


Оцінка проекту ЕК задовільно / E
Рекомендації ЕК _____

Особливі відмітки _____

Технічний секретар 

" 11 " 08 2024 р.

Зміст	с.
Вступ	5
1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень	6
1.1 Аналіз технологічних функцій керування припливно-витяжною вентиляцією приміщення	6
1.2 Використання регуляторів у системах ПВВ	13
1.3 Огляд та аналіз існуючих типових схем автоматизації систем вентиляції	20
1.4 Особливості використання частотного електроприводу в САК ПВВ	27
Висновки до першого розділу	30
2 Проектування системи автоматичного керування припливно-витяжної вентиляції	31
2.1 Розробка функціональної схеми системи керування ПВВ	31
2.2 Розрахунок необхідної продуктивності проєкту системи вентиляції	35
2.3 Підбір пристроїв для обробки повітря в приміщенні	38
2.4 Підбір частотного перетворювача для електродвигуна	45
2.5 Вибір PLC для технологічного процесу	48
2.6 Підбір давачів для системи ПВВ	50
2.7 Розроблення принципової схеми шафи керування системою ПВВ	52
Висновки до другого розділу	55
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність	56
3.1 Порівняльний аналіз законів керування електроприводів	56
3.2 Обґрунтування обраного закону керування електроприводом	57
Висновки до третього розділу	74
Загальні висновки	75
Перелік джерел посилань	76
Додатки	

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Яскорунський			Розробка конструкції електроприводу для вентиляційної установки	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевір.		Майдан П.С.				у	4	79
Н.контр.					ХНУ гр. ЕМ-20-1			
Затвер.		Неймак В.С.						

Вступ

Багато виробничих процесів на промислових підприємствах супроводжуються виділенням у повітря шкідливих для здоров'я людини великої кількості тепла, газів чи парів, пилу та вологи. Працівники, які перебувають у таких приміщеннях, також виділяють вологу, тепло та вуглекислий газ. Унаслідок цього відбувається зміна всього хімічного складу повітря і фізичного стану людини, що несприятливо позначається на самопочутті та стані здоров'я працівника, а це призводить до загального зниження працездатності.

Для підтримання в приміщеннях нормальних параметрів повітряного середовища, що відповідають санітарно-гігієнічним та технологічним вимогам, здійснюють проектування та, відповідно, монтаж систем вентиляції повітря [1-4].

Вентиляцією називають сукупність заходів і пристроїв, що забезпечують розрахунковий повітрообмін у приміщеннях промислових, а також житлових та громадських будівель.

На сучасному етапі автоматизація систем вентиляції та кондиціонування повітря є дуже важливим напрямком, оскільки автоматизоване керування надасть можливість забезпечити раціональне керування процесами обробки повітря і призведе в свою чергу до значної економії енергоресурсів.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень

1.1 Аналіз технологічних функцій керування припливно-витяжною вентиляцією приміщення

Найважливішим джерелом економії паливно-енергетичних ресурсів, що витрачаються на теплопостачання великих промислових будівель зі значним споживанням теплової та електричної енергії, є підвищення ефективності роботи всієї системи припливно-витяжної вентиляції (ПВВ) на базі застосування сучасних досягнень а керуючої техніки.

Автоматизація вентиляції та кондиціонування повітря особливо актуальна для великих об'єктів, наприклад, виробничих цехів, великих офісів, бізнес- чи розважальних центрів, громадських місць, у фермерському господарстві. Від якості автоматики та алгоритмів її керування залежить зручність, надійність та безпека роботи всієї вентиляційної системи приміщення.

Зазвичай для керування системою вентиляції приміщення використовуються засоби локальної автоматики. Основним недоліком такого типу регулювання є те, що не враховується фактичний повітряний і тепловий баланс промислової будівлі та реальні погодні умови: рівень температури навколишнього повітря, швидкість і напрямок вітрового потоку, рівень атмосферного тиску.

Тому під впливом даних засобів керування система вентиляції приміщення працює, як правило, в досить не ефективному режимі.

Ефективність роботи системи ППВ можна значно збільшити, якщо здійснювати раціональне керування, що буде базуватись на використанні сучасних програмованих логічних контролерів (PLC) [5, 6].

Формування теплового режиму приміщення можна уявити в якості взаємодії збурювальних та регулюючих чинників. Для визначення величини керуючого впливу потрібна інформація про властивості та кількість вхідних і

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

повітря та виконати процес прогрівання калориферу. Зазвичай дана функція вмикається за рівня температури навколишнього повітря нижче за 12 °С.

Зворотна опція – «послідовність зупинки» (рис. 1.1) [1-4]. Під час вимкнення системи ПВВ слід враховувати затримку зупинки вентилятора припливного повітря в установках із електрокалорифером. Після зняття напруги з електрокалорифера слід виконати його охолодження протягом певного часу, не вимикаючи вентилятор припливного повітря. В іншому випадку нагрівальний елемент калорифера може вийти із ладу.

Таким чином, на підставі виділених опцій оперативного та програмного керування можна уявити типовий графік вмикання/вимикання апаратів пристроїв системи ПВВ, представлений на рисунку 1.2.

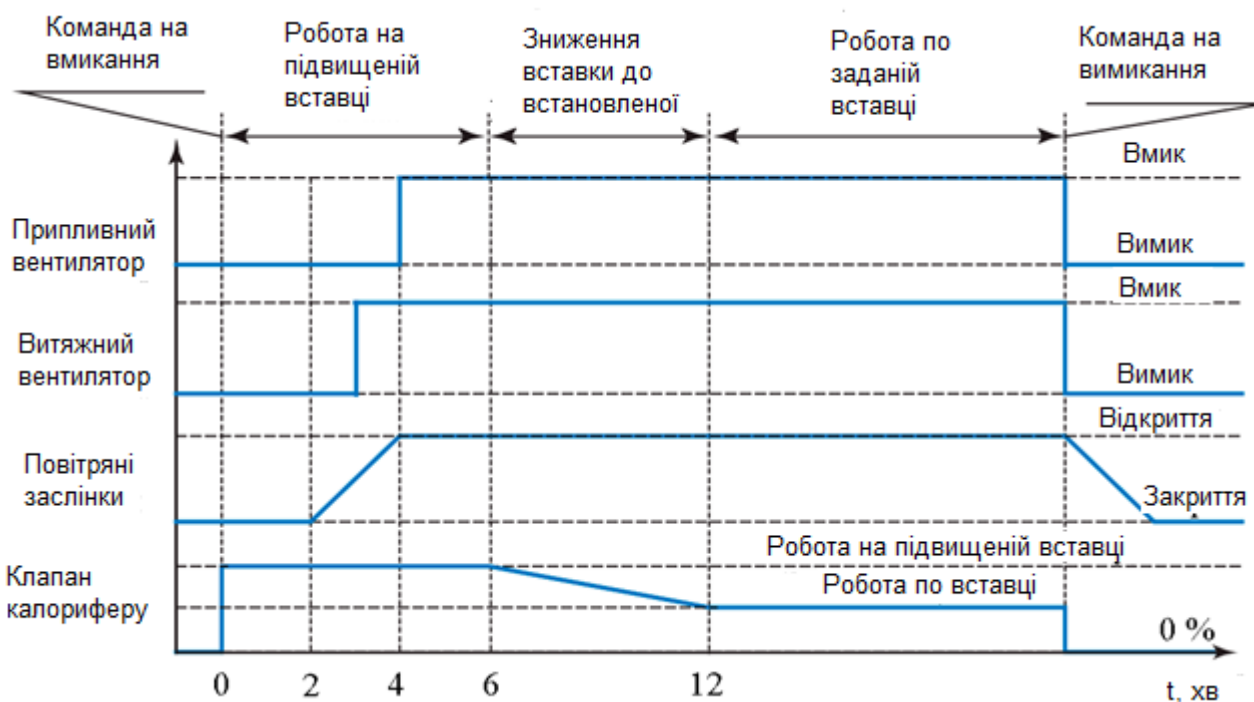


Рисунок 1.2 – Загальний вигляд циклограми роботи САК ПВВ

Даний цикл (див. рис. 1.2) система ПВВ має відпрацьовувати автоматично, крім того, має бути передбачений індивідуальний запуск встановленого обладнання, який необхідний під час налагодження та профілактики.

Важливе значення мають функції програмного керування, такі як зміна режиму роботи типу «зима-літо». Дані функції дуже актуальні в сучасних

умовах дефіциту енергетичних ресурсів.

У найпростішому випадку дані функції передбачають або повне вимкнення системи ПВВ у певний момент часу, або зниження заданого значення регульованого параметра (наприклад, рівня температури, рівня вологості) залежно від зміни теплових навантажень в обслуговуваному промисловому приміщенні.

При цьому основною мотивацією і критерієм оптимізації, як правило, є прагнення забезпечити мінімальне споживання енергії за обмежень на капітальні витрати, габарити тощо.

Функція «захисні функції та блокування» системи ПВВ (див. рис. 1.1).

Захисні функції та блокування загальні для систем автоматизації та електрообладнання (захист від виникнення К.З., перегріву, обмеження переміщення тощо) обумовлені спеціальними міжвідомчими нормативними документами. Дані захисні функції, зазвичай, реалізуються окремими пристроями (пристроями захисного вимкнення (ПЗВ), запобіжниками, кінцевими вимикачами тощо), використання яких регламентується правилами пожежної безпеки (ППБ) та правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) [13].

До захисних функцій відносять наступні:

- захист у разі виходу з ладу електроприводів вентиляторів;
- захист водяного калорифера від замерзання;
- захист у разі підвищення перепаду рівнів тиску на фільтрах;
- захист холодильної машини в разі відхилення допустимих значень напруги живлення, тисків, рівнів температур, сили струму тощо;
- захист електрокалорифера від перегріву або загоряння.

Функція «захист технологічної апаратури та електрообладнання» системи ПВВ (див. рис. 1.1).

Контроль забрудненості фільтра системи ПВВ оцінюється падінням рівня тиску на ньому, вимірюється спеціальним диференціальним давачем рівня тиску. Давач рівня тиску вимірює різницю тисків повітря до та після встановленого

фільтра. Допустиме падіння рівня тиску на фільтрі вказується в паспорті виробу. Дана різниця встановлюється під час налаштування системи ПВВ на диференціальному давачеві (уставка давача). При досягненні уставки від давача надходить сигнал про граничну запиленість фільтра для його обслуговування або повної заміни.

Аналогічні давачі рекомендується встановлювати на вентиляторах, у випадку якщо вийде з ладу вентилятор або ремінь електроприводу вентилятора, то система ПВВ повинна бути зупинена в аварійному режимі.

Крім цього, автоматичні блокування повинні передбачати наступне [1-4]:

- відкривання і закривання клапанів всіх систем вентиляції, з'єднаних повітропроводами між собою для повної або часткової взаємозамінності у випадку виходу з ладу будь-якої з систем;

- відкривання і закривання клапанів навколишнього повітря під час вмикання/вимикання вентиляторів (керування заслінками);

- закривання клапанів систем вентиляції для промислових приміщень, що захищаються установками газового пожежогасіння у разі вимкнення вентиляторів систем вентиляції даних приміщень;

- забезпечення мінімальної витрати навколишнього повітря в системах зі змінною витратою тощо.

Функції регулювання системи ПВВ (див. рис. 1.1).

Функції регулювання - автоматичне підтримання встановлених параметрів є основними за визначенням [7-12] для систем ПВВ, які працюють зі рециркуляцією або підігрівом повітря, змінною витратою.

Дані функції виконуються за допомогою спеціальних замкнутих контурів регулювання, у яких принцип 33 присутній у явному вигляді: інформація про ОК, що надходить від давачів, перетворюється регулювальними пристроями на впливи керування.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1.2 Використання регуляторів у системах ПВВ

У САК підтримання заданого значення регульованого параметра або зміна параметру за певним законом забезпечується спеціальними апаратними засобами, що носять загальну назву - автоматичні регулятори (АР) [9-12].

За видом регульованого параметра АР класифікують на регулятори рівня температури, рівня тиску, вологості, розрідження, витрати, складу повітря тощо.

За характером зміни впливу регулювання АР класифікують на регулятори з лінійними та нелінійними законами регулювання.

Прикладом АР, що працюють за нелінійним законом регулювання можуть слугувати двопозиційні регулятори рівня температури в холодильних машинах. У трипозиційних дискретних системах керування вихідний сигнал може набувати трьох значень: мінус 1, 0, +1, або «менше», «норма», «більше». Якість роботи даних САК вища, хоча надійність роботи в них нижча.

АР, що працюють з лінійним законом регулювання за математичною залежністю між вхідними і вихідними сигналами поділяються на наступні базові види:

- пропорційні (або П-регулятори);
- пропорційно-інтегральні (або ПІ-регулятори);
- пропорційно-інтегрально-диференціальні (або ПІД-регулятори).

Залежно від виду енергії, що використовується, АР поділяють на пневматичні, електричні (електромеханічні, електронні), гідравлічні та комбіновані.

В залежності від задаючого впливу і параметрів ОК вибирають АР із певною характеристикою передаточної функції W_p [9-12]. Зміна W_p адекватно веде до зміни коефіцієнтів диференціального рівняння загальної передаточної ланки (АР-ОК) і тим чином досягається необхідна якість регулювання. У промислових АР дані величини носять назву параметри налаштування. Параметрами налаштування є наступні величини: зона нечутливості, коефіцієнт

										Арк.
										13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	БРМА 24.00.00.000 ПЗ					

посилення, постійна часу інтегрування, постійна часу диференціювання тощо. Для зміни параметрів налаштування в АР є спеціальні органи налаштування (керування).

Крім органів налаштування основних параметрів, АР мають також органи налаштування, що побічно впливають на дані коефіцієнти або режими роботи АР, наприклад, органи налаштування, що змінюють чутливість АР, виконують демпфування вхідного сигналу тощо.

П-регулятори.

Узагальнену структурну схему САК наведено на рис. 1.3.

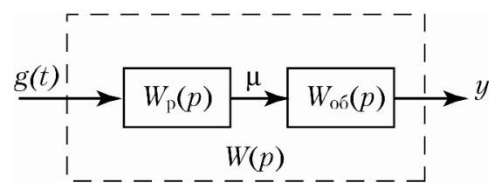


Рисунок 1.3 - Структурна схема САК розімкнутої системи [9-12]

Для розімкнутої системи керування, представленої на рисунку 1.3, її амплітудно-фазова характеристика (АФХ) визначається за наступним виразом:

$$W(j\omega) = W_p(j\omega) \cdot W_{OK}(j\omega), \quad (1.1)$$

де $W_p(j\omega)$ - АФХ АР;

$W_{OK}(j\omega)$ - АФХ ОК [9-12].

Якщо комплексно-частотна характеристика (КЧХ) АР буде рівною $W_p(j\omega) = k_p$, тоді АФХ усієї системи керування запишеться у наступному вигляді $W(j\omega) = k_p \cdot W_{OK}(j\omega)$, отже, АФХ системи керування на кожній частоті буде зростати в k_p разів.

Такі регулятори носять назву пропорційних і мають лише один параметр налаштування - коефіцієнт передачі або k_p .

Остання утворюється шляхом постійного підсумовування величини ε за певний проміжок часу і формування сигналу керування, пропорційного отриманій величині.

Математично даний процес може бути описаний наступною залежністю:

$$\mu = k_i \int_0^t \varepsilon dt, \quad (1.3)$$

де $k_i = 1/T_i$ - коефіцієнт пропорційності інтегральної складової системи, а T_i - стала часу інтегрування, параметр налаштування АР.

Для побудови ПІ-регулятора використовують як з'єднання послідовне пропорційної та інтегрувальної ланок, так і паралельне (рис. 1.5) [9-12].

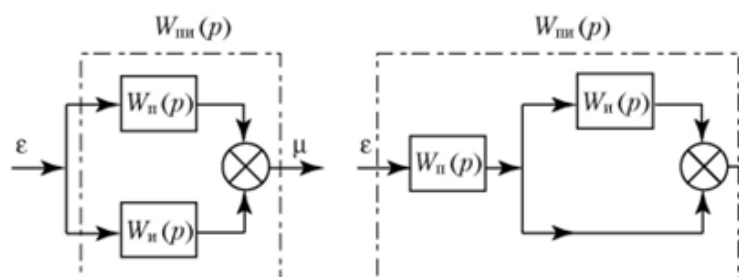


Рисунок 1.5 – Загальний вигляд з'єднання ідеальних ПІ-регуляторів

Загальний вигляд перехідного процесу під час виконання ПІ-регулювання представлено на рис. 1.6.

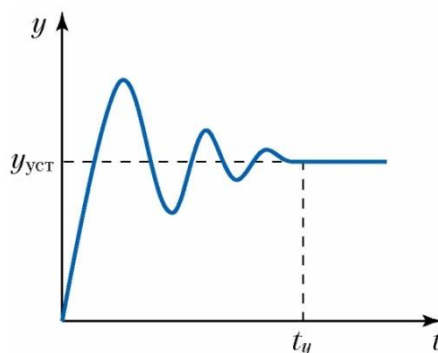


Рисунок 1.6 – Загальний вигляд перехідного процесу при виконанні ПІ-регулювання

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

Варіанти структурних схем ПІ-регуляторів представлено на рис. 1.7, а особливості використання описані в довідниковій літературі [9-12].

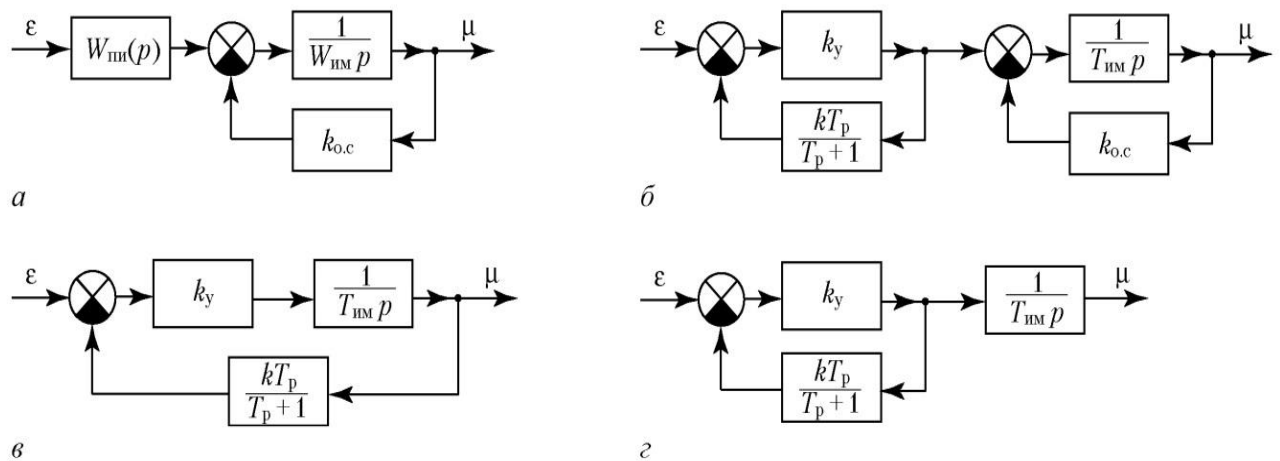


Рисунок 1.7 – Загальний вигляд структурних схем промислових ПІ-регуляторів

ПІД-регулятори.

ПІ-регулятори та ПІ-регулятори не можуть випереджати очікуване відхилення керованої величини, реагуючи лише на наявне відхилення. Виникає необхідність у використанні регулятора, який створював би додатковий вплив регулювання, пропорційний швидкості відхилення керованої величини від встановленого значення $\mu_d = T_d \frac{d\varepsilon}{dt}$.

Такий вплив регулювання використовується в диференціальних та ПІД-регуляторах. ПІД-регулятори впливають на ОК пропорційно відхиленню ε керованої величини, інтегралу від цього відхилення і швидкості зміни керованої величини згідно формули:

$$\mu = k_p \varepsilon + \frac{1}{T_i} \int_0^t \varepsilon dt + T_d \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (1.4)$$

ПІД-регулятори є досить універсальними у використанні [9-12], їх

використання, можна отримати будь-який закон регулювання. На рис. 1.8. представлено загальний вигляд структурної схеми ПІД-регулятора.

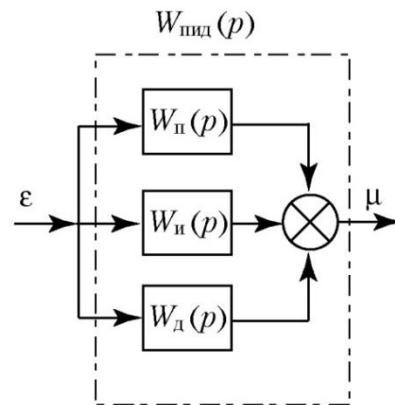


Рисунок 1.8. – Загальний вигляд структурної схеми ПІД-регулятора

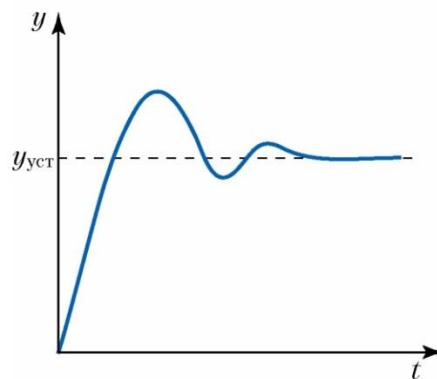


Рисунок 1.9 – Загальний вигляд перехідного процесу при виконанні Під-регулювання

Параметрами налаштування ПІД-регуляторів є так званий коефіцієнт пропорційності АР k_p , стала часу інтегрування T_i та стала часу диференціювання T_d .

Структурні схеми промислових ПІД-регуляторів, а також характеристики описано в довідниковій літературі [9-12].

ПІД-регулятори володіють суттєвим недоліком - складністю налаштування. Для правильного підбору параметрів використовують спеціальні математичні моделі, отримані під час вимірювання сигналів на вході та виході. Що в сукупності, носить назву - ідентифікація ОК. Завдяки цьому, використання ПІД-регулятора стає більш оптимальним. Для коректної роботи ПІД-регулятора

також необхідно виконувати операцію калібрування.

У системах кондиціонування повітря, як правило, використовують електричні або пневматичні прилади АР, що виконують наступні алгоритми регулювання: дво- і три позиційні, пропорційні, інтегральні, пропорційно-інтегральні (або ізодромні) та пропорційно-інтегрально-диференціальні [9-12].

Позиційні АР використовують головним чином у схемах для захисту калориферів першого ступеня підігріву і реверсу повітряних клапанів, іноді їх використовують у контурах керування рівнем температури припливного повітря або повітря в промисловому приміщенні, якщо припустимі досить великі границі коливання параметрів.

У контурах регулювання рівня температури і рівня вологості більшості систем комфортного і технологічного кондиціонування використовують або П-регулятори або І-регулятори. П-регулятори володіють досить високою швидкістю, але виконують процес регулювання із помилкою, величина якої пропорційна впливу величини збурення на САК. У системах з І-регулюванням помилка регулювання нижча, однак, такі АР володіють і нижчою швидкістю. Вибір того чи іншого АР необхідно підтвердити відповідним розрахунком. У проєктній практиці вибір виконується головним чином за досвідом налагодження та експлуатації подібних систем керування [9-12].

ПІ-регулятори, що поєднують у собі всі переваги як П-регуляторів так і І-регуляторів, використовуються переважно в спеціальних системах кондиціонування повітря, що забезпечують підтримання встановлених параметрів із досить високою точністю.

Підвищення якості автоматичного керування можна домогтися не лише ускладненням алгоритму, а й удосконаленням контуру керування шляхом встановлення додаткових пристроїв для коригування.

Точність підтримання параметрів залежить від ухваленого алгоритму керування, а також від місця встановлення чутливих елементів давачів рівня температури та величини вологості (особливо тих, що встановлюються в

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

промислових приміщеннях) [9-12]. Необхідно враховувати, що підтримувати, наприклад, рівень температури із відхиленнями в межах $\pm 0,5^\circ$ у точці встановлення давача не становить яких небудь труднощів, проте на деякій відстані від давача рівень температура залежить від неконтрольованого й вельми складного процесу струменевого та променево-конвективного теплообміну в промисловому приміщенні. Тому в деяких випадках у промислових приміщеннях повинно бути встановлено декілька давачів, причому вибір місця встановлення необхідно обґрунтувати за допомогою аналізу теплового режиму зони промислового приміщення, в якій мають підтримуватися встановлені параметри мікроклімату. Та чи інша схема керування повинна бути обрана на основі розрахунку надійності та забезпеченості встановлених режимів.

1.3 Огляд та аналіз існуючих типових схем автоматизації систем вентиляції

Існує низка стандартних виконань САК ПВВ, кожна з них володіє низкою переваг та певних недоліків [4-8]. Незважаючи на наявність безлічі типових схем і розробок, досить складно створити САК ПВВ, яка б була достатньо гнучкою щодо налаштувань відносно виробництва, на якому вона буде використовуватись. Таким чином, для проєктування САК ПВВ необхідний ретельний аналіз наявної структури вентиляції, аналіз технологічних процесів виробничого циклу, а також аналіз вимог з охорони праці, екології, електро- та пожежної безпеки. Найчастіше проєктована САК ПВВ є спеціалізованою відносно галузі свого використання.

У будь-якому випадку, в якості типових вихідних даних на початковому етапі проєктування зазвичай заведено розглядати наступні групи:

- загальні дані такі, як територіальне розташування об'єкта, тип та призначення об'єкта;
- детальні відомості про будівлю та приміщення: генеральні плани та

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

розрізи із зазначенням усіх розмірів; наявність технічних площ із зазначенням розмірів; зазначення категорій приміщень відповідно до протипожежних норм; розташування і характеристики встановлених систем вентиляції; характеристики енергоносіїв;

- загальні відомості про технологічний процес: креслення технологічного проекту (плани) із зазначенням розташування технологічного обладнання; специфікація обладнання із зазначенням встановлених потужностей; характеристики технологічного режиму - кількість робочих змін, середня кількість працівників за зміну; режим роботи технологічного обладнання; кількість шкідливих виділень у повітря.

В якості вихідних даних для розрахунку САК ПВВ виносять наступні:

- перелік параметрів повітря, що підлягають керуванню;
- продуктивність системи (потужність, повітрообмін);
- межі керування параметрів;
- робота системи під час надходження зовнішніх сигналів керування.

Таким чином, виконання САК проектується виходячи з встановлених на технічних завдань з урахуванням норм і правил, а також загальних вихідних даних та схем системи. Складання схеми та підбір апаратури САК ПВВ виконується індивідуально [4-8].

Архітектура САК ПВВ.

Існують три базові підходи до створення САК ПВВ [4-8]:

- централізований підхід - реалізація САК ПВВ на основі PLC, керування всією системою вентиляції виконується централізовано відповідно до закладених програм і даних - все керування САК ПВВ є жорстким, на базі заданої програми. Даний підхід вирізняє гнучкість налаштувань, можливість масштабування САК ПВВ до розумних меж, а також можливість мобільного об'єднання САК за змішаним принципом організації;

- розподілений підхід - реалізація САК ПВВ на основі місцевого комутаційного обладнання, керування кожним окремим вузлом виконується

										Арк.
										21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	БРМА 24.00.00.000 ПЗ					

обміну і турбулентній течії повітря в даних каналах, домагаються високого ступеня утилізації теплової енергії за відносно низького гідравлічного опору. Ефективність пластинчастих рекуператорів сягає майже 70% [4-8].



Рисунок 1.12 - Робота системи повітрообміну з рециркуляцією (рекуперацією)

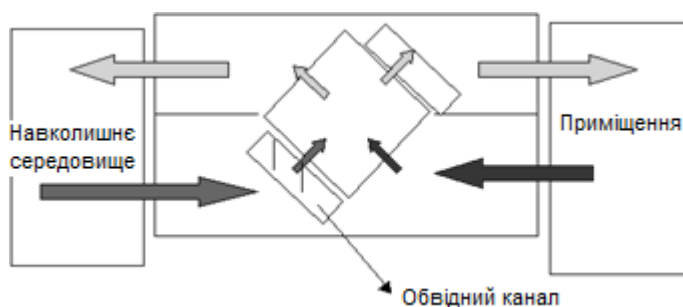


Рисунок 1.13 – Схема організації обміну повітря САК ПВВ на основі використання пластинчастих рекуператорів

Утилізується тільки явна тепла енергія витяжного повітря, оскільки витяжне та припливне повітря жодним чином не змішуються, а конденсат, що утворюється під час охолодження повітря, яке витягується, затримується сепаратором та відводиться за допомогою спеціальної дренажної системи до зливного піддону. Для запобігання замерзанню конденсату за низьких рівнів температури (до мінус 15°C), формуються відповідні вимоги до САК: вона повинна забезпечувати періодичну зупинку спеціального припливного вентилятора або відведення частини навколишнього повітря в обвідний канал в обхід головних каналів рекуператора. Єдине обмеження в використанні даного

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.
24

майже до 10 % витяжного повітря змішується з припливним повітрям, а в частині випадків це є неприпустимим або небажаним (якщо повітря значно забруднене). Вимоги до конструкції даної САК аналогічні попередньому варіанту - припливна та витяжна машини розташовані в одному місці. Даний спосіб більш дорогий тому і рідше знаходить застосування в промисловості.

Загалом САК ПВВ з рекуперацією коштують приблизно на 40-60 % дорожче за аналогічні САК ПВВ без рекуперації, однак витрати на експлуатацію будуть відрізнятись в рази. Навіть за сьогоднішніх цін на енергоносії час окупності САК не буде перевищувати двох опалювальних сезонів.

Варто відмітити, що на енергозбереження впливають, зокрема, й алгоритми керування ПВВ. Проте, необхідно враховувати, що всі САК ПВВ розраховуються на деякі, стандартні або усереднені умови. Наприклад, витрату навколишнього повітря визначали на одну кількість працівників, а реально в промисловому приміщенні може перебувати менше ніж п'ята частина від прийнятого значення, звісно, в такому випадку розрахункова витрата навколишнього повітря буде явно надлишковою, робота САК ПВВ в надлишковому режимі призведе до необґрунтованої втрати енергоресурсів. Логічно в такому випадку розглянути декілька можливих режимів експлуатації - наприклад, зима/літо.

Якщо САК ПВВ здатна встановити подібні режими – економія енергоресурсів буде очевидна. Ще один підхід пов'язаний із регулюванням витрати навколишнього повітря в залежності від якості газового середовища всередині промислового приміщення, тобто САК ПВВ містить у собі вбудовані газоаналізатори на шкідливі гази та встановлює значення витрати навколишнього повітря таким чином, щоб вміст шкідливих газів не перевищував гранично-допустимих значень. Це можливо досягнути шляхом зміни продуктивності встановлених вентиляторів ПВВ [4-8].

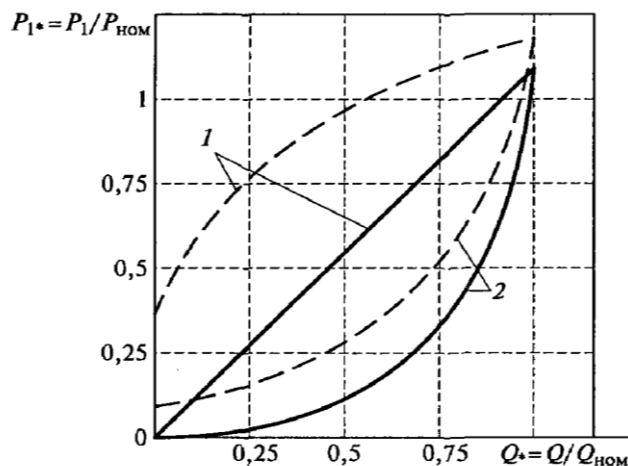
					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1.4 Особливості використання частотного електроприводу в САК ПВВ

У САК ПВВ часто виникає необхідність регулювання загальної продуктивності. Продуктивність встановленого вентилятора можна змінювати в залежності від кліматичних умов, виділень шкідливих газів тощо.

В якості регульованих електроприводів встановлених вентиляторів використовують наступні системи: ЧП-АД із КЗР, за потужності встановленого вентилятора до 500 кВт; АВК-АД із ФР, НПЧ-СД за потужностей встановленого вентилятора вище за 500 кВт.

Регулювання загальної продуктивності може досягатися також за рахунок дроселювання за постійної частоти обертання головного валу встановленого вентилятора, однак при умові використання спеціального частотно-регульованого електроприводу можна домогтися значної економії електроенергії за однакового рівня витрати [9-12, 14].



1 – регулювання за допомогою шибери; 2 – використання частотного регулювання

Рисунок 1.15 - Залежність зміни загальної потужності, споживаної із мережі електроприводом вентилятора:

Залежність загальної споживаної потужності встановленого вентилятора від швидкості обертання головного валу вентилятора: $P = f(Q^3)$, тобто ,

напруги за певної величини частоти визначається видом механічної характеристики, а також значеннями пускового та критичного моментів. Завдяки скалярному методу керування забезпечується постійна перевантажувальна здатність АД, незалежна від величини частоти напруги, але за досить низьких величин частот може відбутися значне падіння моменту. Максимальне значення діапазону скалярного методу керування, за якого можливе регулювання швидкості обертання ротора АД, без втрати моменту опору не буде перевищувати 1:10.

Скалярний метод керування АД досить легко реалізується, але все ж таки в ньому присутні два значні недоліки. По-перше, якщо на головному валу не встановлений датчик швидкості, то неможливо виконувати регулювання значення швидкості обертання головного валу, оскільки вона залежить від навантаження, що впливає на весь електропривод. Ще одним значним недоліком залишається - відсутність можливості регулювання значення моменту на головному валу електродвигуна. Є можливість встановлення датчика величини моменту, але вартість даних датчиків, як правило, перевищує вартість всього електроприводу. Причому, навіть якщо встановити датчик керування моментом, то процес керування цим самим моментом виявиться неймовірно інерційним. Також скалярний метод керування АД характеризується тим, що неможливо виконувати одночасного регулювання величини швидкості та величини моменту, тому доводиться виконувати регулювання тієї величини, яка на даному етапі є найважливішою через умови виконання технологічного процесу [9-12, 14].

Висновки до першого розділу

Було розглянуто та проаналізовано основні типові схеми систем автоматизованого керування припливно-витяжної вентиляції та функції, які їм досяжні. Також проаналізовано та розглянуто особливості використання систем частотного керування електроприводом вентиляторів для систем ПВВ.

										Арк.
										30
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	БРМА 24.00.00.000 ПЗ					

2 Проектування системи автоматичного керування припливно-витяжної вентиляції

Отже, САК ПВВ установкою, що проектується, повинна забезпечувати наступні режими роботи та володіти властивостями:

1. Контроль та регулювання рівнів параметрів мікроклімату обслуговуваного приміщення (рівень температура повітря, величина швидкості руху повітря, величина вологості);

2. Регулювання рівня температури в процесі охолодження повітря у фреоновому охолоджувачі, нагрівання повітря в електричному калорифері, зволоження повітря в паровому зволожувачі, забезпечення захисту обладнання (розробка алгоритму керування);

3. Регулювання продуктивності САК та забезпечення необхідних захистів електродвигунів вентиляторів (або розробка регульованої системи керування електроприводом встановлених вентиляторів);

4. Забезпечення відповідних режимів роботи встановленого обладнання в екстрених ситуаціях (так званий «екстрений приплив» або «екстрена витяжка»).

5. Керування встановленими заслінками повітрязабірників (або шибери) повинне бути пов'язане із роботою встановлених вентиляторів, щоб уникнути поломки самих вентиляторів.

6. Обробка виникаючих аварійних станів: забруднення очисних блоків - фільтрів (на підставі опрацювання показань із давачів перепаду рівнів тиску), поломки встановлених вентиляторів, аварії калориферної установки, розташування шиберів тощо.

7. Забезпечення автоматичного вмикання вентиляторів, режим ручного керування САК ПВВ (у разі виходу САК з ладу або діагностики, технічного обслуговування чи ремонту).

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

2.1 Розробка функціональної схеми системи керування ПВВ

На основі описаного вище розробимо функціональну схему вентиляційної установки, яку наведено на рис. 2.1 та БРМА 24.00.00.000ДО2.

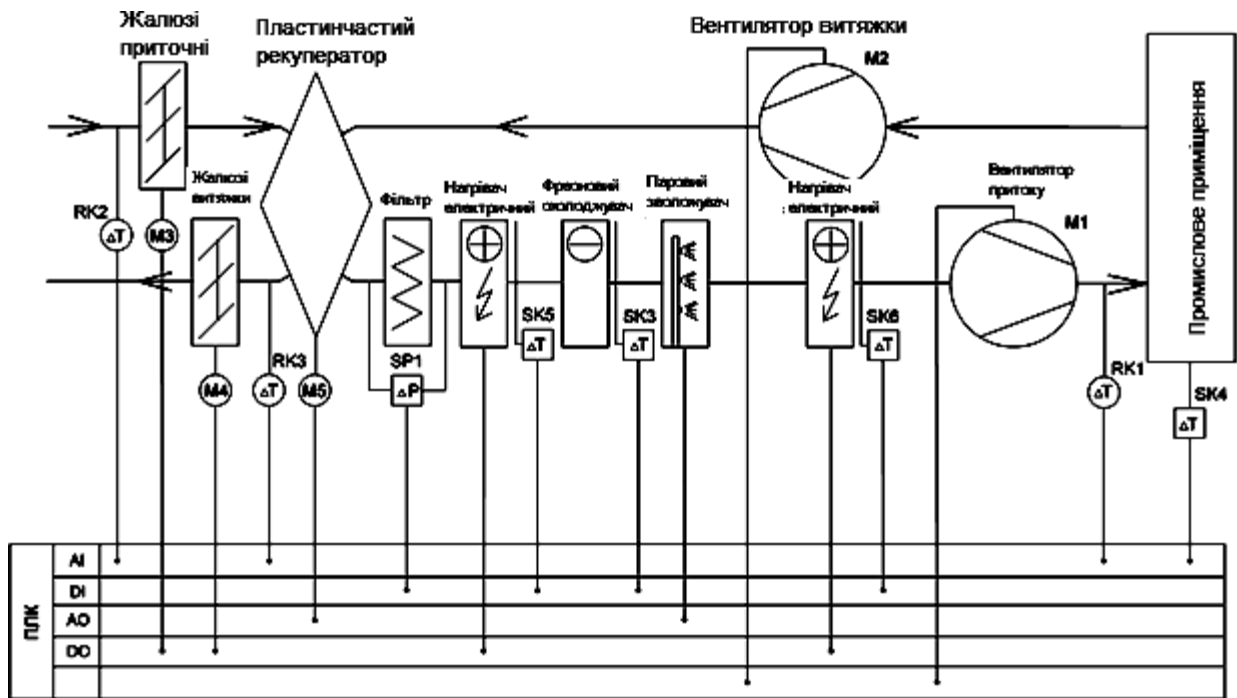


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд функціональної схеми ПВВ

Для ширшого розуміння роботи даної системи керування ПВВ складемо блок-схему, у якій відображено все встановлене обладнання, що входить до складу ПВВ, і рівні сигналів, за допомогою яких відбувається взаємодія. Блок-схему наведено на рис. 2.2 та БРМА 24.00.00.000С2.

Головним вузлом у даній схемі є PLC. Він являє собою спеціальний мікропроцесорний пристрій, призначений для збирання, перетворення, оброблення, зберігання інформації та створення команд керування, що має кінцеву кількість входів та виходів, під'єднаних до них давачів, ключів, виконавчих механізмів, ОК, та призначений для роботи в режимах реального та псевдореального часу [9-12, 14].

частотних перетворювачів (ЧП). Оскільки кожен встановлений вентилятор повинен керуватися окремо один від одного, то для кожного електродвигуна необхідно використовувати окремий ЧП. У подібних схемах можливе використання пристрою плавного пуску, однак за аналогічної ціни, ЧП володіє великою кількістю переваг:

- економія електроенергії в разі неповного навантаження;
- регулювання частоти обертання головного валу електродвигуна з високою точністю;
- можливість інтеграції в промислову мережу;
- наявність додаткових налаштувань і захистів.

Жалюзі припливу, жалюзі витяжки та байпас рекуператора приводяться в рух за допомогою використання електродвигунів постійного струму з послідовним збудженням. Для таких електродвигунів PLC створює вплив керування згідно із програмою, враховуючи положення відповідних кінцевих вимикачів (рис.2.2).

Для електрокалорифера, охолоджувача та зволожувача PLC створює сигнали керування в залежності від встановленої програми, записаної в пам'ять PLC, визначених уставок, сигналів від датчиків рівня температури, рівня вологості, положення контактів термостатів.

PLC пов'язаний з ЧП та ПК (рис. 2.2). В якості інтерфейсу зв'язку може бути використаний RS-485, це обґрунтовано тим, що надасть можливість з'єднувати підключені пристрої в шини (до 32 окремих пристроїв), володіє підвищеною захищеністю від завад і вищу дальність зв'язку (до 1,2 км), на відміну від RS-232. Також даний тип інтерфейсу більш широко застосовується і підтримується більшою кількістю обладнання, ніж, наприклад, Ethernet [15].

Інтерфейс зв'язку RS-485 [15] включено до складу багатьох мережевих протоколів таких, як: ProfiBus DP, ModBus, DH-485 (Allen Bradley), DCON (ICP CON), Овен, BitBus (Intel). На нашу думку протокол ModBus є найбільш раціональним у створюваній системі, оскільки він є одним із найпоширеніших у

світі. До його переваг можна віднести відкритість та масовість використання. На сучасному етапі випускається величезна кількість PLC, давачів, виконавчих пристроїв, що підтримують даний протокол. Практично всі промислові системи контролю та керування технологічними процесами мають програмні драйвери для роботи саме з ModBus-мережами.

Для розширення можливостей розроблюваної системи потрібне під'єднання ПК із програмним пакетом, призначеним для забезпечення роботи в псевдореальному часі системи збору, обробки, відображення та збереження інформації про ОК. Це надасть можливість інтегрувати систему ПБВ в загальну мережу підприємства, що в свою чергу дасть змогу забезпечити постійний централізований контроль системи ПБВ, оперативне реагування в аварійних ситуаціях, зменшити вплив фактору працівника, оптимізувати документообіг та загальну систему звітності.

2.2 Розрахунок необхідної продуктивності проєкту системи вентиляції

Розрахунок системи вентиляції починається з визначення продуктивності по обсягу повітря, вимірюється м³/год [1-4].

Для кожного промислового приміщення визначається необхідний обсяг повітря, що подається. Розрахунок повинен бути виконаний відповідно до довідникової літератури [1-4], згідно з чим, для житлових приміщень без природного провітрювання обсяг витрати повітря повинен складати не менше ніж 60 м³/год на кожну людину. Під час виконання розрахунку враховуються тільки люди, які перебувають у приміщенні достатньо тривалий час.

Після виконання розрахунку повітрообміну за людьми потрібно виконати розрахунок повітрообміну за кратністю (тобто, скільки разів протягом однієї години в приміщенні відбувається повна зміна обсягу повітря). Щоб обсяг повітря в приміщенні не застоювався, потрібно забезпечити хоча б одноразовий повітрообмін.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, для визначення необхідного обсягу повітря необхідно виконати розрахунок двох значень повітрообміну: за кількістю присутніх людей і за кратністю і, після чого вибрати більше з цих двох отриманих значень:

1. Розрахунок повітрообміну за кількістю присутніх людей:

$$L = N \cdot L_{\text{норм}}, \quad (2.1)$$

де L - необхідна величина продуктивності ПВВ, м³/год;

N - кількість присутніх людей;

$L_{\text{норм}}$ - нормована величина витрати повітря на одну людину:

- у стані спокою (сну) - $L_{\text{норм}} = 30 \text{ м}^3/\text{год}$;

- типове значення (за СНіП) - $L_{\text{норм}} = 60 \text{ м}^3/\text{год}$.

$$L = 15 \cdot 60 = 900 \text{ м}^3/\text{год}.$$

2. Розрахунок повітрообміну за кратністю:

$$L = n \cdot S \cdot H, \quad (2.2)$$

де L - величина необхідної продуктивності ПВВ, м³/год;

n - нормована величина кратності повітрообміну:

для житлових приміщень приймається - від 1 до 2, для офісів - від 2 до 3;

S - загальна площа приміщення, м²;

H - загальна висота приміщення, м.

$$L = 3 \cdot 120 \cdot 3 = 1080 \text{ м}^3/\text{год}.$$

Після визначення продуктивності системи ПВВ виконується необхідний

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

також визначити опір вентиляційної мережі. Проте точний розрахунок є дуже трудомістким, вимагає врахування опору на кожному елементі, що не завжди можливо виконати, тому надалі будемо застосовувати усереднене значення рівня тиску. Для подібних систем ПВВ за швидкості руху повітря 3-4 м/с і площі приміщення близько 100 м² опір повітророзподільної мережі буде приблизно рівним 100 Па.

Таким чином, вихідними даними для підбору обладнання будуть наступні:

- $L = 1080 \text{ м}^3/\text{год}$ - величина необхідної продуктивності;
- $P = 100 \text{ Па}$ - необхідний рівень тиску у мережі;
- габаритні розміри повітропроводів 200x400 і площею поперечного перерізу 800 см².

2.3 Підбір пристроїв для обробки повітря в приміщенні

Припливний та витяжний вентилятор необхідно підбирати залежно від розрахованої продуктивності та рівня тиску в мережі [1-4].

Таким чином, припливний та витяжний вентилятор повинні відповідати наступним вимогам:

- витрата повітря понад 1080 м³/год за рівня тиску в мережі не більше 100 Па;
- система електроприводу - АД із короткозамкненим ротором;
- наявність термоконтактів електродвигунів (для захисту від перегріву);
- габаритні розміри фланців - 200x400 мм.

У таблиці 2.1 представлено вентилятори кількох фірм виробників.

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики вентиляторів різних фірм виробників

Характеристика	Показник		
	VKT	Ostberg	ВЕНТС
Фірма виробник			
Величина напруги живлення, В	380	380	380

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Номинальна сила струму, А	1,0	0,65	0,6
Номинальна потужність, Вт	317	375	282
Номинальна частота обертання, хв ⁻¹	1390	1185	1300
Максимальний рівень тиску, Па	259	250	263
Максимальний допустимий розхід, м ³ /год	1250	1510	1470
Номинальний cosφ	0,68	0,65	0,67
Номинальний ККД	0,7	0,69	0,72
Ступінь захисту електродвигуна	IP 54	IP 44	IP 44
Габаритні розміри фланців, мм	200x400	200x400	200x400

Провівши аналіз вентиляторів різних фірм виробників, ми прийшли до висновку, що для проєкту системи ПВВ найбільше підходить вентилятор фірми виробника VKT, оскільки він підходить за всіма параметрами, має підвищений ступінь захисту та нижчу вартість. Найменування обраного вентилятора - VKV 200x400 4,3/380 [16], загальний вигляд представлено на рис. 2.3.

Далі необхідно перевірити, чи підходить обраний вентилятор для проєкту системи ПВВ, для цього за вентиляційною характеристикою вентилятора (рис. 2.4) за заданим рівнем тиску у мережі визначається продуктивність.

За рівня тиску в системі рівного 100 Па, продуктивність встановленого вентилятора складає близько 1100 м³/год, що вище розрахункової продуктивності вентилятора: 1100 м³/год > 1080 м³/год.



Рисунок 2.3 – Загальний вигляд вентилятору VKV 200x400 4,3/380 [16]

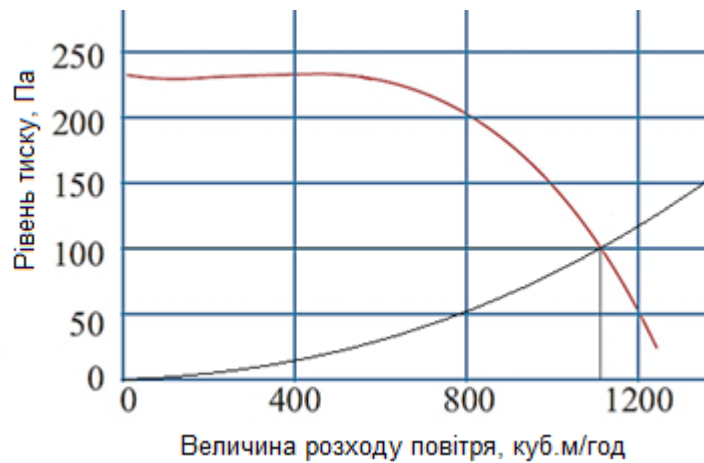


Рисунок 2.4 – Графічна залежність вентиляційної характеристики вентилятора VKV 200x400 4,3/380

У проєкті системи ПВВ доцільно використовувати електричний калорифер замість водяного, оскільки електричний не потребує додаткового джерела для транспортування теплоносія [1-4].

Для розрахунку необхідної потужності електричного калорифера знадобляться значення рівнів температури повітря на виході системи ПВВ і мінімального рівня температури навколишнього повітря в холодний період року. Рівень температури повітря, що надходить у промислове приміщення, повинен бути не нижче ніж $+18^{\circ}\text{C}$. Мінімальний рівень температури навколишнього повітря залежить від кліматичної зони і для Хмельницького приймається рівним мінус 26°C (визначається згідно із СНіП 23-01-99). Таким чином, у разі ввімкнення електричного калорифера на повну потужність, повинне відбуватися нагрівання потоку повітря на 44°C . Оскільки сильні морози в Хмельницькому не завжди тривалі, можна використовувати електричний калорифер нижчої потужності, за умови, що система ПВВ оснащена системою регулювання продуктивності, що в свою чергу, надасть можливість в холодний період року підтримувати комфортний рівень температури повітря за рахунок зниження швидкості вентилятора.

Потужність електричного калорифера розраховується за наступною формулою:

$$P = \frac{\Delta T \cdot L \cdot C_v}{1000}, \quad (2.4)$$

д: P - загальна потужність електричного калорифера, кВт;

ΔT - різниця рівнів температур повітря на виході та вході електричного калорифера, °С, для Хмельницького приймаємо $\Delta T = 44^\circ\text{C}$;

L - величина продуктивності вентиляції, м³/год.

C_v - об'ємна теплоємність повітря, що дорівнює. Даний параметр залежить від рівня тиску, вологості та рівня температури повітря.

$$P = \frac{44 \cdot 1080 \cdot 0,336}{1000} = 15,96 \text{ кВт.}$$

За потужності електричного калорифера понад 5 кВт бажано використовувати трьох фазне підключення. Величину максимальної сили струму, споживану електричним калорифером, можна розрахувати за наступною формулою:

$$I = \frac{P}{U}, \quad (2.5)$$

де I - максимальна споживана сила струму, А;

P - загальна потужність електричного калорифера, Вт;

U - величина напруги живлення, приймаємо $U = 660\text{В}$ (або 3 фази по 220В) - для трифазного живлення.

$$I = \frac{15960}{660} = 24,18 \text{ А.}$$

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		41

Таким чином, електричний нагрівач повинен задовольняти наступним вимогам:

- загальна потужність до 16 кВт;
- можливість трифазного живлення (3 фази по 220В);
- розміри фланців: 200х400 мм.

Оскільки в Хмельницькому не дуже холодний клімат, то доцільно використовувати два послідовно встановлених електричних калорифери нижчої потужності.

У таблиці 2.2 представлено технічні характеристики електричних калориферів декількох фірм виробників.

Таблиці 2.2 - Технічні характеристики електричних нагрівачів

Фірма виробник	VKT	LESSAR	АРКТОС
Напруга живлення, В	380	380	380
Загальна потужність, кВт	6	6	9
Габаритні розміри фланців, мм	200х400	200х400	200х400

Оскільки конструкції і характеристики електричних нагрівачів різних фірм виробників дуже схожі, тому необхідно робити вибір за ціновим фактором. Отже, найбільше підходить електричний калорифер фірми виробника «VKT» з найменуванням VKN-E 200х400/6 [17].

Для електричного калорифера необхідно підібрати електромагнітні контактори та автоматичні вимикачі. Підбір такого обладнання виконується за споживанням сили струму.

Для електричних нагрівачів силу струму визначають за формулою (2.5):

$$I = \frac{6000}{660} = 9,09 \text{ А.}$$

Таким чином, згідно каталогу [18] підбираємо автоматичний вимикач MVA20-3-016-C та контактор КМІ-11211 12А 230В [19], технічні параметри

обраного обладнання наведено в таблицях 2.3 і 2.4.

Таблиця 2.3. - Технічні характеристики автоматичного вимикача MVA20-3-016-C [18]

Характеристика	Значення
Номінальна сила струму, А	16
Гранична комутаційна здатність, кА	4,5
Кількість пар полюсів	3
Тип електромагнітного захисту	С

Таблиця 2.4 - Технічні характеристики електромагнітного контактора КМІ-11211 12А 230В [19]

Характеристика	Значення
Номінальна робоча напруга, В	400
Номінальна сила струму, А	12
Номінальна напруга котушок керування, В	230
Ресурс спрацьовування	2000000

Для охолодження повітря широко застосовуються спеціальні фреонові охолоджувачі, підбір обладнання виконується за загальною продуктивністю системи ПВВ. У таблиці 2.5 представлено охолоджувачі різних фірм виробників.

Таблиця 2.5 - Технічні характеристики охолоджувачів

Фірма виробник	VKT	Polar Bear	АЕРОБЛОК
Загальна потужність, кВт	4,5	5	4,5
Величина розходу, м ³ /год	1000	1200	775
Розміри фланців, мм	200x400	200x400	200x400

Таким чином, найбільше підходить фреоновий охолоджувач виробника «VKT» з найменуванням VKKC-F 200x400 [20].

В якості зволожувачу необхідно використовувати каналний зволожувач парового типу, такий тип зволожувачів найчастіше застосовуються в житлових і промислових будівлях. Асортимент зволожувачів із перетином каналу 200x400 мм не такий широкий, тому в проєкті системи ПВВ буде використано каналний зволожувач типу Carel 400-200-300 [21]. У таблиці 2.6 представлено його базові технічні характеристики.

Таблиця 2.6 - Технічні характеристики зволожувача типу HCUC 400-200-300 [21]

Характеристики	Значення
Розхід повітря, м ³ /год	900
Швидкість руху повітря в повітропроводі, м/с	3,5
Рівень температури повітря на вході, °C	35,7
Рівень температури повітря на виході, °C	15
Вологість повітря на вході, %	0,8
Вологість повітря на виході, %	82,5
Споживана потужність, Вт	180
Напруга живлення, В	1x220

Для економії енергії на нагрівання повітря в системі ПВВ використано пластинчастий рекуператор [1-4]. За даного типу рекуперації відбувається повний поділ потоків повітря, що надає можливість використовувати пластинчасті рекуператори в системах ПВВ із високими вимогами до чистоти повітря. ККД пластинчастих рекуператорів складає приблизно 60%. Крім того такі рекуператори не вимагають енерговитрат під час експлуатації та мають високу надійність, завдяки відсутності рухомих частин. Приймаємо до встановлення рекуператор фірми VKT із найменуванням VKR 200x400 [20].

В якості фільтру використаємо фільтр грубого очищення, дані фільтри використовуються для попереднього очищення повітря в системах ПВВ житлових і промислових будівель. Отже, приймаємо до монтажу фільтр VKF-C-400x200-G3 [22], технічні характеристики представлено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 - Технічні характеристики фільтра VKF-C-400x200-G3 [22]

Характеристика	Значення
Початкова ефективність очищення по вазі, %	80
Середня ефективність очищення по вазі, %	90-95
Початковий рівень тиску, Па	6-30
Рекомендований рівень тиску, Па	150

На витяжному та припливному каналах необхідно встановити спеціальні заслінки із електроприводом. Даний електропривод найчастіше забезпечується

електродвигуном постійного струму і дає змогу відкривати/закривати заслінку або встановлювати її лопатки на певний кут. Оскільки регулювання загальної продуктивності виконується зміною частоти обертання вентиляторів, а не зміною кута відкриття заслінки, то можна обійтися заслінкою з 2-х позиційним законом керування. Для даних цілей добре підходить заслінка фірми VKZ розміром 200x400, яка оснащена електроприводом виробника Polar Bear та носить назву ASO-R08.F [23]. У табл. 2.8 наведено технічні характеристики електропривода заслінки.

Таблиця 2.8 - Технічні характеристики заслінки ASO-R08.F [23]

Характеристика	Значення
Робоча напруга, В	220
Кут повороту, °	95
Площа заслінки, м ²	2
Обертний момент, Нм	8
Діапазон часу повороту, с	55-71
Діапазон часу зворотного ходу, с	13-26
Споживана потужність, Вт	- в робочому положенні – 9,2 - в граничному положенні – 6,9
Число циклів спрацювання	60000
Діапазон температур використання, °С	Мінус 40... +60
Закон керування	Двох позиційний

2.4 Підбір частотного перетворювача для електродвигуна

Для кожного із встановлених вентиляторів необхідно вибрати ЧП. Оскільки витяжні та припливний вентилятори мають однакову потужність, то і ЧП будуть так само однієї загальної потужності.

Умови вибору ЧП наступні [1-4]:

$$\begin{cases} U_{ном.пр} = U_{ном.мер} \\ S_{ном.пр} = S_{ном.ед} \\ I_{ном.пр} \geq I_{ном.ед} \end{cases}, \quad (2.6)$$

де $S_{ном.ед}$ - номінальна повна потужність електродвигуна, що розраховується за наступною формулою:

$$S_{ном.ед} = \frac{P_{ном.ед}}{\cos \varphi_{ном} \cdot \eta_{ном.ед}}; \quad (2.7)$$

$$S_{ном.ед} = \frac{317}{0,68 \cdot 0,7} = 665,9 \text{ ВА.}$$

Встановлений ЧП повинен задовольняти наступним вимогам:

- наявність встановленого інтерфейсу RS-485 [15];
- підтримка протоколу ModBus;
- закон керування - $\frac{U}{f^2} = const$.

У таблиці 2.9 представлено основні технічні характеристики ЧП деяких фірм виробників, що відповідають вказаним умовам.

Провівши аналіз розглянутих ЧП, ми дійшли до висновку, що вони відповідають встановленим вимогам, володіють схожими технічними характеристиками, тому вибираємо перетворювач частоти фірми Delta - VFD-004EL [24]. Зовнішній вигляд представлено на рис. 2.5.

Таблиця 2.9 - Технічні характеристики ЧП

Характеристика	Значення		
	Schneider Electric ATV312	Delta VFD-EL [24]	Danfoss FC-51
Загальна потужність електродвигуна, кВт	0,37	0,4	0,37
Повна потужність, кВА	1,5	1,2	1,4
Число фаз мережі	3	3	3
Діапазон напруги живлення, В	380...500 (мінус 15...+10%)	380...480 (мінус 15...+10%)	380...480 (мінус 15...+10%)
Номінальна сила струму, А	1,7	1,5	1,2
Частота мережі	50...60(-5...5%)	50...60(-5...5%)	50...60 (мінус

розчеплювачем із кратністю спрацьовування від 3 до 5 та номінальною силою струму на рівні 15А.

Таким чином, приймаємо до монтажу автоматичний вимикач типу MVA20-3-016-C, його параметри наведено вище.

2.5 Вибір ПЛК для технологічного процесу

Для вибору оптимального PLC для системи ПВВ найдоцільніше виходити зі співвідношення ціна/якість. Таким чином, потрібно враховувати наступні чинники [4-8]:

- функціональне призначення;
- характер використання;
- кількість вбудованих входів/виходів;
- вбудовані канали зв'язку;
- інтерфейс, що використовуються;
- мова програмування, що використовуються;
- режим і умови експлуатації;
- умови реєстрації та зберігання даних;
- вимоги до панелі людини-оператора.

Обраний та встановлений PLC повинен задовольняти наступним мінімальним вимогам:

- сфера використання - вентиляція та кондиціонування;
- кількість вбудованих дискретних входів - 9;
- кількість вбудованих аналогових входів - 4;
- кількість вбудованих дискретних виходів - 10;
- кількість вбудованих аналогових виходів - 2;
- підтримка використання інтерфейсу RS-485, протокол ModBus [15].

Існує безліч PLC для систем ПВВ різних виробників, порівняння основних технічних характеристик деяких із них наведено в таблиці 2.10.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		48

Таблиця 2.10 - Технічні характеристики PLC

Назва	Овен TPM133M	Siemens Climatix	Segnetics Pixel [26]
Споживана потужність, Вт	12	15	3,5
Діапазон напруги живлення, В	90...245 – змінний струм	24 – постійний або змінний струм	18-36 – постійний струм; 18-29 – змінний струм
Вбудовані аналогові входи	8	3	6
Вбудовані цифрові входи	8	6	6
Вбудовані аналогові виходи	3 (з встановленим дод. модулем)	2	2
Вбудовані цифрові виходи	8 (з встановленим дод. модулем)	4	2
Інтерфейси зв'язку	RS-485, RS-232	RS-485, RS-232, Process bus	RS-485, Ethernet
Використовувані протоколи зв'язку	ОВЕН, Modbus-RTU та Modbus-ASCII	ModBus RTU, KNX	Modbus, LonWorks, Ethernet
Дисплей	+	-	+
Середовище програмування	CoDeSys	Step 7	SMlogix
Ступінь захисту	IP20	IP20	IP20

Виконавши аналіз PLC, можна дійти висновку, що найкраще співвідношення ціна/якість має PLC Pixel [26]. Однак під час використання даного PLC необхідно використовувати додаткові блоки із цифровими входами та виходами [15].

Технічні характеристики PLC Pixel [26] представлено в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 - Технічні характеристики PLC Pixel [26]

Назва параметру	Значення параметру
Споживана потужність	3,5 Вт
Діапазон номінальної напруги живлення	Постійна від 18 до 37 В, змінна 18...28 В
Гранично допустима, не більше	Постійна 70В, змінна 48 В
Вбудовані цифрові виходи	2 релейні та 1 симісторний
Тип цифрових виходів	Електромагнітне реле

Гальванічна ізоляція	+
Максимальний рівень змінної напруги, що комутується	277 В з частотою 50Гц
Діапазон постійної напруги, що комутується	Від 0 до 30 В
Максимальна сила струму комутації	10 А
Механічний ресурс, не менше	100000 спрацювань
Тип цифрових виходів	Симістор
Гальванічна ізоляція	+
Максимальний рівень змінної напруги, що комутується	277В з частотою 50Гц
Максимальна сила струму комутації	0,5 А
Тип цифрових виходів	Транзистор
Гальванічна ізоляція	-
Діапазон постійної напруги, що комутується	Від 0 до 36 В
Максимальна сила струму комутації	0,5 А
Кількість цифрових входів	6
Гальванічна ізоляція	+
Рівнів напруги спрацювання входів	«Замкнуто» - від 10 до 36 В; «Розімкнуто» - від 0 до 3В
Кількість аналогових виходів	2
Гальванічна ізоляція	-
Діапазон вихідної напруги	Від 0,03 до 10 В
Розрішення	10 мВ (1024 відрахунок на весь діапазон)
Номінальна вихідна сила струму	12 мА
Кількість аналогових входів	5+1
Гальванічна ізоляція	-
Тип аналогових входів	5 для термометрів опору, 1 для вимірювання сили струму або напруги
Термометри опору	Pt1000 або термістори до 20 кОм
Вимірювана напруга/сила струму	Від 0,03 до 10 В/ від 0,06 до 20 мА
Роздільна здатність	10 мВ/20 мкА (1024 відрахунки)
Наявність послідовного порту	Вбудований RS485
Температура навколишнього середовища	Від мінус 15 до +55°C

Так само до PLC необхідно під'єднати наступні модулі розширення:

- Pixel-MR800-00 - 8 цифрових виходів на основі реле;
- Pixel-MR120-00 - 12 цифрових гальванічно розв'язаних входів постійної

напруги.

2.6 Підбір давачів для системи ПВВ

Як давачів рівня температури в системі ПВВ вирішено використовувати термометри опору Pt1000. Дані давачі рівня температури мають нелінійну характеристику і хороші показники надійності та термостабільності [27].

										Арк.
										50
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>					

Технічні характеристики давача наведено в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 - Технічні характеристики термоопору Pt1000 [27]

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювань, °С	Від мінус 50 до +180
Клас допуску	В
Теплова інерційність, не більше, с	6
Ступінь захисту	IP 65
Опір ізоляції, не менше МОм	100
Робоча сила струму, мА	1



Рисунок 2.6 - Загальний вигляд давача рівня температури Pt1000 [27]

Для вимірювання вологості вирішено використовувати давачі рівня вологості маятникового типу з найменуванням FPL2/5 [28]. Давач рівня вологості оснащено вологочутливим елементом, у випадку потрапляння вологи, давач зберігає працездатність без втрати точності. Технічні характеристики наведено в таблиці 2.13, а зовнішній вигляд представлено на рис. 2.7.

Таблиця 2.13 -Технічні характеристики давача рівня вологості FPL2/5 [28]

Характеристика	Значення
Діапазон вимірювань, %	Від 0 до 100 відносної вологості
Вимірювальний елемент	Ємнісного типу FE 09/4
Точність вимірювань при 23°С	±3% відносної вологості (в діапазоні від 40 до 60 % відносної вологості) ±5% відносної вологості (в решті діапазону вимірювань)
Робочий діапазон, %	Від 15 до 90 відносної вологості
Мінімальна швидкість потоку повітря, м/с	1
Робоче середовище	Повітря, нормальний атмосферний тиск, без корозії, без конденсату
Діапазон вихідного сигналу, В	Від 0 до 10



Рисунок 2.7 – Загальний вигляд давача рівня вологості FPL2/5 [28]

Для контролю ступеня забрудненості встановленого фільтра, необхідно застосувати давач перепаду рівня тиску. Такий давач обирається виходячи із діапазону рівнів тиску у системі ПВВ. У нашому випадку використаємо давач рівня тиску PS500 [29], який використовується як для повітря так і для неагресивних газів. У разі перевищення встановленої величини перепаду рівня тиску, контакт давача перемикається і тим самим подає сигнал у систему керування ПВВ. Характеристики представлено в табл. 2.14.

Таблиця 2.14 - Технічні характеристики давача рівнів тиску PS500 [29]

Характеристика	Значення
Діапазон вимірюваного тиску, Па	30...500
Точність давача в верхньому діапазоні, Па	500 ± 5
Точність давача в нижньому діапазоні, Па	30 ± 5
Максимальна сила струму навантаження 220В, А	3



Рисунок 2.8 – Загальний вигляд давача рівнів тиску PS500 [29]

2.7 Розроблення принципової схеми шафи керування системою ПВВ

На підставі функціональної схеми нами було розроблено принципову

схему системи ПВВ, наведену на рис. 2.9 та БРМА 24.00.00.000ЕЗ.

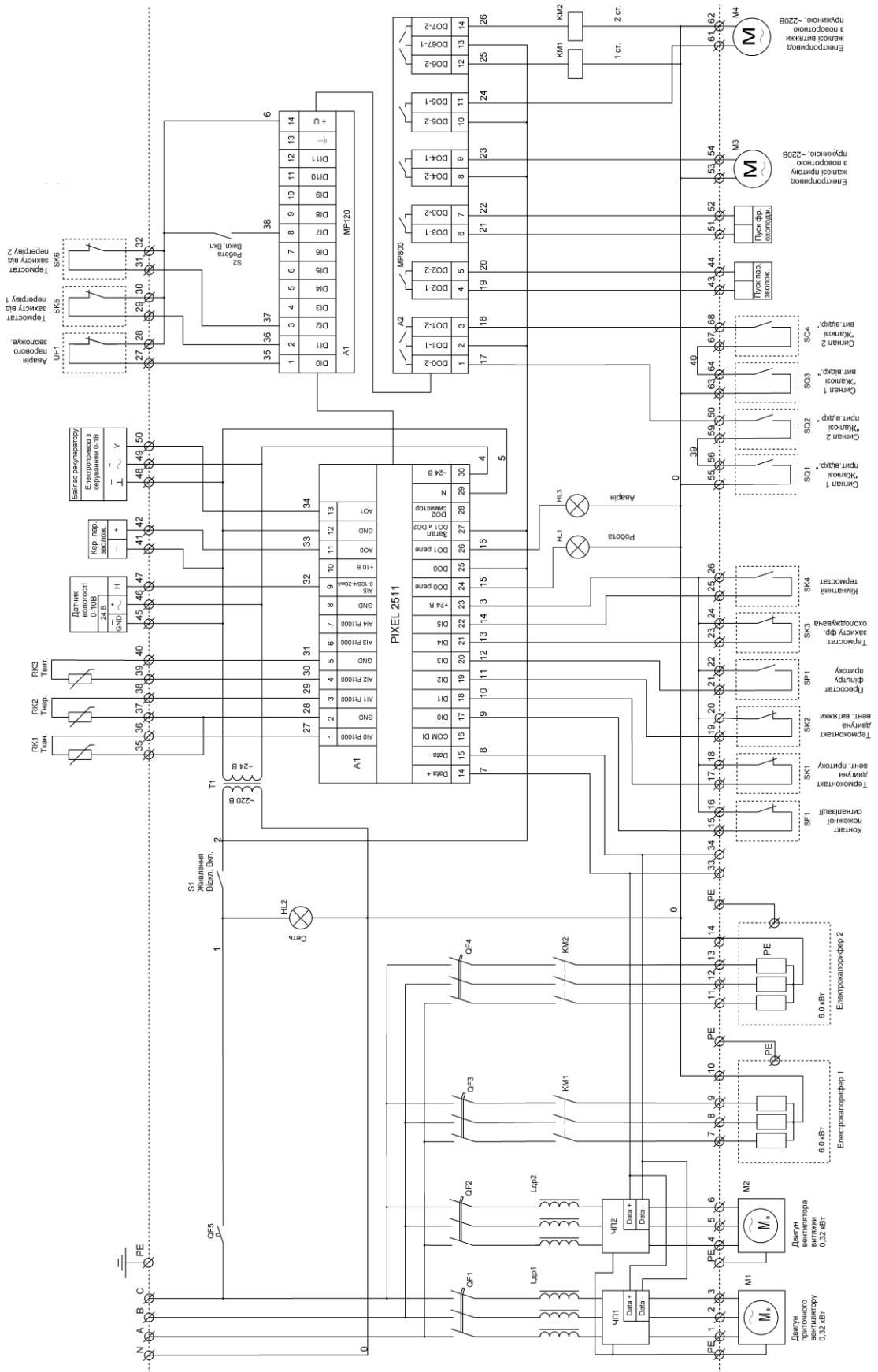


Рисунок 2.9 – Принципова електрична схема ПВВ

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.
53

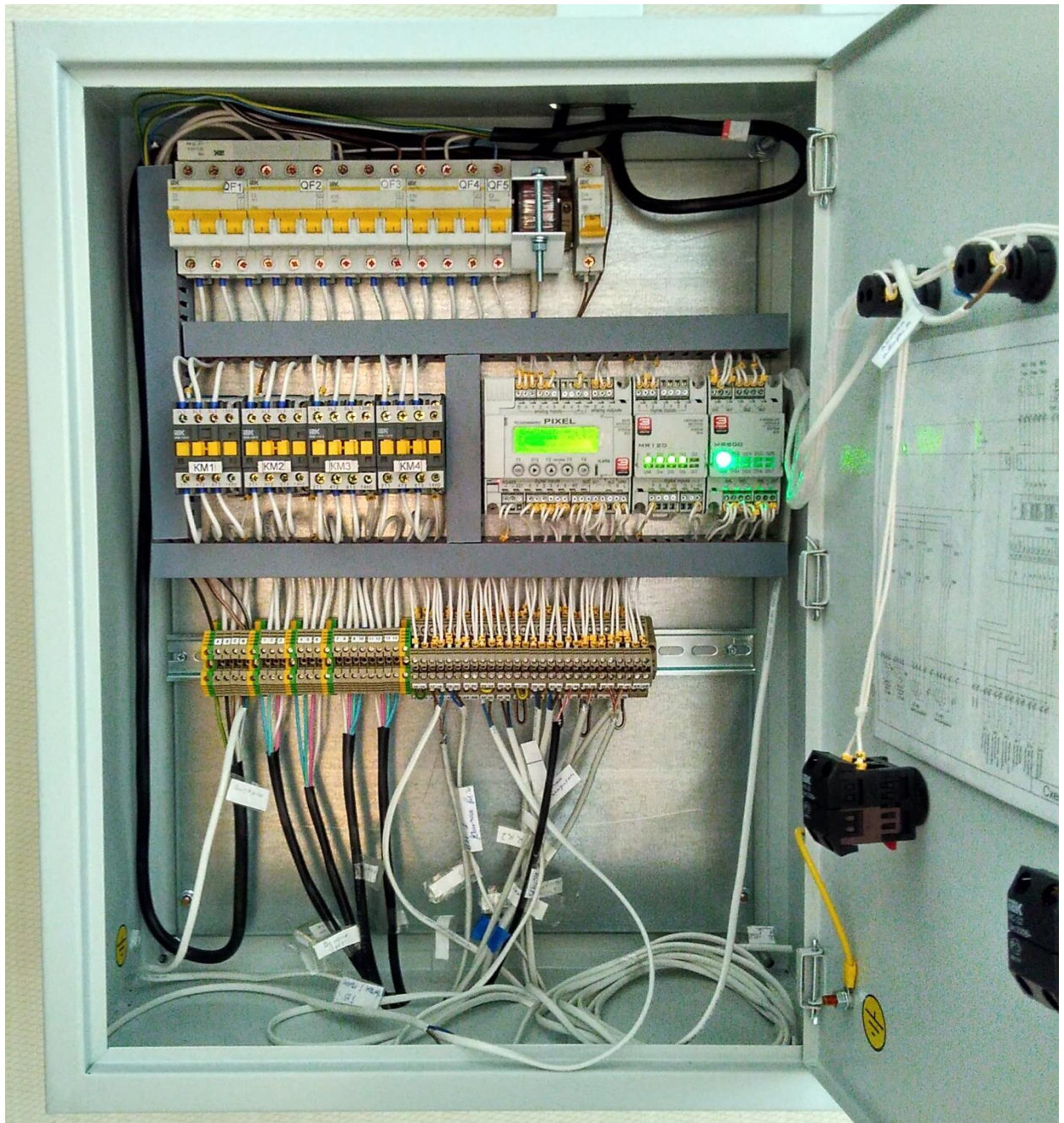


Рисунок 2.10 – Загальний вигляд розробленої шафи керування ПВВ

Розроблена принципова електрична схема ПВВ має ряд особливостей [1-4]:

- силові та сигнальні лінії розташовуються окремо;
- заземлення всіх електричних апаратів та шафи керування;
- ЧП та електричні нагрівачі підключені через автоматичні вимикачі до мережі трифазного живлення;

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.
54

- комутацію електричних нагрівачів виконують за допомогою використання магнітних контакторів, якими керують за допомогою контактів реле, що, своєю чергою, отримують сигнали керування з блоків розширення PLC;

- живлення PLC і деяких давачів забезпечує однофазний понижувальний трансформатор;

- комутація обладнання забезпечується цифровими та аналоговими входами/виходами PLC;

- лампи HL1, HL2, HL3 будуть сигналізувати про подачу живлення в шафу керування, робочий режим і в разі виникнення аварії.

Під час монтажу обладнання шафи керування ПВВ слід звернути увагу на те, що всі провідники та обладнання шафи повинні бути пронумеровані, силові та сигнальні лінії не повинні бути в одних джгутах, оскільки це призведе до перешкод у сигнальних колах, шафу керування ПВВ необхідно заземлити, на дверцята виведені потрібні перемикачі та лампочки сигналізації, а також вкладено принципову електричну схему шафи керування ПВВ.

Висновки до другого розділу

Виконано проєктування системи автоматичного керування припливно-витяжної вентиляції. Розроблено функціональну схему системи керування ПВВ, проведено розрахунок необхідної продуктивності системи вентиляції. Виконано підбір пристроїв, ПЛК та частотного перетворювача, давачів для системи керування вентиляцією приміщення.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		55

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність

3.1 Порівняльний аналіз законів керування електроприводів

Для ЧРЕ координат можуть використовуватися наступні способи частотного керування [9-12, 14]:

- прямий;
- скалярний;
- векторний.

Для обґрунтування вибору способу керування ЧРЕ складемо порівняльну таблицю (табл. 3.1) основних показників регулювання.

Таблиця 3.1 - Порівняльна таблиця основних показників регулювання ЧРЕ

Параметри	Методи частотного керування					
	Скалярний			Векторний		DTC
	$\frac{U_1}{f_1} = \text{const}$	$\frac{U_1}{f_1^2} = \text{const}$	$\frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = \text{const}$	Прямий	Опосередкований	
Діапазон регулювання	100:1*	20:1	10:1	10000:1	10:1	100:1
Плавність регулювання	$\varphi = 1$					
Напрямок регулювання, зона	I, II			I, II	I	
Стабільність швидкості при регулюванні	Не висока			висока	Не висока	висока
Динамічна точність, %	3	3,5		0,3	0,5	0,3
Статична точність, %	$\pm(1-3)$	$\pm(1-5)$		$\pm 0,01$	$\pm 0,1$	$\pm 0,01$
Характер навантаження	$M_{c, \text{ср}} = \text{const}$ (без накиду навантаж.)	$M_c = k\omega^2$ (без накиду навантаж.)	$M_c = k\omega^{-1}$ (без накиду навантаж.)	$M_c = f(\omega_c)$ – довільна функція з різким накидом моменту	$M_c = f(\omega_c)$ – плавна зміна моменту	M_c – робота на упор
ККД	0,85 – 0,9	0,8 – 0,85		0,9 – 0,95	0,9	

Коефіцієнт потужності	$\approx 0,9$	0,85	0,82	0,9 – 0,98	0,9	0,9 – 0,95
-----------------------	---------------	------	------	------------	-----	------------

$$*D_3 = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} \left| \begin{array}{l} - \text{діапазон регулювання, записаний для замкнених} \\ M_c = M_{\text{сер}} \end{array} \right.$$

САР за середнього моменту статичних опорів.

$$**\varphi = \frac{\omega_{i+1}}{\omega_i} \left| \begin{array}{l} - \text{коефіцієнт плавності.} \\ M_c = M_{\text{сер}} \end{array} \right.$$

Згідно з ТП і вказаними вихідними даними для проектування можна зробити наступні висновки:

- характер навантаження в заданому діапазоні регулювання приймаємо спокійний;
- необхідний діапазон регулювання за швидкістю $D=5:1$ за середньої величини моментів статичних опорів.

Тому ми робимо висновок, що для розроблюваної системи ПВВ підходить саме скалярний закон керування встановленим електроприводом.

3.2 Обґрунтування обраного закону керування електроприводом

Виконаємо перевірку обраного закону керування електроприводом. Для розрахунків використовуватимемо Г-подібну схему заміщення АД, оскільки вона є більш простою і зручною для виконання розрахунків [30-32]. Розрахуємо параметри Г-подібної схеми заміщення (рис. 3.1) для побудови статичних характеристик обраного електропривода.

Знайдемо номінальну фазну силу струму статора:

$$I_{1\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_{\text{ном}} \cdot \eta_{\text{ном}}}; \quad (3.1)$$

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		57

$$I_{1ном} = \frac{317}{3 \cdot 220 \cdot 0,68 \cdot 0,7} = 1,01 \text{ A.}$$

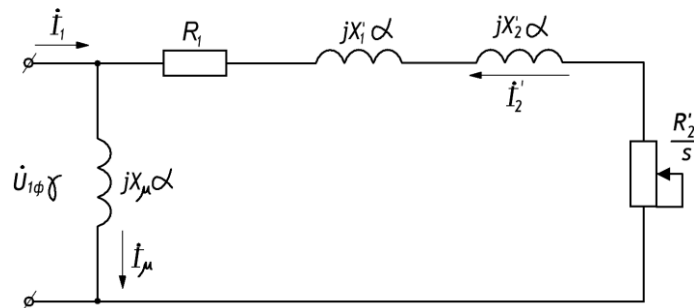


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд Г-подібної схеми заміщення електропривода [30-32]

Розрахуємо синхронну та номінальну кутову швидкість:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30}; \quad (3.2)$$

$$\omega_{ном} = \omega_0 \cdot (1 - S_{ном}); \quad (3.3)$$

$$\omega_0 = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,1 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$\omega_{ном} = 314,2 \cdot (1 - 0,079) = 144,65 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Розрахуємо величину номінального моменту згідно наступної формули:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}}; \quad (3.4)$$

$$M_{ном} = \frac{317}{144,65} = 2,2H \cdot м.$$

Розрахуємо номінальні втрати потужності електроприводу за наступною формулою [30-32]:

$$\Delta P_{ном} = \frac{P_{ном} \cdot (1 - \eta_{ном})}{\eta_{ном}}; \quad (3.5)$$

$$\Delta P_{ном} = \frac{317 \cdot (1 - 0,7)}{0,7} = 135,9Вт.$$

Визначимо номінальні механічні втрати [30-32]:

$$\Delta P_{ном.мех} = 0,05 \cdot \Delta P_{ном}; \quad (3.6)$$

$$\Delta P_{ном.мех} = 0,05 \cdot 135,9 = 6,8Вт.$$

Знайдемо додаткові втрати, пов'язані з обертанням електродвигуна:

$$\Delta P_{дод2} = 0,03 \cdot \Delta P_{ном}; \quad (3.7)$$

$$\Delta P_{дод2} = 0,03 \cdot 135,9 = 4,1Вт.$$

Розрахуємо момент холостого ходу електроприводу [30-32]:

$$M_0 = \frac{\Delta P_{ном.мех} + \Delta P_{дод2}}{\omega_0}; \quad (3.8)$$

$$M_0 = \frac{6,8 + 4,1}{157} = 0,07 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Визначимо електромагнітний момент електродвигуна:

$$M_{ем} = M_{ном} + M_0; \quad (3.9)$$

$$M_{ем} = 2,2 + 0,07 = 2,27 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Знайдемо номінальні змінні втрати в роторі електродвигуна:

$$\Delta P_{пер2ном} = M_{ем} \cdot \omega_0 \cdot s_{ном}; \quad (3.10)$$

$$\Delta P_{пер2ном} = 2,27 \cdot 157 \cdot 0,079 = 28,1 \text{ Вт}.$$

Згідно отриманих даних коефіцієнт завантаження електродвигуна приймаємо рівним:

$$k_{зн} = 0,5.$$

Розрахуємо номінальні змінні втрати у електродвигуні згідно наступної формули:

$$\Delta P_{пер} = \frac{\Delta P_{ном}}{1 + k_{зн}^2}; \quad (3.11)$$

$$\Delta P_{пер} = \frac{135,9}{1 + 0,5^2} = 75,5 \text{ Вт}.$$

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		60

Знайдемо номінальні постійні втрати у електродвигуні:

$$\Delta P_{\text{пост}} = \Delta P_{\text{ном}} - \Delta P_{\text{пер}}; \quad (3.12)$$

$$\Delta P_{\text{пост}} = 135,9 - 75,5 = 60,4 \text{ Вт.}$$

Розрахуємо номінальні змінні втрати у статорі електродвигуна:

$$\Delta P_{\text{пер1ном}} = \Delta P_{\text{пер}} - \Delta P_{\text{пер2ном}}; \quad (3.13)$$

$$\Delta P_{\text{пер1ном}} = 75,5 - 28,1 = 47,4 \text{ Вт.}$$

Визначимо активний опір фази статора електродвигуна [30-32]:

$$R_1 = \frac{\Delta P_{\text{пер1ном}}}{3 \cdot I_{1\text{ном}}^2}; \quad (3.14)$$

$$R_1 = \frac{47,4}{3 \cdot 1,01^2} = 15,5 \text{ Ом.}$$

Визначимо максимальний електромагнітний момент електродвигуна:

$$M_{\text{елmax}} = \lambda_m \cdot M_{\text{ном}} + M_0; \quad (3.15)$$

$$M_{\text{елmax}} = 2,1 \cdot 2,19 + 0,069 = 4,7 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Знайдемо коефіцієнт, що має розмірність опору:

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$b = \frac{3 \cdot U_{1\phi_{ном}}^2}{\Delta P_{пер2ном}} \cdot s_{ном} - 2 \cdot R_1; \quad (3.16)$$

$$b = \frac{3 \cdot 220^2}{28,1} \cdot 0,079 - 2 \cdot 15,51 = 377,87.$$

Тоді, повний розрахунковий опір визначимо із формули:

$$Z = \frac{3 \cdot U_{1\phi_{ном}}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot M_{ем max}} - R_1; \quad (3.17)$$

$$Z = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 157,1 \cdot 4,67} - 15,51 = 83,4 Ом.$$

Знайдемо наведений активний опір ротора електродвигуна:

$$R_2' = 0,5 \cdot s_{ном} \cdot \left(b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot Z^2} \right); \quad (3.18)$$

$$R_2' = 0,5 \cdot 0,079 \cdot \left(377,87 + \sqrt{377,87^2 - 4 \cdot 83,4^2} \right) = 28,37 Ом.$$

Розрахуємо величину індуктивного опору виникаючого КЗ:

$$x_k = \sqrt{Z^2 - R_1^2}; \quad (3.19)$$

$$x_k = \sqrt{83,4^2 - 15,51^2} = 81,98 Ом.$$

Визначимо коефіцієнт у формулі Клосса [30-32]:

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		62

$$a = \frac{R_1'}{R_2'}; \quad (3.20)$$

$$a = \frac{15,51}{28,37} = 0,55.$$

Розрахуємо величини індуктивних опорів статора і ротора електродвигуна:

$$x_1 = x_2' = \frac{x_k'}{2}; \quad (3.21)$$

$$x_1 = x_2' = \frac{81,98}{2} = 40,99 \text{ Ом.}$$

Розрахуємо силу струму холостого ходу електродвигуна:

$$I_0 = I_{1ном} \cdot \sqrt{1 - \cos \varphi_{ном}}; \quad (3.22)$$

$$I_0 = 1,01 \cdot \sqrt{1 - 0,68} = 0,57 \text{ А.}$$

Знайдемо величину втрат в сталі:

$$\Delta P_{ст} = \Delta P_{пост} - (\Delta P_{номмех} + \Delta P_{дод2}); \quad (3.23)$$

$$\Delta P_{ст} = 60,38 - (6,79 + 4,1) = 49,5 \text{ Вт.}$$

Тоді величина активного опору гілки намагнічування буде рівною:

$$R_{\mu} = R_m = \frac{\Delta P_{cm}}{3 \cdot I_0^2}; \quad (3.24)$$

$$R_{\mu} = R_m = \frac{49,51}{3 \cdot 0,57^2} = 50,66 \text{ Ом};$$

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - \left[\left(\frac{R_1 + R_{\mu}}{U_{1\text{фном}}} \right) \cdot I_0 \right]^2}; \quad (3.25)$$

$$\sin \varphi_0 = \sqrt{1 - \left[\left(\frac{15,51 + 50,66}{220} \right) \cdot 0,57 \right]^2} = 0,99.$$

Визначимо величину індуктивного опору гілки намагнічування:

$$x_{\mu} = x_m = \frac{U_{1\text{фном}} \cdot \sin \varphi_0}{I_0} - x_1; \quad (3.26)$$

$$x_{\mu} = x_m = \frac{220 \cdot 0,99}{0,57} - 40,99 = 338,70 \text{ Ом}.$$

Відповідно до визначених параметрів побудуємо природну характеристику, використовуючи наступні формули [30-32]:

$$S_{кр} = \frac{R_2'}{\sqrt{R_1' + (x_1 + x_2')^2}}; \quad (3.27)$$

$$S_{кр} = \frac{28,37}{\sqrt{15,51 + (40,99 + 40,99)^2}} = 0,34;$$

$$\omega = \omega_0 \cdot (1 - s);$$

$$M = \frac{3 \cdot U_{1\text{фном}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (x_1 + x_2')^2 \right]}. \quad (3.28)$$

Змінюючи значення величини ковзання від нульового до критичного, визначимо точки швидкості та моменту для побудови природної механічної характеристики електродвигуна. Результати розрахунків представимо в табличному вигляді.

Таблиця 3.2 – Результати розрахунків

S	M, Н*м	w, рад/с
0,01	0,32	155,5
0,02	0,64	153,9
0,05	1,51	149,2
0,07	2,04	146,1
0,09	2,51	142,9
0,1	2,73	141,4
0,2	4,17	125,6
0,3	4,64	109,9
0,346	4,67	102,8

При зміні величини частоти повинна виконуватися наступна умова [30-32]:

$$\frac{U_1}{f_1^2} = const.$$

Розрахуємо коефіцієнт пропорційності за номінальних значень згідно наступної формули:

$$k_p = \frac{U_1}{f_1^2} = \frac{220}{50^2} = 0,089.$$

Виконуючи зміну частоти f_1 , виконаємо побудову штучних характеристик з урахуванням того, що величина кутової швидкості обертання поля ω_0 , величина напруги U_1 та індуктивні опори X_1, X_2' змінюються відповідно до відомих формул [30-32]:

$$U_1 = k_p \cdot f_1^2; \quad (3.29)$$

$$X_1 = X_{1ном} \cdot \frac{f_1}{f_{1ном}}; \quad (3.30)$$

$$X_2' = X_{2ном}' \cdot \frac{f_1}{f_{1ном}}; \quad (3.31)$$

$$\omega_0 = 2 \cdot \pi \cdot f_1. \quad (3.32)$$

Результати розрахунків для величин частот в діапазоні 30, 40 та 60Гц представлено в табличному вигляді в додатках.

Знайдемо вентиляторну характеристику:

$$M_c = k \cdot \omega^2, \quad (3.33)$$

де k - величина коефіцієнту пропорційності.

$$k = \frac{M_c}{\omega^2};$$

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$k = \frac{2,19}{144,65^2} = 0,000104.$$

Виконаємо побудову механічних характеристик електропривода вентилятора за різних величин частоти напруги живлення (рис. 3.2).

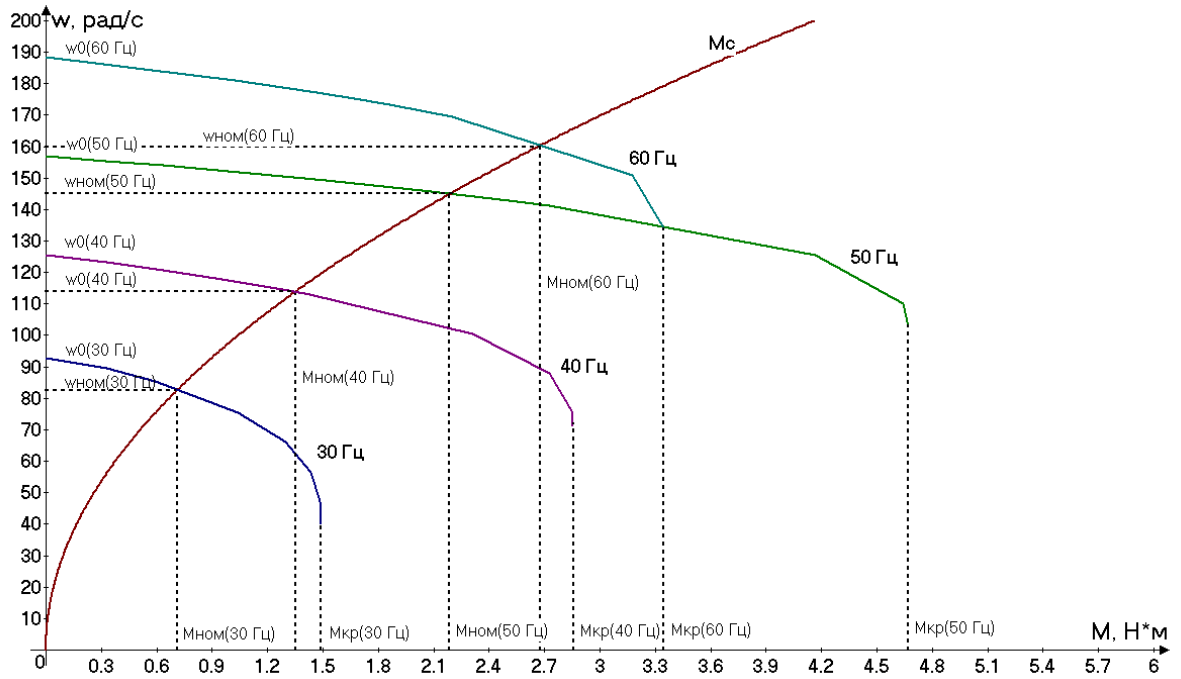


Рисунок 3.2 – Графічні залежності механічних характеристик електродвигуна за різних величин частоти напруги живлення [30-32]

Виконаємо перевірку за перевантажувальною здатністю:

$$\lambda = \frac{M_{кр}}{M_c}; \quad (3.34)$$

$$\lambda_4 = \frac{M_{кр(30)}}{M_{c(30)}} = \frac{1,49}{0,7} = 2,13; \lambda_3 = \frac{M_{кр(40)}}{M_{c(40)}} = \frac{2,85}{1,35} = 2,11;$$

$$\lambda_2 = \frac{M_{кр(60)}}{M_{c(60)}} = \frac{3,35}{2,67} = 1,25; \lambda_1 = \frac{M_{кр(50)}}{M_{c(50)}} = \frac{4,67}{2,18} = 2,14;$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата
-----	------	---------	--------	------

$$\left| \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{2,14 - 1,25}{2,14} \right| \cdot 100\% = 41,5\%;$$

$$\left| \frac{\lambda_1 - \lambda_3}{\lambda_1} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{2,14 - 2,11}{2,14} \right| \cdot 100\% = 1,4\%;$$

$$\left| \frac{\lambda_1 - \lambda_4}{\lambda_1} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{2,14 - 2,13}{2,14} \right| \cdot 100\% = 0,4\%.$$

Виконаємо статичну перевірку [30-32]:

$$\delta_e = \frac{\Delta \omega_e}{\omega_0} \cdot 100\% = \frac{157,1 - 144,6}{157,1} \cdot 100\% = 7,9\%;$$

$$\delta = \frac{\omega_0 - \omega_{ycm}}{\omega_0} \cdot 100\%; \quad (3.35)$$

$$\delta_2 = \frac{\omega_{0(60)} - \omega_{ycm(60)}}{\omega_{0(60)}} \cdot 100\% = \frac{188,5 - 160,3}{188,5} \cdot 100\% = 14,9\%;$$

$$\delta_3 = \frac{\omega_{0(40)} - \omega_{ycm(40)}}{\omega_{0(40)}} \cdot 100\% = \frac{125,6 - 114,3}{125,6} \cdot 100\% = 8,9\%;$$

$$\delta_4 = \frac{\omega_{0(30)} - \omega_{ycm(30)}}{\omega_{0(30)}} \cdot 100\% = \frac{94,2 - 82,7}{94,2} \cdot 100\% = 12,2\%.$$

$$\left| \frac{\delta_e - \delta_2}{\delta_e} \right| \cdot 100\% = \left| \frac{7,9 - 14,9}{7,9} \right| \cdot 100\% = 88,6\%;$$

потокосцеплення статора електродвигуна представлено на рис. 3.3.

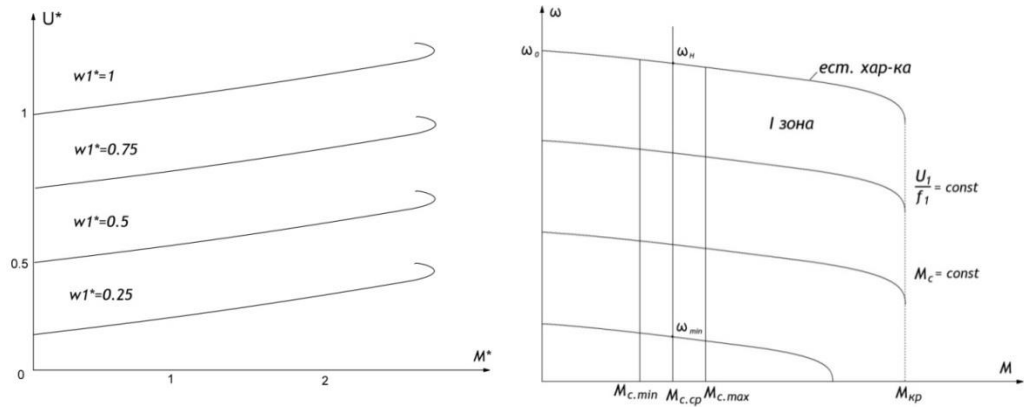


Рисунок 3.3 – Графічні залежності механічних характеристик під час стабілізації потокосцеплення статора електродвигуна [30-32]

Для отримання абсолютно-жорстких механічних характеристик і астатичної системи керування за швидкістю буде використано ПІ-регулятор швидкості. Із цією метою контур швидкості налаштовується на симетричний оптимум. Для керування силою струму статора буде використовуватись ПІ-регулятор сили струму, який буде налаштовано на модульний оптимум [30-32].

Використавши спеціальну Т-подібну схему заміщення (рис. 3.4) виконаємо необхідний розрахунок для обраного закону регулювання $\Psi_1 = const$.

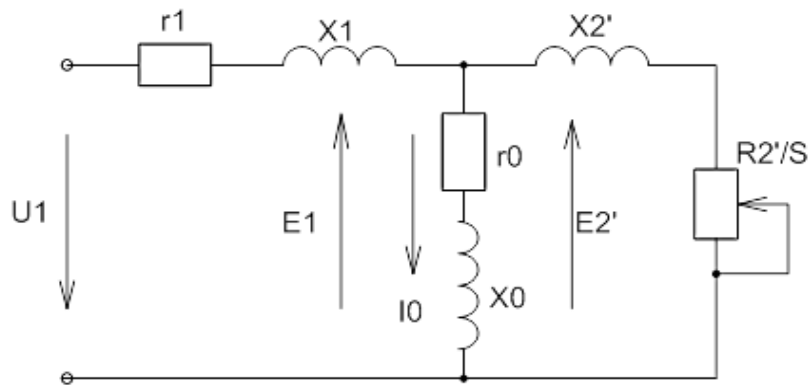


Рисунок 3.4 – Загальний вигляд Т-подібної схеми заміщення

Для знаходження мінімального значення частоти необхідно розрахувати момент КЗ:

$$M_{КЗ} = M_{сн\text{ом}} + J \cdot \varepsilon, \quad (3.36)$$

де J - момент інерції системи; $M_{сн\text{ом}}$ - номінальний момент статичних опорів; ε - кутове прискорення.

Значення кутового прискорення ε може бути знайдено з наступної умови:

$$\omega_{уст} = \varepsilon \cdot t_{пуск};$$

$$\varepsilon = \frac{\omega_{уст}}{t_{пуск}}.$$

Величина моменту інерції системи може бути знайдена з наступної умови:

$$J = J_{\text{дв}} + J_{\text{вс}} = J_{\text{дв}} + 1,2 \cdot J_{\text{дв}} = 2,2 \cdot J_{\text{дв}},$$

де $J_{\text{дв}}$ - момент інерції електродвигуна; $J_{\text{вс}} = 1,2 \cdot J_{\text{дв}}$ - момент інерції вентилятора [30-32].

$$J = 2,2 \cdot 0,00076 = 0,0017 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$$t_{пуск} = J \cdot \frac{\omega_{ном}}{1,2 \cdot M_{ном}};$$

$$t_{пуск} = 0,017 \cdot \frac{144,6}{1,2 \cdot 2,19} = 0,09 \text{ с}.$$

Прийmemo значення часу пуску рівним $t_{пуск} = 3 \text{ с}$. Тоді

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		71

$$\varepsilon = \frac{144,6}{3} = 48,2 \frac{\text{рад}}{\text{с}^2}.$$

Мінімальне значення сталої швидкості виразимо із наступної формули:

$$M_{K3*} = \frac{\delta_{0ном}}{\beta_{ном}} \cdot \frac{\omega_1}{e^2 + c^2 \cdot R_2'^{-2} \cdot \omega_1^2} \cdot \psi_1^2;$$

$$c = X_1 + X_2' + X_1 \cdot X_2' \cdot X_\mu'^{-1};$$

$$c = 40,9 + 40,9 + \frac{40,9 + 40,9}{338,7} = 86,9;$$

$$e = 1 + X_1 \cdot X_\mu'^{-1};$$

$$e = 1 + \frac{40,9}{338,7} = 1,12;$$

$$\beta_{ном} = \frac{\omega_{0e} - \omega_{усте}}{\omega_{усте}};$$

$$\beta_{ном} = \frac{157,1 - 144,6}{144,6} = 0,086;$$

$$\delta_{0ном} = e^2 + R_2'^{-2} \cdot c \cdot \beta_{ном}^2;$$

$$\delta_{0ном} = 1,12^2 + \frac{86,9 \cdot 0,086^2}{28,37^2} = 1,26;$$

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.

72

$$\psi_1 = 1;$$

$$M_{K3*} = \frac{M_{K3}}{M_{ном}} = \frac{2,27}{2,19} = 1,04.$$

Запишемо у відносних одиницях $\omega_1 = 0,072$.

Переведемо до абсолютних одиниць [30-32]:

$$\omega_{\min} = \omega_1 \cdot \omega_{0e} = 0,072 \cdot 157,1 = 11,31 \frac{\text{рад}}{\text{с}}.$$

Розрахуємо мінімальну частоту регулювання:

$$f_{\min} = \frac{\omega_{\min}}{2 \cdot \pi} = \frac{11,31}{2 \cdot 3,14} = 1,8 \text{Гц}.$$

Знайдемо діапазон регулювання під час стабілізації потокозчеплення статора електродвигуна:

$$D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}} = \frac{144,6}{11,31} = 12,8.$$

Загальні висновки

Під час виконання кваліфікаційної роботи бакалавра з розроблення конструкції електроприводу для вентиляційної установки було вирішено наступні завдання:

- розглянуто та проаналізовано основні типові схеми систем ПВВ, функції; розглянуто та проаналізовано особливості використання систем частотного керування електроприводом вентиляторів для систем ПВВ;

- розроблено функціональну схему установки ПВВ, виконано підбір необхідного обладнання для обробки повітря (зволожувач, нагрівачі тощо), вентилятори, частотні перетворювачі та контролер керування для АД; розроблено принципову схему шафи керування системою ПВВ;

- розглянуто різні закони керування електроприводом встановлених вентиляторів, побудовано механічні характеристики електродвигунів вентиляторів, підбрано раціональний закон керування.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		75

3400/product/datchik-vlazhnosti-i-temperature-versiya-light

29. PS500 Реле перепаду тиску, пресостат 30-500 Па, НК Instruments.
[Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://iq-climat.com.ua/ua/p297841565-ps500-rele-perepada.html>

30. Белікова Л.Я. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – Одеса : Наука і техніка, 2012. – 478 с.

31. Електричні машини : підручник / Б.Т. Кононов, Г.І. Лагутін, О.Б. Котов та ін.; за заг. ред. Б.Т. Кононова. – Харків : ХУПС, 2015. – 493 с.

32. Яцун М.А. Електричні машини : навч. посіб. для студ. базового напрямку «Електромеханіка» / М.А. Яцун – 2-ге вид., стер. – Львів : Вид-во Нац. ун-ту «Львівська політехніка», 2004. – 440 с.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		79

ДОДАТКИ

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						80
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Додаток А
оформлені тези

УДК 681.5

Енерго-і ресурсозберігаючі технології та обладнання

РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРИПЛИВНО-ВИТЯЖНОЇ ВЕНТИЛЯЦІЇ

Яскорунський Р.О.,
Майдан П.С.

Хмельницький національний університет

Багато виробничих процесів на промислових підприємствах супроводжуються виділенням у повітря шкідливих для здоров'я людини великої кількості тепла, газів чи парів, пилу та вологи. Працівники, які перебувають у таких приміщеннях, також виділяють вологу, тепло та вуглекислий газ. Унаслідок цього відбувається зміна всього хімічного складу повітря і фізичного стану людини, що несприятливо позначається на самопочутті та стані здоров'я працівника, а це призводить до загального зниження працездатності.

Для підтримання в приміщеннях нормальних параметрів повітряного середовища, що відповідають санітарно-гігієнічним та технологічним вимогам, здійснюють проектування та, відповідно, монтаж систем вентиляції повітря [1-4].

Вентиляцією називають сукупність заходів і пристроїв, що забезпечують розрахунковий повітрообмін у приміщеннях промислових, а також житлових та громадських будівель.

На сучасному етапі автоматизація систем вентиляції та кондиціонування повітря є дуже важливим напрямком, оскільки автоматизоване керування надасть можливість забезпечити раціональне керування процесами обробки повітря і призведе в свою чергу до значної економії енергоресурсів.

Отже, САК ПБВ установкою, що проектується, повинна забезпечувати наступні режими роботи та володіти властивостями [5-9]:

1. Контроль та регулювання рівнів параметрів мікроклімату обслуговуваного приміщення (рівень температура повітря, величина швидкості руху повітря, величина вологості);

2. Регулювання рівня температури в процесі охолодження повітря у фреоновому охолоджувачі, нагрівання повітря в електричному калорифері, зволоження повітря в паровому зволожувачі, забезпечення захисту обладнання (розробка алгоритму керування);

3. Регулювання продуктивності САК та забезпечення необхідних захистів електродвигунів вентиляторів (або розробка регульованої системи керування електроприводом встановлених вентиляторів);

4. Забезпечення відповідних режимів роботи встановленого обладнання в екстрених ситуаціях (так званий «екстрений приплив» або «екстрена витяжка»).

5. Керування встановленими заслінками повітряозабірників (або шиберів) повинне бути пов'язане із роботою встановлених вентиляторів, щоб уникнути поломок самих вентиляторів.

6. Обробка виникаючих аварійних станів: забруднення очисних блоків - фільтрів (на підставі опрацювання показань із давачів перепаду рівнів тиску), поломки встановлених вентиляторів, аварії калориферної установки, розташування шиберів тощо.

7. Забезпечення автоматичного вмикання вентиляторів, режим ручного керування САК ПБВ (у разі виходу САК з ладу або діагностики, технічного обслуговування чи ремонту).

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк. 81
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Додаток Б

Таблиця Б.1 - Розрахункові значення для побудови штучних характеристик

30 Гц			40 Гц			60 Гц		
S	w, рад/с	M, Н*м	S	w, рад/с	M, Н*м	S	w, рад/с	M, Н*м
0,02	92,4	0,04	0,02	123,2	0,33	0,01	186,6	0,27
0,05	89,5	0,33	0,04	120,6	0,63	0,02	184,7	0,53
0,07	87,6	0,45	0,06	118,1	0,92	0,04	180,9	1,02
0,095	85,3	0,59	0,09	114,4	1,31	0,06	177,2	1,47
0,2	75,4	1,04	0,1	113,1	1,43	0,07	175,3	1,67
0,3	65,9	1,3	0,2	100,5	2,31	0,08	173,4	1,86
0,4	56,5	1,43	0,3	87,9	2,72	0,1	169,6	2,20
0,5	47,1	1,48	0,4	75,4	2,85	0,2	150,8	3,17
0,575	40,1	1,487	0,432	71,4	2,854	0,288	134,2	3,346