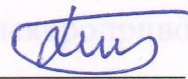


Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри


(підпис)

І. С. Білюк

« 15 » 12 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

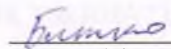
освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(назва освітньої програми)

на тему: Система керування електропривода дуттьового вентилятора котельного агрегату

Виконав: студент групи 6371м

Битко Костянтин Вікторович

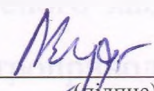
(прізвище, ім'я, по батькові)


(підпис)

Керівник доц. каф. автоматики, к.т.н.

доц. Зубарев А. А.

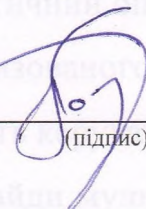
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Рецензент доц. каф. СЕЕС, к.т.н.,

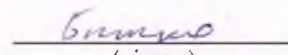
доц. Новогрецький С. М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)


(підпис)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

м. Миколаїв – 2025 року

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота: 82 с., 4 р., 21 рис., 7 табл., 1 дод., 14 джерел.

Ключові слова: дуттьовий вентилятор, електропривод, котельний агрегат, моделювання, перехідна характеристика, система керування.

Об'єкт дослідження – перехідні процеси в електроприводі дуттьового вентилятора.

Мета роботи – синтез системи керування електропривода дуттьового вентилятора пилувугільного котельного агрегату.

Методи дослідження – моделювання перехідних процесів в електроприводі дуттьового вентилятора з використанням сучасної теорії автоматичного керування та електропривода, імітаційне моделювання в MATLAB, обробка та аналіз отриманих результатів.

У першому розділі розглянуто склад та принцип роботи пилувугільного котельного агрегату. Проведено аналіз призначення та технічні характеристики дуттьового вентилятора, складу та характеристик електрообладнання пилувугільного котельного агрегату. Розділ 2 містить вибір та обґрунтування методу наукового дослідження, алгоритм дослідження та метод розв'язання поставленого завдання. У розділі 3 наведено функціональну схему автоматизованого електропривода дуттьового вентилятора та обґрунтування вибору її елементів, математичний опис автоматизованого електропривода. Проведено моделювання автоматизованого електропривода дуттьового вентилятора в MATLAB та досліджено якість керування. В розділі 4 розглянуті питання з охорони праці. Додаток містить слайди мультимедійної презентації.

ABSTRACT

Qualification work: 82 p., 4 p., 21 fig., 7 tab., 1 appendix, 14 sources.

Keywords: blower fan, electric drive, boiler unit, modeling, transient response, control system.

The object of research is transient processes in the electric drive of the blower fan.

The purpose of the work is the synthesis of the control system of the electric drive of the blower fan of a pulverized coal boiler unit.

Research methods are modeling of transient processes in the electric drive of the blower fan using the modern theory of automatic control and electric drive, simulation modeling in MATLAB, processing and analysis of the obtained results.

The first section considers the composition and principle of operation of the pulverized coal boiler unit. The purpose and technical characteristics of the blower fan, the composition and characteristics of the electrical equipment of the pulverized coal boiler unit are analyzed. Section 2 contains the choice and justification of the method of scientific research, the research algorithm and the method of solving the task. Section 3 presents the functional diagram of the automated electric drive of the blower fan and the justification for the choice of its elements, the mathematical description of the automated electric drive. The automated electric drive of the blower fan was simulated in MATLAB and the quality of control was investigated. Section 4 considers issues of labor protection.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	5
1.1 Склад та опис роботи котельного агрегату	5
1.2 Призначення та технічні характеристики дуттьового вентилятора	11
1.3 Склад та характеристика електрообладнання котельного агрегату	16
1.4 Висновки до розділу 1	24
2 ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ	26
2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження.....	26
2.2 Розробка алгоритму дослідження.....	28
2.3 Вибір методів розв’язання поставленого завдання	30
2.4 Висновки до розділу 2	33
3 АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	34
3.1 Побудова функціональної схеми системи керування та обґрунтування вибору її елементів	34
3.2 Математичний опис об’єкта керування та елементів системи керування	47
3.3 Дослідження динаміки системи керування	58
3.4 Висновки до розділу 3	62
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	64
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	64
4.2 Розрахунок захисного заземлення.....	72
4.3 Правила безпечної експлуатації електроустановок.....	77
4.4 Висновки до розділу 4	78
ВИСНОВКИ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	81
ДОДАТОК А. Мультимедійна презентація.....	83

ВСТУП

Актуальність теми. Подача повітря до котла й видалення продуктів горіння виконується за допомогою дуттьових вентиляторів та димососів. Оскільки продуктивність котлів змінюється у широких межах, то і кількість повітря, що подається дуттьовим вентиляторам та кількість відпрацьованих газів, що всмоктується димососами також змінюються. Сьогодні для регулювання подачі тягодуттьових механізмів широке застосування знайшов частотно-регульований асинхронний електропривод, який дозволяє плавно регулювати частоту обертання дуттьового вентилятора і підтримувати тиск в пневмосистемі при різних витратах повітря.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є синтез системи керування електропривода дуттьового вентилятора пилувугільного котельного агрегату. Щоб досягти поставленої мети, слід розв'язати наступні завдання:

- 1) дослідити склад та принцип роботи котельного агрегату. Проаналізувати призначення та технічні характеристики дуттьового вентилятора;
- 2) проаналізувати склад та характеристики електрообладнання котельного агрегату;
- 3) побудувати функціональну схему автоматизованого електропривода дуттьового вентилятора та обґрунтувати вибір її елементів;
- 4) скласти математичний опис об'єкта керування та елементів системи керування;
- 5) провести моделювання автоматизованого електропривода дуттьового вентилятора в MATLAB та дослідити якість керування.

Об'єкт дослідження. Перехідні процеси в електроприводі дуттьового вентилятора.

Предмет дослідження. Структура та параметри регулятора електропривода дуттьового вентилятора, які впливають на якість керування.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження виконані із залученням сучасної теорії електропривода, методів теорії автоматичного керування та комп'ютерного моделювання в MATLAB.

1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Склад та опис роботи котельного агрегату

В енергетиці основним теплоносієм є вода або водяна пара. Комплекс пристроїв і агрегатів, які забезпечують отримання гарячої води або водяної пари під тиском, називають котельною установкою. Вона складається з котла і допоміжного обладнання.

Котли бувають парові та водогрійні. За призначенням вони поділяються на опалювальні, промислові та енергетичні. Пара або вода, одержувані в опалювальних котлах, використовуються для опалення, в промислових котлах - для промислових потреб (теплові апарати, теплообмінники, парові приводи деяких машин). Пара, що отримується в енергетичних котлах, застосовується для перетворення його енергії в механічну роботу в турбінах. Котли також класифікуються за парота теплопродуктивністю, за параметрами пари та іншими ознаками.

Принципова схема сучасного потужного котлоагрегату з природною циркуляцією, що працює на вугільному пилу, показана на рисунку 1.1.

Паливо 1 з вугільного складу подається в бункер сирого вугілля 2, з якого воно прямує в систему пилоприготування, що складається з живильника вугілля 3 та млина 4. Пилоподібне паливо по пилопроводах 5 транспортується до пальникових пристроїв 8 первинним повітрям, що надходить з повітроходу 6. До пальників 8 підводиться також вторинне повітря з повітроходу 12 за допомогою дуттьового вентилятора 23. Для сталого та інтенсивного горіння повітря нагрівається до 250...400 °C у повітропідігрівачі 19. Збір вторинного повітря у повітрохід 22 проводиться взимку з навколишнього середовища 21, а влітку - з приміщення котельного відділення 20.

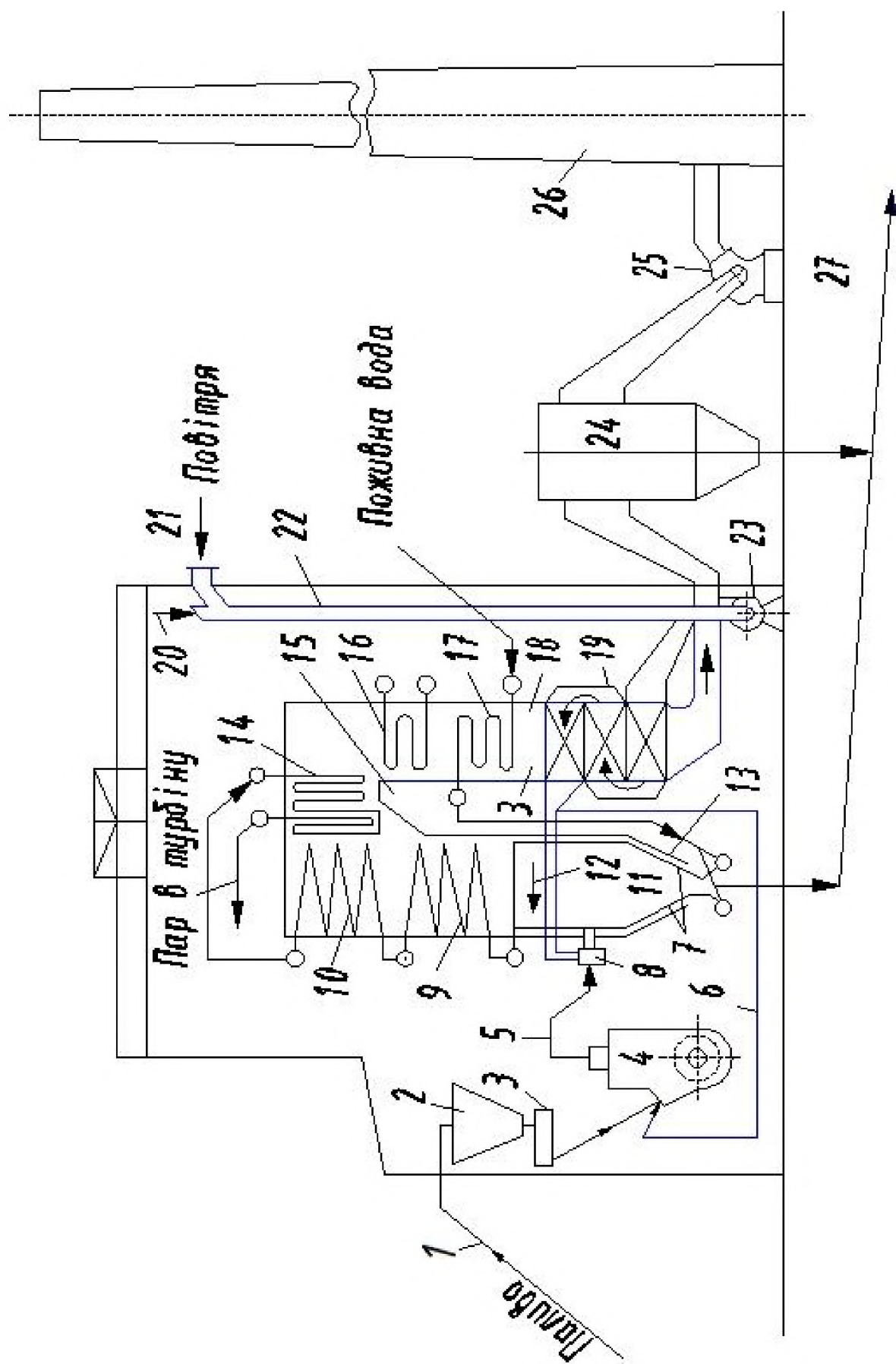


Рисунок 1.1 – Принципова схема котельної установки

Вода, що надходить у котлоагрегат називається живильною, спочатку підігрівається в економайзері 17, потім надходить в топкові екрани 7 і 9, де відбувається процес пароутворення. Суха насичена пара надходить в ширмовий 10 і конвективний 14 пароперегрівачі, після чого перегріта пара направляється до споживача (наприклад, до парової турбіни).

Продукти згоряння палива, пройшовши економайзер 17 і підігрівач повітря 19, очищаються від золи в золовловлюючому пристрої 24 і димососом 25 викидаються в атмосферу через димову трубу 26. Виловлена з димових газів зола та випадаючий у нижню частину топки шлак видаляються, як правило, потоком води каналом 27.

Паровий котел складається з топкової камери 11, в якій відбувається спалювання спеціально підготовленого палива і часткове охолодження продуктів згоряння за рахунок тепловідведення до розташованих в ній поверхонь нагріву і газоходів, в яких також розміщуються поверхні нагрівання, що сприймають теплоту продуктів згорання палива.

Стіни камери згоряння покриті всередині вогнетривким матеріалом, а ззовні - тепловою ізоляцією 13. Безпосередньо біля стін по всьому внутрішньому периметру камери згоряння розташовані труби, які, отримуючи теплоту від топкових газів, є парогенеруючими поверхнями нагріву і називаються топковими екранами 7 і 9 [1].

Топкові екрани є радіаційними поверхнями нагріву, бо вони сприймають теплоту згоряння палива переважно випромінюванням від факела та від продуктів згоряння. Температура в зоні горіння може досягати 1500...1800 °С в залежності від виду палива. Середня температура продуктів згоряння в камері згоряння становить 1300...1400 °С.

Топкові гази, що утворюються в процесі згоряння палива, покидають камеру згоряння з температурою 900...1200 °С і надходять в горизонтальний газохід 15, у якому першим, по ходу газів, розташовується пароперегрівач 10, зроблений з трубчастих змійовиків, зібраних в плоскі пакети (ширми).

Теплообмін у ширмових поверхнях нагріву здійснюється одночасно випромінюванням і конвекцією, тому вони називаються напіврадіаційні.

У цій зоні газу мають температуру близьку до температури плавлення золи палива, і тому може відбуватися процес налипання розплавленої золи (шлаку) на поверхні труб. Для того, щоб виключити можливість утворення шлакових мостів між трубами і подальшого забивання шлаковою масою проміжків між ними, відстань між трубами в котельному пучку роблять більше, ніж в топкових екранах.

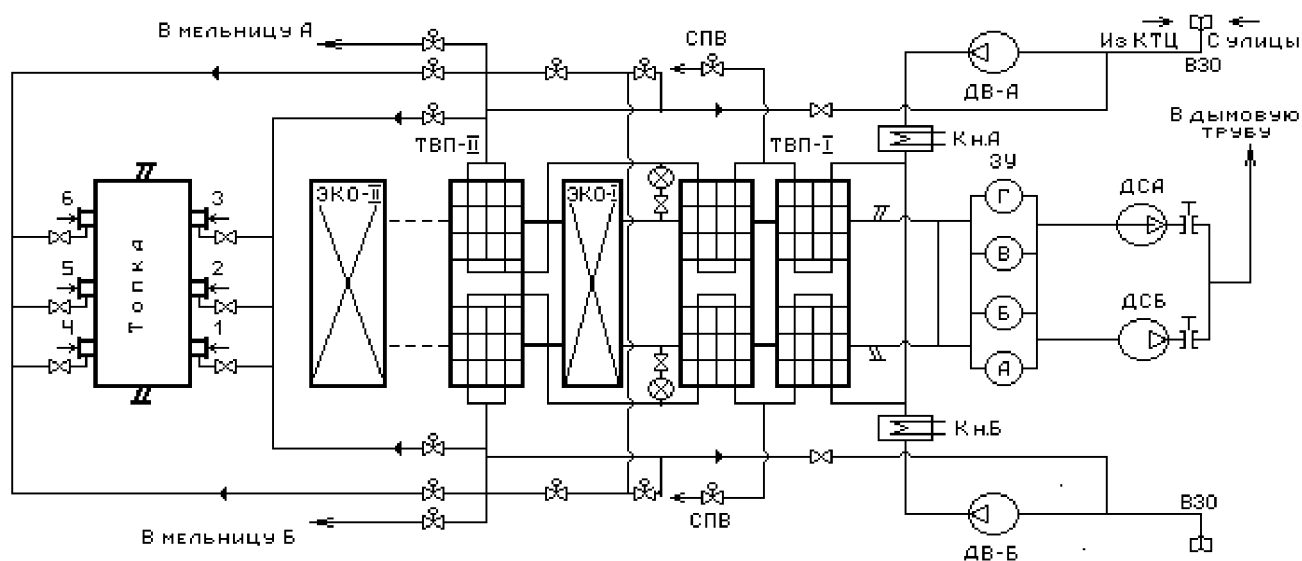
Пройшовши ширмовий пароперегрівач, газу охолоджуються до температури 800...900 °С. У горизонтальному газоході 15 за ширмовим пароперегрівачем 10 розташовується конвективний пароперегрівач 14, що представляє собою пакети труб, розташованих у коридорному або шаховому порядку з меншим, ніж в ширмах, поперечним кроком. Теплообмін у пароперегрівачі 14 і у всіх наступних поверхнях нагріву здійснюється переважно конвекцією.

У верхній частині конвективної шахти 18 зазвичай встановлюється проміжний пароперегрівач 16, який служить для вторинного перегріву пари після циліндра високого тиску турбіни. Якщо на електростанції проміжний перегрів пари не застосовується, то в цьому місці може розташовуватися або перший ступінь конвективного пароперегрівача, або другий ступінь економайзера.

Після проміжного пароперегрівача газу мають температуру 500...600 °С. Теплота цих газів використовується в економайзері 17, наявному далі по ходу газів, і у повітропідігрівачі 19, що розміщується або в нижній частині конвективної шахти 18 безпосередньо за економайзером, або в окремому газоході. За повітропідігрівачем газу мають температуру 110...160 °С. Подальшому зниженню температури газів, шляхом корисного використання їх теплоти, перешкоджають конденсація на поверхнях нагріву пари води, що міститься в продуктах згоряння, і утворення сірчаної кислоти, що призводить до інтенсивного розвитку корозії металу та забруднення поверхонь нагріву золовими відкладеннями. Охолоджені до 110...160 °С газу, пройшовши пристрої очищення від золи 24, викидаються в атмосферу через димову трубу електростанції [2].

Газоповітряний тракт парових котлів, взагалі, призначений для організації транспорту повітря необхідного для спалювання палива, продуктів згоряння, які виникають в результаті горіння палива, а також вловлювання золи, шлаку та розсіювання на значну відстань шкідливих викидів, що залишаються після вловлювання (золи, оксидів азоту і сірки, нагрітих газів).

Газоповітряний тракт (рисунок 1.2) починається від повітрязабірних вікон (ВЗО) і закінчується вихідною посадкою димової труби. При детальному розгляді, у ньому можна виділити повітряний і газовий тракти.



ДСА і ДСБ – димососи; ДВ-А и ДВ-Б – дуттьові вентилятори;

ЗУ – золовловлювачі; ВЗО – повітрязабірні вікна; ТВП-I,II – трубочасті

повітропідігрівачі I, II ступеня; СПВ – слабопідігріте повітря;

ЭКО-I,II – економайзер I, II ступеня; К н.А і К н.Б – калорифери по ниткам А і Б

Рисунок 1.2 – Принципова схема газоповітряного тракту

пилувугільного котельного агрегату

Повітряний тракт включає комплекс обладнання (повітроходи, механізми, теплообмінники, пристрої тощо) технологічно пов'язаного певною послідовністю і забезпечує: забір атмосферного повітря, його підігрів до заданої температури, транспортування і подачу в топку через пальники, а також подачу в інші технологічні системи (пилеприготування, рециркуляція).

Газовий тракт включає також комплекс обладнання, що забезпечує транспорт продуктів згоряння від топки котла до виходу в атмосферу. Утворені в топці продукти згоряння, охолоджуючись, проходять через пароперегрівачі, економайзер, повітрянагрівачі і виходять з котла. Значна частина золи, що міститься в продуктах згоряння, вловлюється, розташованими за котлом, золовловлювачами. Очищені від золи димові гази направляються в димову трубу і викидаються в атмосферу, а вловлені зола і шлак направляються в систему гідрозолошлаковидалення [3].

Рух повітря і продуктів згоряння супроводжується втратами тиску, які залежать від конструктивних характеристик елементів тракту та від швидкостей повітря і газу в них. Подолання втрат тиску забезпечується роботою тягодуттьових установок (ДС - димососи, ДВ - дуттьові вентилятори), тип та кількість яких визначаються потужністю та конструкцією котла. При експлуатації котла витрати та швидкість повітря і газу можуть змінюватися навіть при стабільному навантаженні, що пояснюється присосами повітря і забрудненням поверхонь нагріву.

Залежно від складу тягодуттьових механізмів, встановлених у схемі, і режиму їх роботи, системи газоповітряного тракту класифікують як: працюючі з врівноваженою тягою і працюючі під наддувом.

Якщо повітря до топки транспортується дуттьовими вентиляторами під надлишковим тиском вище атмосферного, а продукти згоряння – димососами під розрядженням, то схему газоповітряного тракту називають врівноваженою або збалансованою. В цьому випадку аеродинамічний режим в газовому тракті працюючого котла контролюється за тиском у верхній частині топки, який повинен підтримуватися на рівні мінус 2...3 мм.в.ст. в порівнянні з атмосферним тиском.

Експлуатація газового тракту котла під розрядженням сприяє зниженню загазованості котельного цеху продуктами згоряння, але веде до появи присосів холодного повітря в топку і газоходи котла, що призводить до зниження економічності його роботи.

Якщо транспортування повітря до топки і продуктів згоряння до виходу в атмосферу забезпечується тільки дуттьовими вентиляторами без димососів (димососи в схемі можуть бути відсутніми), то весь газоповітряний тракт знаходиться

при тиску вищому атмосферного і, в цьому випадку, схема і котел працюють під наддувом.

Наддув, поряд зі зростанням економічності роботи котла в результаті ліквідації присосів, дозволяє додатково підвищити економічність системи газоповітряного тракту, оскільки димососи виключаються. У порівнянні з котлами, що мають врівноважену тягу – у котлах, що працюють під наддувом, обсяг газів менше. Крім того, знижується металоємність газоходів в результаті спрощення їх компонування, опір у них падає, знижується знос лопаток тягодуттьових механізмів, занос їх золою. Однак наддув вимагає зміни конструкції котлів, переходу на газошільне їх виконання з використанням суцільнозварних мембранних і плавникових панелей. При цьому, щоб виключити запилювання з газоходів в цех, підвищуються вимоги до герметичності котлів в цілому.

Паропродуктивність котлів визначає необхідні витрати повітря, обсяги продуктів згорання і, відповідно, компоновку і тип підігрівачів повітря, параметри і кількість тягодуттьових машин, конструкцію запірно-регулюючих пристроїв.

Конструктивне виконання котла, газошільний або звичайний, визначає склад тягодуттьових механізмів, конструкцію і тип підігрівачів повітря, комплектацію контрольно-вимірювальних приладів і режимні параметри системи.

1.2 Призначення та технічні характеристики дуттьового вентилятора

Збалансована і налагоджена робота котельного агрегату залежить від правильного монтажу та встановлення конструктивних елементів, одним з яких є вентилятор. Вентилятори для котлів бувають різних модифікацій. Залежно від потужності котла, потрібного режиму роботи, вимог користувача підбирається модель вентилятора, який відповідає за стабільне і якісне горіння палива, внаслідок чого, досягається більш економна робота системи опалення та високий ККД.

Для подачі повітря в топкову камеру котлоагрегату, який розглянуто в даній роботі, використовується дуттьовий вентилятор одностороннього всмоктування ВД-15,5 (рисунок 1.3). Такими вентиляторами комплектуються котли з

врівноваженою тягою паропродуктивністю до 25 т/год, а також газомазутові водогрійні котли теплопродуктивністю до 16 Гкал/год.

Експлуатація вентилятора ВД-15,5 передбачена в наступних умовах:

- температура навколишнього середовища (переміщуваного середовища): від мінус 30 до +40 °С;
- при роботі в якості димососа максимально допустима температура переміщуваного середовища на вході у вентилятор +200 °С;
- помірний і тропічний клімат під навісом або в приміщеннях, де коливання температури повітря несуттєво відрізняються від коливань на відкритому повітрі при вільному доступі зовнішнього повітря;
- вентилятори можуть працювати в якості димососів тільки при запиленості переміщуваного повітря 0,1 кг/м³.

Вентилятор ВД-15,5 виконаний з посадкою робочого колеса на вал ходової частини привода, корпус спіральний поворотний. Напрямок обертання робочого колеса - правий і лівий.

Вентилятор ВД-15,5 поставляється з кутом розвороту нагнітального патрубку 255°, при монтажі корпус може бути встановлений з кутом розвороту нагнітального патрубку від 0° до 270° через кожні 15°.

Основними вузлами вентиляторів ВД-15,5 є: робоче колесо, корпус, всмоктуючий патрубок, осьовий направляючий апарат, блок привода.

Блок привода складається із зварної рами, ходової частини та електродвигуна. Ходова частина складається з корпусу, кришок, двох підшипникових вузлів, вала і сполучної пружної втулочно-пальцевої муфти, що полегшує заміну двигуна.



Рисунок 1.3 – Фото дуттьового вентилятора ВД-15,5

Технічні характеристики дуттьового вентилятора ВД-15,5 наведено в таблиці 1.1 [4].

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики дуттьового вентилятора ВД-15,5

Параметр	Значення
Діаметр робочого колеса, м	1,55
Частота обертання робочого колеса, об/хв	750
Типорозмір електродвигуна	AIP355MB8
Встановлена потужність двигуна, кВт	200
Продуктивність на всмоктуванні, м ³ /год	63000
Повний тиск, Па	3520
Температура переміщуваного середовища при всмоктуванні, °С	30
ККД (max), %	72
Граничне запилення переміщуваного середовища, г/м ³	0,1

Закінчення таблиці 1.1

Параметр	Значення
Гранична температура переміщуваного середовища при всмоктуванні, °С	200
Габарити заводські без електродвигуна, L×B×H, мм	2411×2725×2385
Вага без електродвигуна, кг	2400
Кут розвороту корпусу при поставці	255° (0°-270° через 15°).

На рисунках 1.4 та 1.5 представлено розміри вентилятора ВД-15,5 та його аеродинамічна характеристика відповідно.

Робоче колесо складається з основного диска, переднього конічного диска, 32-х впередзагнутих лопаток і маточини. Робочі колеса збалансовані на заводі-виробнику, клас точності балансування 4 (ГОСТ 22061).

Зварний спіральний корпус складається з роз'ємних, суцільнозварних секцій. Для створення необхідної жорсткості торцеві стінки корпусу посилюються ребрами зі смуг. До передньої стінки корпусу приварюється всмоктуючий патрубок циліндричної форми.

Регулювання продуктивності і повного тиску вентилятора ВД-15,5 здійснюється осьовим напрямним апаратом. Осьовий напрямний апарат складається зі зварного циліндричного корпусу, поворотного кільця, восьми листових лопаток, з'єднаних з поворотним кільцем важеля і обтікачем. Направний апарат встановлюється на вході повітряного потоку в корпус. Лопатки синхронно повертаються в напрямку обертання робочого колеса на кут від 0° до 90°. Привід лопаток напрямного апарату здійснюється вручну або від колонки дистанційного чи автоматичного регулювання.

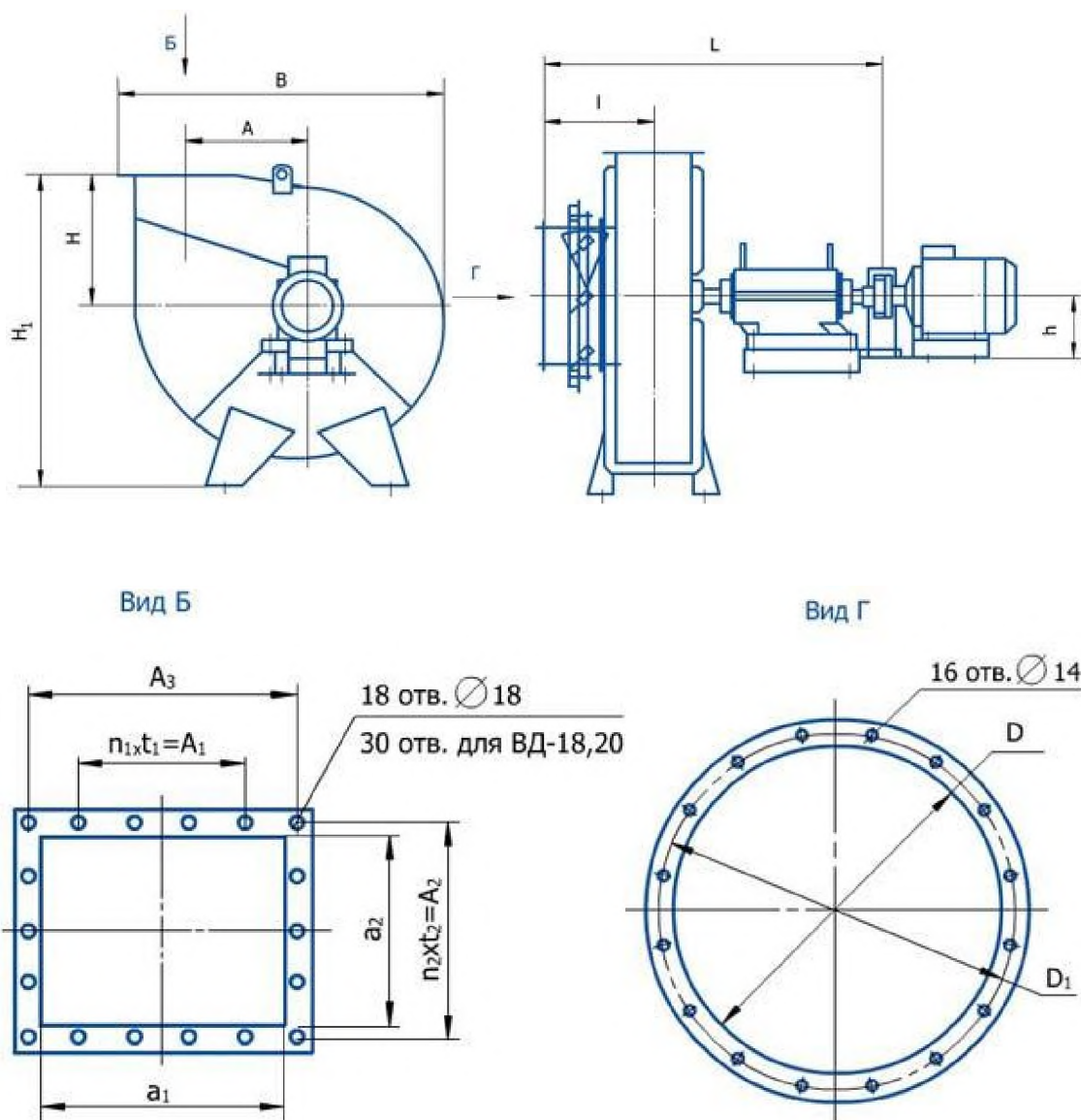


Рисунок 1.4 – Габаритні та приєднувальні розміри вентилятора ВД-15,5

За окремим договором разом з вентилятором ВД-15,5 може поставлятися всмоктуючий карман. Всмоктуючий карман встановлюється на вході потоку повітря в корпус (кріпиться до патрубку болтами), що дозволяє, змінюючи напрямок потоку на 90° , стабілізувати його та підвищити ККД вентилятора

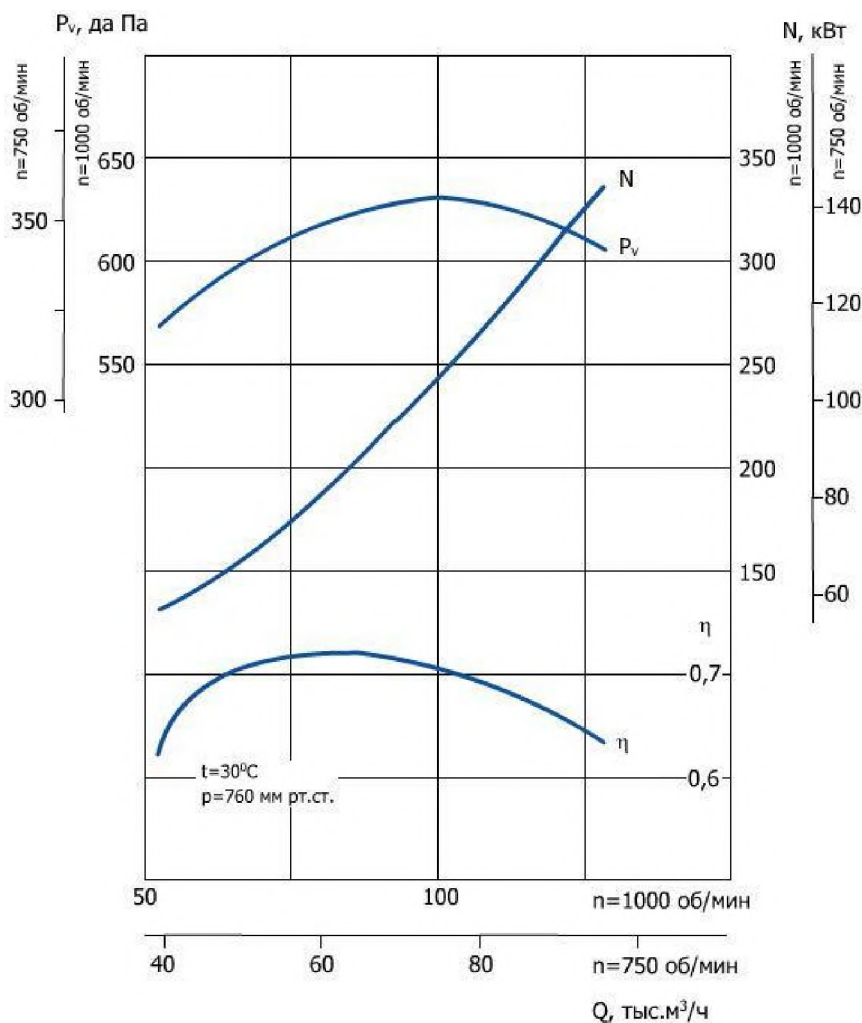


Рисунок 1.5 – Аеродинамічна характеристика вентилятора ВД-15,5

1.3 Склад та характеристика електрообладнання котельного агрегату

Електродвигуни подачі палива обслуговують механізми розвантаження, транспортування, дроблення і подачі палива в бункера котельної. При повному заповненні бункерів запас палива в них забезпечує роботу станції протягом декількох годин. Тому немає необхідності в так званому самозапуску цих двигунів після їх короткочасного відключення. При зупинці однієї з ланок подачі палива необхідно автоматично зупинити всі попередні по ходу палива ланки для того, щоб не допустити завалу паливом ланки, що зупинилася. Двигуни подачі палива працюють в сильно запиленому середовищі. Тому вони повинні бути в закритому виконанні, а при паливі, що дає вибухонебезпечний пил, у вибухозахищеному виконанні.

Електродвигуни пилеприготування обслуговують систему розмолу палива та подачі пилу в топку. Майже у всіх схемах пилеприготування і подачі пилу в котел є живильники сирого вугілля, млинові вентилятори, шнеки та живильники пилу. Ці механізми складають виробничу лінію і потребують блокування, як і ланки подачі палива. При наявності бункерів пилу зупинка будь-якого з механізмів, за винятком живильників пилу і деяких схем млинових вентиляторів, не викличе негайного зупинення котла, і тому немає потреби в їх самозапуску. Двигуни пилеприготування часто працюють в умовах забрудненого середовища і високої температури. На живильниках пилу для забезпечення регулювання їх продуктивності, як правило, встановлюються двигуни постійного струму, а на інших - асинхронні.

Електродвигуни тягодуттьових пристроїв забезпечують роботу димососів, що відсмоктують з топки газу, які утворюються при згорянні палива, і створюють розрідження в топці, та вентиляторів вторинного повітря (дутьових вентиляторів), які подають повітря в топку. Зупинка димососа або вентилятора призводить до припинення роботи котла, якщо на котлі встановлені один вентилятор і один димосос, або до зниження його паропроодуктивності до 70 %, якщо встановлені два вентилятори та два димососа на кожен котел. Крім того, на пиловугільних котлах, у більшості випадків, є вентилятори гарячого дуття, що забезпечують транспортування вугільного пилу в котел. У деяких випадках пил у котел подається за допомогою млинового вентилятора. Робота вентиляторів гарячого дуття і млинових вентиляторів забезпечується електродвигунами. Так як зупинка двигунів тягодуттьових пристроїв призводить до порушення нормального режиму роботи станції, то передбачається їх самозапуск. При тривалому зникненні або глибокій посадці напруги повинні відключатися від захисту мінімальної напруги двигуни дутьових вентиляторів, і слідом за ними від блокування, двигуни млинових вентиляторів і живильників пилу, бо їх одночасне включення після тривалого зникнення напруги може призвести до вибуху в котлі.

Для тягодуттьових пристроїв застосовуються двигуни в закритому виконанні з підведенням холодного повітря. Підведення холодного повітря, що забирається найчастіше з вулиці, ускладнює обслуговування двигунів, так як при цьому

потрібно вчасно закривати і відкривати шибер на підводі повітря. Несвочасне закриття шиберів у морозну погоду і при різкій зміні температури зовнішнього повітря призведе до випадання інею в двигуні, конденсації вологи на обмотці і пошкодження її в момент включення. Двигун може пошкодитися також через випадкове попадання пари або води в короба. Тому, якщо немає великої необхідності в підводі повітря до двигунів по коробах, доцільно від них відмовитися [5].

Живильні насоси подають воду в котли. Навіть короточасна (на 10-30 с) перерва у роботі цих насосів може призвести до аварії котла. Тому для блокових котлів передбачається резерв живильних агрегатів. На випадок відключення працюючих живильних пристроїв або зниження тиску живильної води в магістральних трубопроводах з будь-якої іншої причини передбачено автоматичне включення резервних живильних насосів. Повинен забезпечуватися самозапуск цих насосів.

Електродвигуни конденсатних насосів приводять у рух насоси, що відкачують конденсат з конденсаторів турбін та подають його в деаератори. При зупинці конденсатного насоса конденсат почне заповнювати конденсатор, що спричинить зниження вакууму і необхідність зупинки турбіни. Щоб уникнути цього встановлюються два конденсатних насоса. Передбачається їх самозапуск та автоматичне включення резервного насоса. На теплофікаційних турбінах, крім конденсатних насосів турбін, встановлюють конденсатні насоси бойлерів, що відкачують конденсат з бойлерів. Вимоги до двигунів цих насосів не відрізняються від вимог до двигунів конденсатних насосів турбін.

Електродвигуни циркуляційних насосів відносяться до числа відповідальних. Їх відключення тягне за собою зрив вакууму і аварійну зупинку турбін. Тому повинен бути забезпечений їх самозапуск і АВР.

Мережеві насоси забезпечують споживачів гарячою водою. Вимоги до безперервності роботи цих агрегатів залежать від характеристики споживачів. Теплофікаційне побутове навантаження допускає короточасні перерви без істотних наслідків для теплопостачання. В цьому випадку двигуни мережевих насосів не вимагають самозапуска і можуть відключатися при глибоких посадках напруги від

захисту мінімальної напруги для полегшення самозапуску більш відповідальних двигунів.

Крім перерахованих насосів і вентиляторів на станції є велика група механізмів меншої потужності, значення безперебійної роботи яких також велике. До таких механізмів відносяться насоси газоохолодження генераторів, маслонасоси водного охолодження та турбін, валоповоротний пристрій турбін, насоси, які подають воду на охолодження підшипників, двигуни-генератори живильників пилу, резервні збудники, насоси і вентилятори охолодження трансформаторів, деякі насоси хімводоочищення, пожежні насоси і ряд інших механізмів. На цю групу механізмів передбачається автоматичне включення (АВР) механізмів, що знаходяться в резерві. При аварійних положеннях повинен забезпечуватися самозапуск таких механізмів.

На сучасних станціях керування котлоагрегатами і турбінами автоматизовано. Число засувки і шиберів, що мають електроприводи, на великих станціях обчислюється тисячами одиниць. Зникнення напруги на теплових приладах, автоматичності і електроприводах не раз призводило до аварій з котлами та турбінами. У зв'язку з цим до надійності живлення збірок засувки і теплової автоматики, а також до електроприводів засувки пред'являються не менш високі вимоги, ніж до надійності живлення основних двигунів котлів і турбін.

В якості приводного двигуна дуттьового вентилятора ВД-15,5 застосовано електродвигун АІР355МВ8 (див. таблицю 1.1). Асинхронні електродвигуни серії «АІР» використовуються в якості привода різних механізмів, які не вимагають регулювання частоти обертання, таких як насоси, вентилятори. Їх характерною рисою є відсутність особливих умов та вимог до технічних характеристик механізмів, у яких вони застосовуються у якості приводу загальнопромислового виконання. До таких характеристик відносяться пускові, енергетичні показники, характеристики ковзання. При експлуатації двигунів у навколишньому просторі не повинно бути хімічно агресивних і вогневибухонебезпечних домішок.

Вимоги для досягнення оптимальної та безвідмовної роботи: висота над рівнем моря не більш 1000 метрів; температура навколишнього повітря в діапазоні від

мінус 40 °С до плюс 40 °С; відносна вологість повітря при температурі плюс 25°С не вище 98 %.

Основні технічні характеристики електродвигунів серії «AIP»:

- прив'язка потужності та настановчих розмірів стандарту ГОСТ Р 51689-2000;
- ступінь захисту IP54, IP55 по ГОСТ17494-87;
- ізоляція класу нагрівостійкості «F» по ГОСТ8865-93;
- кліматичне виконання В2, В3 по ГОСТ15150-69;
- спосіб охолодження 1С-0151 по ГОСТ20459-87.
- рівень шуму в режимі холостого ходу – 2 класу по ГОСТ16372-93.

За способом монтажу електродвигун має виконання IM1001. Він призначений для тривалої роботи в режимі S1 від мережі з частотою 50 Гц.

Електродвигуни мають обмотку з міді, що сприяє підвищенню терміну експлуатації електричної машини. Мідна обмотка надійно захищена від перегріву за рахунок пролаковки, що дозволяє двигуну витримувати високу температуру до 155 °С.

Відмінні риси двигунів серії AIP355MB8:

- простота конструкції, пуску та легкість його автоматизації;
- підвищений рівень ККД за рахунок високої точності виготовлення;
- мають оптимальне співвідношення енергетичних показників та питомої матеріаломісткості;
- мають підвищене значення перевантажувальної здатності без зниження довговічності;
- мають посилений корпус, який відлито з сірого чавуна;
- понижений рівень шуму за рахунок використання високоточних підшипників;
- ступінь захисту IP54 забезпечує підвищену захищеність оболонки двигуна від води та пилу;
- знижено рівень реактивних струмів $\cos \phi$, що посприяло значному зниженню ризику перенапруження в мережі;

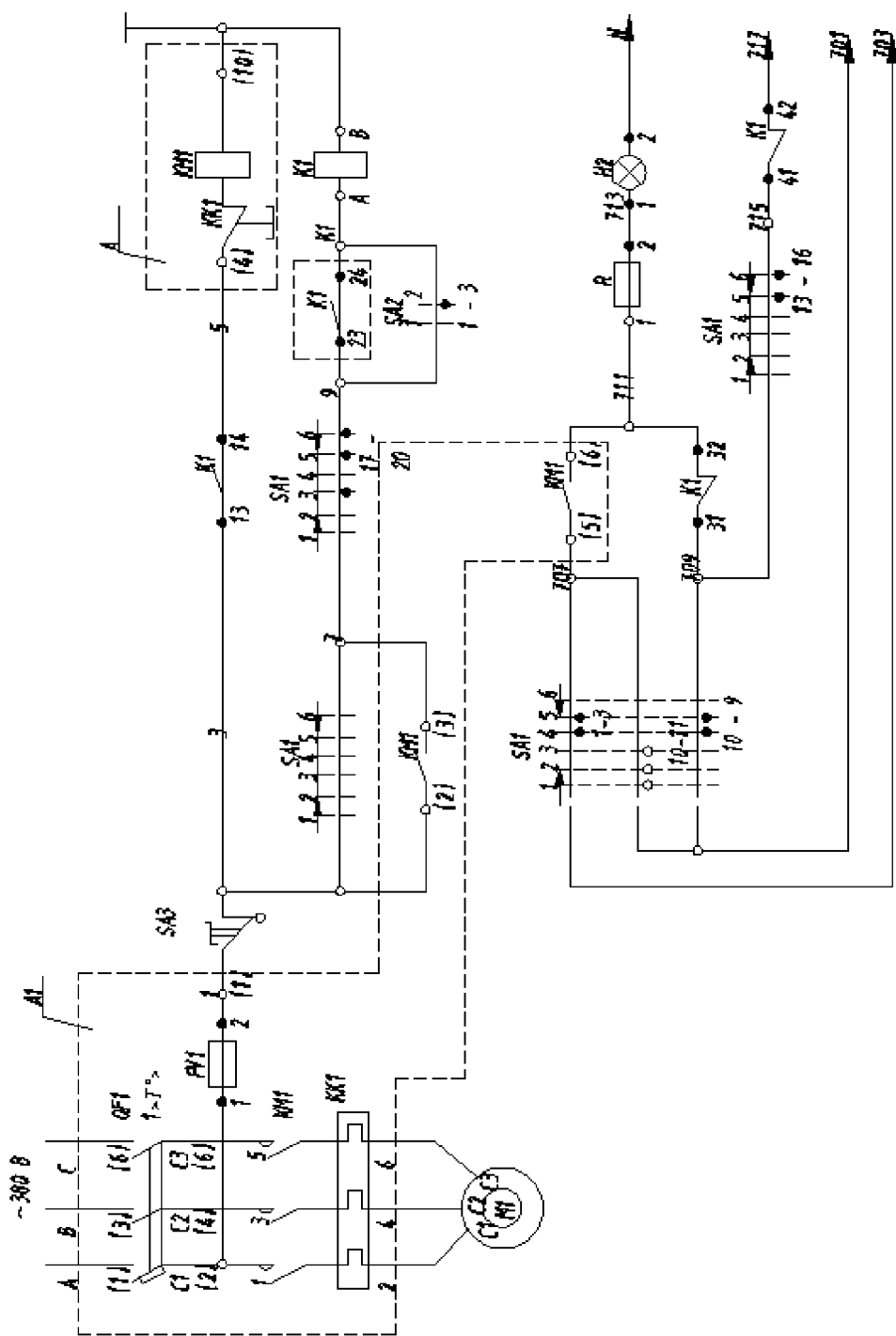
- висока експлуатаційна надійність при пусках та спонтанно виникаючих перевантаженнях отмана шляхом значного збільшення кратності пускових моментів;
- сейсмостійкість і надійність двигунів допускає їх застосування на атомних електростанціях;
- сертифіковані на відповідність стандарту ISO 9001.

Технічні характеристики електродвигуна AIP355MB8 наведено в таблиці 1.2 [6].

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики електродвигуна AIP355MB8

Найменування	Значення
Потужність P_n , кВт	200
Частота обертання n_n , об/хв	740
ККД η , %	94,5
Коефіцієнт потужності	0,82
$M_{\text{пуск}}/M_n$	1,8
$\lambda (M_{\text{max}}/M_n)$	2,0
Номінальний крутний момент M_n , Н·м	2581
Момент інерції J , кг·м ²	12,3
Маса, кг	2250

Схема керування електродвигуна дуттьового вентилятора представлена на рисунку 1.6.



Живлення ~ 220 В	Дистанційне керування		
	В схему аварійної сигналізації		
	Випробувальний світловий сигнал	Світловий сигнал	Звуковий сигнал
	Загальні ланцюги		

Рисунок 1.6 – Принципова електрична схема керування електродвигуна дуттьового вентилятора

Як видно зі схеми при дистанційному керуванні з пристроєм блокування пуск електродвигуна можливий тільки після замикання контакту реле К в ланцюзі 3-5-7-N.

Електродвигун піддається перевантаженням. Для вимірювання струму перевантаження в силовому ланцюзі встановлено амперметр РА, що працює в комплекті з трансформатором струму ТА. Подача напруги в силовий ланцюг і ланцюг керування здійснюється автоматичним вимикачем QF1. Пуск електродвигуна здійснюється ключем SA1. При установці ключа SA1 з положення 2 (Відключено) в положення 4 проводиться перевірка справності лампи HL і ланцюги 701(фаза)-709-711-713-N. У цьому положенні ключа ланцюг 701-709-715-717 звукового сигналу розімкнутий контактом 3-16 ключа. При справності цього ланцюга і сигнальної лампи HL остання повинна включитися.

При установці SA1 в положення 6 контакт 10-9 ключа розриває ланцюг 701-709 і лампа HL гасне. Контакти 5-8 і 17-20 ключа SA1 замикають ланцюг 3-7-9-N реле К, потім реле К замикає свої прикінцеві контакти в ланцюзі 3-5-N живлення катушки магнітного пускача КМ і розмикає розмикаючі контакти в ланцюгах 701-709-711-713-N лампи HL і 701-709-715-717 звукового сигналу.

Магнітний пускач КМ спрацьовує, і його силові контакти і блок-контакти замикаються. Силові контакти КМ підключають до мережі електродвигун М, замикання блок-контактів КМ в ланцюзі 3-7-9-N забезпечує нульовий захист електродвигуна, а в ланцюзі 703-707-711-713-N - підготовку до випробування світлового сигналу.

Положення 6 рукоятки ключа SA1 не є фіксованим, тому при припиненні впливу на неї вона автоматично встановлюється в положення 5 (вертикальне фіксоване положення). При цьому контакт 5-8 ключа розмикає ланцюг 3-7, залишаючи живлення реле К тільки через блок-контакт пускача КМ, а контакт 10-9 готує ланцюг світлових та звукових сигналів для фіксування аварійної зупинки електродвигуна.

При аварійному відключенні електродвигуна блок-контакт КМ в ланцюзі 3-7 розмикає ланцюг живлення реле К, яке, знеструмлюючи, замикає розмикаючі

контакти в ланцюгах світлових та звукових сигналів (лампа HL загоряється, і вмикається звуковий сигнал). Після аварійної зупинки пуск електродвигуна можливий тільки при повторенні пускових операцій.

Нормальна зупинка електродвигуна здійснюється поворотом рукоятки ключа проти годинникової стрілки. З положення 5 рукоятку ключа переводять в положення 3 (горизонтальне фіксоване положення). У цьому положенні електродвигун ще не відключається, але контакт ключа 10-9 розмикає ланцюг світлової і звукової аварійної сигналізації, а замиканням контактів ключа 10-11 по ланцюгу 701-707-711-713-N проводиться перевірка лампи HL електродвигуна.

Контакт ключа 17-20, розриваючи ланцюг 3-7-9-N, відключає реле К, яке своїм замикаючим контактом знімає напругу з катушки магнітного пускача КМ. Магнітний пускач своїми силовими контактами КМ відключає електродвигун від мережі, а блок-контактом відключає сигнальну лампу HL.

При переключенні ключа блокування SA2 з положення 1 в положення 2 вказаний контакт реле К шунтується контактом 1-3 перемикача блокування SA2.

1.4 Висновки до розділу 1

1.4.1 Розглянуто склад котельного агрегату та наведено опис його роботи. Встановлено, що газоповітряний тракт котлів призначений для організації транспорту повітря необхідного для спалювання палива, продуктів згоряння, а також вловлювання золи, шлаку та розсіювання на значну відстань шкідливих викидів. Рух повітря і продуктів згоряння супроводжується втратами тиску. Подолання втрат тиску забезпечується роботою тягодуттьових установок, зокрема дуттьових вентиляторів.

1.4.2 Досліджено призначення та характеристики дуттьового вентилятора ВД-15,5. Виявлено, що такими вентиляторами комплектуються котли з врівноваженою тягою. Основним призначенням тягодуттьових механізмів є підтримка оптимального режиму горіння в топці котла. Регулювання продуктивності і повного тиску вентилятора ВД-15,5 здійснюється осьовим направляючим апаратом.

1.4.3 Проаналізовано склад та характеристики електрообладнання котельного агрегату. Встановлено, що система керування електродвигуна дуттьового вентилятора морально та фізично застаріла та потребує модернізації. Модернізація дозволить підвищити експлуатаційну надійність та продуктивність.

Крім того впровадження регульованого привода має великий технологічний та економічний ефект, так як вони споживають більше 50 % електроенергії власних потреб котельні. Використання частотно-регульованого привода дозволить вирішувати задачу узгодження режимних параметрів і енергоспоживання тягодуттьових механізмів із змінним характером навантаження котлів.

2 ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ І ОСНОВНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вибір та обґрунтування методу наукового дослідження

Метод (греч. *methodos* – шлях, спосіб дослідження, викладу) – система правил і прийомів підходу до вивчення явищ і закономірностей природи, суспільства, мислення; планомірний шлях, спосіб досягнення певних результатів у науковому пізнанні й практичній діяльності; взагалі прийом, спосіб або спосіб дії.

Знання методів має величезне практичне й евристичне значення, тому що воно орієнтує дослідника, допомагає йому вибрати істотне й вичленувати другорядне, намітити шлях сходження від відомого до невідомого, від простого до складного, від одиничного до приватного й загального, від вихідних посилок до висновків [7].

Методика дослідження – це система правил використання методів, прийомів та способів для проведення будь-якого дослідження. Свідоме застосування науково-обґрунтованих методів слід розглядати як найсуттєвішу умову отримання нових знань.

Кожний метод наукового пізнання слід розглядати як систему регулятивних принципів практичної і теоретичної діяльності людини. Методів пізнання об'єктивної дійсності відомо дуже багато. Правильний вибір методів дослідження потребує знання їх класифікації.

Досить поширеним є поділ основних типів методів за двома ознаками: мети і способу реалізації.

За першою ознакою виділяються так звані первинні методи, що використовуються з метою збору інформації, вивчення джерел, спостереження, опитування та ін. Вторинні методи використовуються з метою обробки та аналізу отриманих даних – кількісний та якісний аналіз даних, їх систематизація та ін.

Візуальні, або графічні, методи – графи, схеми, діаграми, картограми та ін. дають змогу отримати синтезоване уявлення про досліджуваний об'єкт і водночас

наочно показати його складові, їхню питому вагу, причинно-наслідкові зв'язки, інтенсивність розподілу компонентів у заданому об'ємі. Ці методи тісно пов'язані з комп'ютерними технологіями.

У прикладних аспектах гуманітарних наук доцільно використовувати математичні методи. Математичний апарат теорії ймовірностей дає можливість вивчати масові явища в соціології, лінгвістиці. Математичні методи відіграють важливу роль при обробці статистичних даних, моделюванні.

Сучасна методологія вкладає новий зміст у традиційне уявлення про теоретичні (математичні) та емпіричні (експериментальні) методи дослідження в природних і технічних науках.

Складовою частиною наукових досліджень є експеримент.

Експеримент представляє собою науково поставлений дослід або спостереження явища або процесу в точно враховуваних умовах, що дозволяють стежити за ходом експерименту, керувати ним, відтворювати його щоразу при повторенні цих умов.

Серед відомих методів дослідження складних електромеханічних систем можна виділити фізичне, імітаційне, аналогове та математичне моделювання.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, яка відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні та функціональні характеристики та властивості оригіналу (але не обов'язково всі властивості) та має великі можливості з визначення різноманітних якостей електромеханічних систем ті їх елементів.

Метод математичного моделювання ґрунтується на здатності математично описувати рівняннями різні за природою явища (процеси) та виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

Аналогове моделювання базується на однаковому для моделі та природи математичному описі та використовується для імітації на основі аналогової фізичної системи по її елементам. При цьому кожному з фізичних елементів природи в моделі відповідає певний еквівалент. У якості моделей використовуються електричні кола, складені з пасивних та активних елементів.

При математичному моделюванні застосовуються аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число факторів, завжди потребують деяких припущень та спрощень. Проте вони більше пристосовані для пошуку оптимальних рішень.

Комп'ютерна модель (або чисельна) – комп'ютерна програма, яка реалізує абстрактну модель деякої системи. Комп'ютерні моделі використовуються для отримання нових знань про об'єкт, що моделюється або для приблизної оцінки поведінки математичних систем, які досить складні для аналітичного дослідження. Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі простіші та їх зручніше досліджувати в силу можливості проводити обчислювальні експерименти в тих випадках, коли реальні експерименти немає можливості проводити через фінансові труднощі або фізичні перешкоди. Для підтримки математичного моделювання розроблені системи комп'ютерної математики, наприклад, Maple, Mathematica, Mathcad, MATLAB, Scilab, VisSim та інші. В даній роботі використовується програма Simulink пакету MATLAB.

2.2 Розробка алгоритму дослідження

Методологія – це система базисних принципів, методів, методик, способів і засобів їх реалізації в організації та побудові науково-практичної діяльності. Вона включає в себе методи теоретичного та емпіричного пізнання і являє собою алгоритм пошуку і досягнення мети.

Основне призначення методики дослідження полягає у тому, щоб на основі відповідних принципів (вимог, умов, обмежень тощо) забезпечити успішне вирішення визначених мети і завдань наукового дослідження.

Алгоритм дослідження представлено в табличній формі (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Алгоритм дослідження

Автоматизований електропривод дуттьового вентилятора пиловугільного котельного агрегату	
Складання індивідуального плану роботи	
Пошук літератури за темою дослідження, її аналіз, складання бібліографії	
Підготовка теоретичної частини	Дослідження складу та принципу роботи котельного агрегату. Аналіз призначення та технічних характеристик дуттьового вентилятора
	Аналіз складу та характеристики електрообладнання котельного агрегату
	Побудова функціональної схеми автоматизованого електропривода дуттьового вентилятора та обґрунтування вибору її елементів
	Складання математичного опису об'єкта керування та елементів системи керування
Опис процесу дослідження	Моделювання автоматизованого електропривода дуттьового вентилятора в MATLAB
	Дослідження якості керування
Узагальнення результатів моделювання	Аналіз і узагальнення результатів дослідження
	Інтерпретація отриманих результатів дослідження
	Формулювання висновків
Узагальнення науково-теоретичних результатів	
Розробка заходів з охорони праці	

Алгоритм складено на підставі головних завдань дослідження і наочно відображає його послідовність: мотивацію; формулювання проблеми дослідження; пошук теоретичної основи розв'язання проблеми; розв'язання проблеми. Він розкриває процедуру дослідження і встановлює логічну послідовність виконання структурних розділів і підрозділів кваліфікаційної роботи.

2.3 Вибір методів розв'язання поставленої задачі

Кваліфікаційна робота не передбачає проведення експериментальних досліджень, має теоретичний характер, тому основним методом для відображення отриманих результатів є моделювання.

Моделювання як метод наукового пізнання виникло в зв'язку з необхідністю вирішення завдань, які з тих чи інших причин не можуть бути вирішені безпосередньо. Вони виникають у випадках, коли об'єкт або недосяжний для дослідника, або він ще не існує і потрібно обрати оптимальний варіант його створення, або дослідження реального об'єкта вимагає багато часу та економічно не вигідне тощо. Таким чином, модель виконує функцію проміжної ланки між дослідником та об'єктом пізнання. Метод моделювання передбачає, що об'єкт вивчається не безпосередньо, а шляхом дослідження іншого об'єкта, який є аналогом першого.

Модель (від лат. *modulus* – міра) – це певний умовний образ об'єкта дослідження, котрий замінює останній і перебуває з ним у такій відповідності, яка дозволяє отримати нове знання. Модель будується для того, щоб відобразити характеристики об'єкта (елементи, взаємозв'язки, структурні та функціональні властивості), суттєві з точки зору мети дослідження. Отже, моделювання пов'язане зі спрощенням, огрубінням прототипу, абстрагуванням від ряду його властивостей, ознак, сторін.

Характерною ознакою моделей можна вважати їх спрощеність стосовно оригіналу або реальної життєвої ситуації, яку моделюють. Спрощеність моделей є неминучою, тому що оригінал лише в обмеженій кількості відношень відображується в моделі.

Отже, моделювання з точки зору наукового дослідження – це метод опосередкованого пізнання за допомогою штучних або природних систем, які зберігають певні особливості об'єкта і, таким чином, заміщуючи його, дають змогу отримати нове знання про оригінал.

У системному аналізі моделі є дуже важливим компонентом дослідження та проектування нових систем. Не менш важливий і прагматичний аспект моделювання, при якому модель розглядається як засіб керування системою.

Модель є цільовим відображенням об'єкта-оригіналу, що виявляється у множинності моделей одного й того ж об'єкта, тобто для різної мети або завдань дослідження можна будувати різні моделі, тому мета або завдання дослідження визначають, які саме ознаки системи мають бути відображені в моделі. Процес дослідження реальних систем, що охоплює побудову моделі, дослідження її властивостей і перенесення одержаних відомостей на реальну систему, називають моделюванням.

Основна функція моделі – це її використання як засобу пізнання. До конкретизованих (похідних від основної) функцій належать: засіб наукового осмислення дійсності, засіб спілкування, засіб навчання і тренування, інструмент прогнозування, засіб постановки та проведення експерименту.

Головними рівнями дослідження та моделювання систем є мікро- та макро-рівень. Мікрорівневе моделювання системи пов'язане з детальним описом кожного компонента системи, дослідженням її структури, функцій, взаємозв'язків, тощо.

Макрорівневе моделювання полягає в ігноруванні детальної структури системи та вивченні лише загальної поведінки системи як єдиного цілого.

Для детальнішого опису систем використовують моделі складу та моделі структури. Модель складу системи відображає, з яких елементів і підсистем складається система, а модель структури застосовується для відображення відношень між елементами та зв'язків між ними.

Модель структури описує суттєві зв'язки між елементами та підсистемами. При використанні графічних моделей будову систем подають у вигляді так званих

структурних схем. Структурні схеми наглядні та містять інформацію про велику кількість властивостей системи.

Залежно від форми подання об'єкта моделювання поділяють на реальне та абстрактне.

При реальному моделюванні використовують можливість дослідження характеристик на реальному об'єкті чи на його частині, а при натурному – проводять дослідження на реальному об'єкті з подальшим обробленням результатів експерименту на основі теорії подібності.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, що відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні і функціональні властивості “оригіналу” і володіє великими можливостями по визначенню різних якостей електро-механічних систем та їх елементів.

Абстрактне моделювання має різні види: наочне, символічне, математичне. Метод математичного моделювання заснований на здатності математично описувати рівняннями різноманітні за природою явища (процеси) і виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

При математичному моделюванні застосовують аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число чинників, завжди вимагають деяких припущень і спрощень, проте вони більш пристосовані для пошуку оптимальних рішень. Статистичні методи в порівнянні з математичними громіздкі і погано осяжні.

Дослідження математичної моделі дає змогу отримати характеристики реального об'єкта чи системи. Вигляд математичної моделі залежить як від природи системи, так і від завдань дослідження. Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу з одного стану в інший. Математичне моделювання охоплює імітаційне, інформаційне, структурне, ситуаційне тощо.

На етапі вибору математичної моделі встановлюються: лінійність і не лінійність об'єкта, процесу або системи, динамічність або статичність, стаціонарність або не стаціонарність, а також ступінь детермінованості досліджуваного об'єкта чи

процесу. При математичному моделюванні свідомо відволікаються від конкретної фізичної природи об'єктів, процесів або систем і, в основному, зосереджуються на вивченні кількісних залежностей між величинами, що описують ці процеси.

На базі складених диференційних рівнянь проводиться математичне моделювання системи керування електропривода. За допомогою програми Simulink досліджуються перехідні характеристики системи при зміні задавальних параметрів.

Слід зазначити, що метод моделювання – вивчення явищ за допомогою моделей – сьогодні має особливе значення для вирішення складних фізичних завдань, чому значною мірою сприяє зростанню продуктивності обчислювальної техніки. Саме тому в представленій роботі як основа використано метод моделювання.

2.4 Висновки до розділу 2

2.4.1 Для дослідження автоматизованого електропривода в роботі обрано математичне моделювання, яке сьогодні є одним з ефективних методів вивчення складних систем.

2.4.2 На підставі головних завдань дослідження розроблено алгоритм дослідження, який наочно відображає його послідовність: мотивацію; формулювання проблеми дослідження; пошук теоретичної основи розв'язання проблеми; розв'язання проблеми.

2.4.3 Моделювання є основним методом для отримання результатів, оскільки робота має теоретичний характер. На базі складеної математичної моделі системи керування електропривода в програмі Simulink проводиться математичне моделювання та досліджуються перехідні процеси.

3 АНАЛІЗ І УЗАГАЛЬНЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1 Побудова функціональної схеми системи керування та обґрунтування вибору її елементів

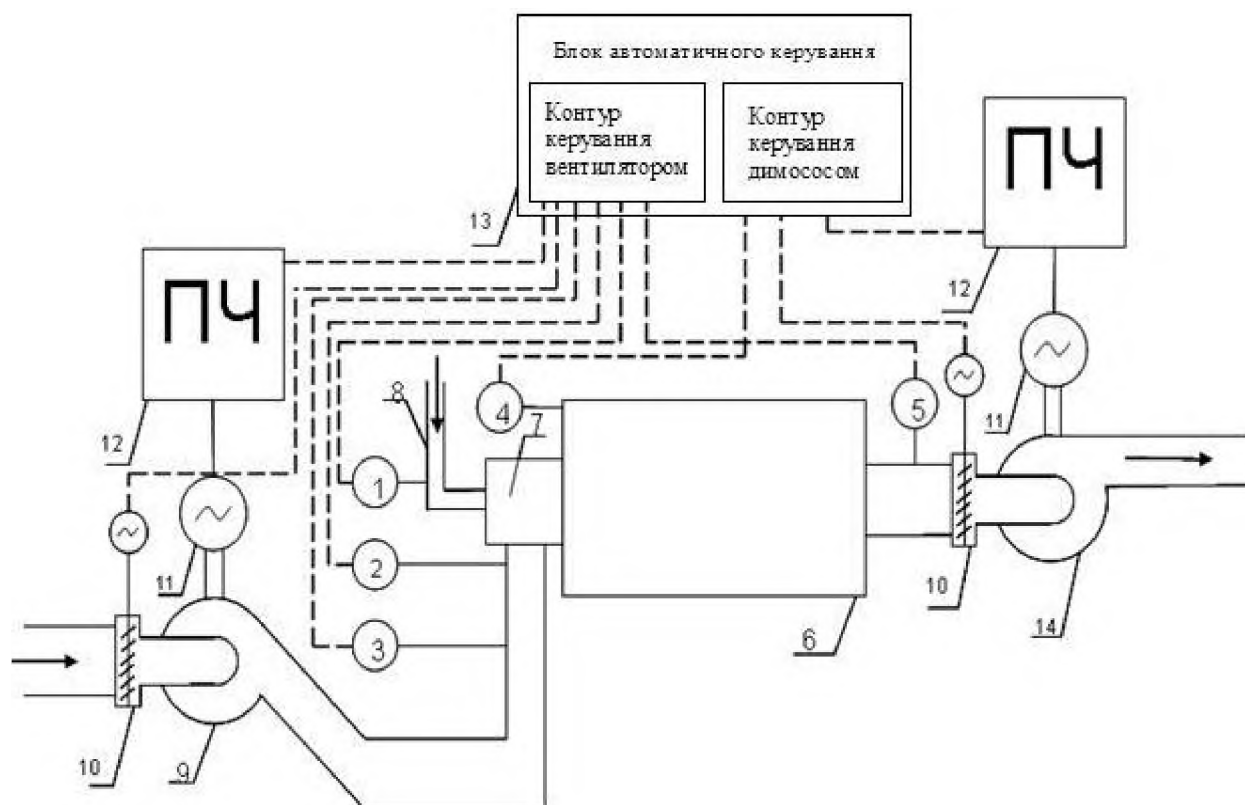
3.1.1 Побудова функціональної схеми

3.1.1.1 Систему керування тягодуттьових машин можна розділити на два незалежні контури (рисунок 3.1) [8].

Контур регулювання дуттьового вентилятора. В даному контурі частота обертання регулюється ПІД-регулятором підтримки тиску повітря перед пальником. Необхідний тиск повітря обчислюється за значенням тиску палива і температури повітря, що подається. Так само, часто, здійснюється коригування уставки тиску за вмістом кисню в димових газах, яка контролюється датчиком 5. Обчислення робиться в контролері блоку автоматичного керування, згідно режимній карті котла, і заданий сигнал надходить на перетворювач частоти дуттьового вентилятора;

Контур регулювання димососа. В даному контурі задіяний датчик розрядження в топці. За його сигналом ПІД-регулятор блоку автоматичного керування підтримує постійне розрядження в топці, посилаючи керуючий сигнал на перетворювач частоти димососа. Для спрощення схеми можна задіяти для регулювання ПІД-регулятор перетворювача частоти, вивівши на аналоговий вхід ПЧ сигнал з датчика розрядження.

3.1.1.2 Регулювання роботи вентиляторів пов'язано зі зміною їх витрати. Як правило, витрата вентилятора регулюється за допомогою трьох видів пристроїв: дроселем, осьовим напрямним апаратом і зміною частоти обертання валу вентилятора. Автоматизований електропривод дуттьового вентилятора здійснює автоматичне керування подачею зовнішнього припливного повітря шляхом зміни частоти обертання вентилятора, стабілізуючи тиск в каналі.



- 1 – датчик надлишкового тиску; 2 – датчик розрідження в топці котла;
 3 – датчик температури повітря; 4 – датчик надлишкового тиску; 5 – датчик
 вмісту кисню; 6 – котел; 7 – пальник; 8 – паливо; 9 – вентилятор дуттьовий;
 10 – направляючий апарат; 11 – двигун; 12 – перетворювач частоти;
 13 – блок керування; 14 – димосос

Рисунок 3.1 – Схема підключення тягодуттьових механізмів
 на базі частотно-регульованого привода

Найбільш поширеним на сьогоднішній день є регулювання частоти обертання роторів приводних двигунів, відповідно і лопаток вентиляторів, за допомогою перетворювачів частоти, які дозволяють плавно регулювати швидкість електродвигуна вентилятора, і, тим самим, підтримувати тиск в каналі при різних витратах повітря, що переміщується. При малих витратах повітря двигун вентилятора обертається з малою швидкістю, необхідною тільки для підтримки номінального тиску і не витрачає зайвої енергії. При збільшенні витрати повітря перетворювач збільшує частоту обертання електродвигуна, підвищуючи продуктивність вентилятора при збереженні заданого тиску.

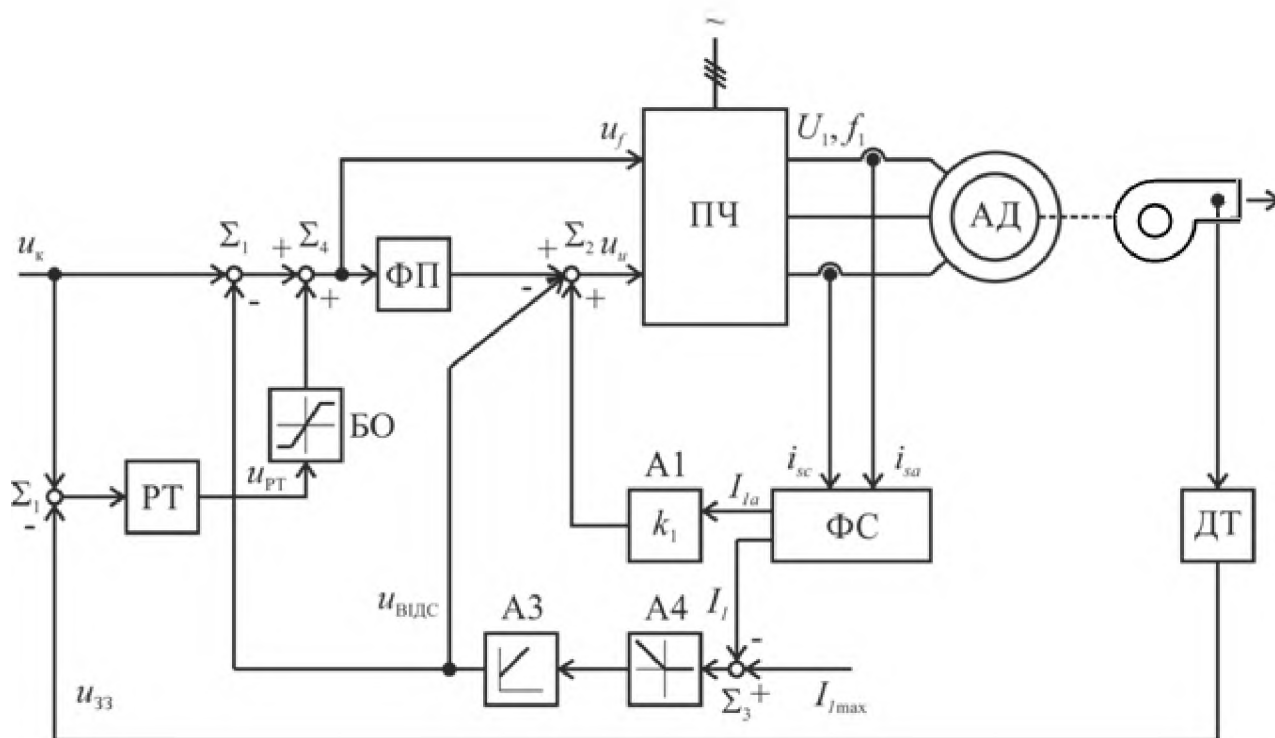
Використання частотних перетворювачів визнано найдосконалішим та найефективнішим методом регулювання швидкості обертання в сучасних електроприводах. Дія пристрою полягає у формуванні із значення вхідної напруги, що характеризується постійною частотою і амплітудою, в напругу із змінними параметрами. Це призводить до зміни величини частоти магнітного поля, що змінює механічне обертання валу двигуна. В наслідок цих процесів, спостерігається постійне коригування швидкості і обертового моменту відносно робочого навантаження. Втрати – мінімальні, це досягається за допомогою підтримки постійного ковзання при будь-якій швидкості, для всіх навантажень.

Однією з переваг частотно-регульованого привода є плавне регулювання швидкості обертання електродвигуна, що дозволяє в більшості випадків відмовитися від використання редукторів, дроселів та іншої регулюючої апаратури, що значно спрощує керувану механічну систему, підвищує її надійність і знижує експлуатаційні витрати. Частотний пуск керованого двигуна забезпечить його плавний, без суттєвих підвищених пускових струмів і механічних ударів, розгін, що знижує навантаження на двигун і пов'язані з ним передаточні механізми, збільшуючи термін їх експлуатації. Застосування регульованого частотного електропривода дозволяє економити до 40 % в рік електроенергії, що споживається, шляхом усунення невиннованих витрат, які мають місце при альтернативних методах регулювання, наприклад дроселюванням або за допомогою гідромуфти.

Основні критерії вибору частотного перетворювача:

- надійність;
- невисока ціна;
- невеликі масо-габарити;
- простий монтаж;
- просте та швидке налагодження.

На рисунку 3.2 представлено функціональну схему системи керування електропривода дугтьового вентилятора.



АД - асинхронний двигун; ПЧ - перетворювач частоти; ФП - функціональний перетворювач; ФС - функціональний перетворювач струму; РТ, ДТ - регулятор та датчик тиску відповідно

Рисунок 3.2 – Функціональна схема автоматизованого електропривода дуттьового вентилятора

На схемі сигнали i_{sa} і i_{sc} пропорційні миттєвим значенням струмів фаз А і С обмоток статора, з виходу датчиків ДТа і ДТс надходять в функціональний перетворювач струму, де формуються вихідні сигнали I_l і I_{la} , пропорційні відповідно діючому значенню струму статора та активній складовій цього струму. У вузлах Σ_1 та Σ_2 сумуються сигнали керування і зворотних зв'язків, що надходять з функціональних пристроїв А1 і А3. Пристрій А4 забезпечує проходження сигналу I_l на вихід А3 лише при його перевищенні на суматорі Σ_3 сигналу I_{lmax} , пропорційного діючим значенням максимально допустимого струму статора АД.

Призначення кожного з контурів зворотних зв'язків та їх вплив на властивість електропривода доцільно розглянути окремо. Так, при дії лише позитивного зворотного зв'язку за струмом з боку А1 по мірі збільшення моменту статичного навантаження АД і відповідного збільшення струму статора на вхід суматора Σ_2

надходить додатковий сигнал u_i , що збільшує сигнал u_u . Отже, в міру збільшення струму статора збільшується і вихідна напруга ПЧ. При цьому його вихідна частота, яка визначається сигналом u_f , залишається постійною, підвищення напруги на обмотках статора АД сприяє компенсації падіння напруги на повному їх опорі і, в результаті, збільшенню потоку намагнічування АД.

Ступінь компенсації визначається коефіцієнтом посилення k_1 ланцюга позитивного зворотного зв'язку по струму. Очевидно, чим більше k_1 , тим більше буде потік при цьому ж абсолютному ковзанні. Межа збільшення k_1 визначається умовами стійкості замкненої системи керування та допустимими значеннями потоку намагнічування і напруги живлення АД.

У міру зниження частоти живлення повний опір ланцюга намагнічування а, отже, падіння напруги в статорі АД зменшуються. Тому для стабілізації і обмеження потоку намагнічування в замкненій за повним струмом системі, ступінь компенсації падіння напруги, тобто коефіцієнт k_1 , треба зменшувати в бік зниження частоти вихідної напруги ПЧ [9].

Регулювання за допомогою перетворювача частоти дозволяє плавно регулювати частоту обертання електродвигуна дуттьового вентилятора і підтримувати тиск в пневмосистемі при різних витратах повітря, що перекачується. При малих витратах повітря двигун дуттьового вентилятора обертається з малою швидкістю необхідною тільки для підтримки номінального тиску, і не витрачає зайвої енергії. При збільшенні витрати повітря перетворювач збільшує частоту обертання електродвигуна, підвищуючи продуктивність дуттьового вентилятора при збереженні заданого тиску.

Для захисту перетворювача частоти і двигуна від перевантажень за струмом використовується режим струмового відсічення за допомогою суматора $\Sigma 3$. Вихідний сигнал АЗ $u_{\text{відс}}$ може впливати як на зменшення вихідної напруги ПЧ (вузол $\Sigma 2$), так і одночасно на зменшення частоти живлення АД (вузол $\Sigma 1$) [9].

Канал негативного зворотного зв'язку за тиском містить у собі датчик тиску, вузол $\Sigma 5$ підсумовування напруг керування тиском (швидкістю АД) u_k й зворотного негативного зв'язку за тиском $u_{\text{зз}}$, регулятор тиску РТ, блок БО обмеження його вихідної напруги $u_{\text{РТ}}$, а також вузол $\Sigma 4$ підсумовування напруги $u_{\text{РТ}}$ і результуючої напруги з виходу суматора $\Sigma 1$.

У міру збільшення навантаження на валу АД за рахунок зменшення швидкості АД й, отже, сигналу $u_{\text{РТ}}$ збільшується сигнал неузгодженості $\delta = u_k - u_{\text{зз}} = p_0 - p$. Тут p_0 – заданий тиск, що відповідає вихідному сигналу керування u_k ; p – реальний тиск. При $\delta \neq 0$ сигнал $u_{\text{РТ}}$ на виході регулятора тиску, підсумовуючись із сигналом u_k (при $I_1 < I_{\text{max}}$), за рахунок інтегральної передатної функції РТ забезпечує збільшення сигналу керування u_f перетворювачем частоти. Одночасно із зміною частоти за рахунок функціонального перетворювача струму ФП змінюється у порівнянні з початковою напругою і вихідна напруга перетворювача. При цьому тиск в системі відновлюється до заданого значення p_0 , тобто забезпечується сталість тиску.

На вхід системи подаються сигнали завдання тиску і сигнал реального тиску, який виходить з датчика тиску, встановленого в ланцюзі зворотного зв'язку. Відхилення між реальним і заданим значеннями тиску перетворюється ПД-регулятором в сигнал завдання частоти для перетворювача. Під впливом сигналу завдання перетворювач змінює частоту обертання і електродвигуна вентилятора і прагне привести різницю між заданим і реальними значеннями до нуля. Отже, тиск у системі підтримується рівним заданому і не залежить від витрати.

3.1.2 Вибір елементів системи керування

3.1.2.1 В якості перетворювача частоти в роботі обрано VLT HVAC Drive FC 102 250 кВт фірми-виробника Danfoss. Загальний вигляд перетворювача наведено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Загальний вигляд перетворювача частоти FC 102

Перетворювачі частоти VLT HVAC Drive FC 102 є економічними перетворювачами і застосовуються для підвищення якості керування роботою електродвигунів, а також зниження витрати електроенергії. Перетворювачі прості в експлуатації і програмуванні. Функції оптимізовані і стандартизовані для керування електричними двигунами. Приводи визначають і оптимізують параметри роботи двигунів, а також забезпечують захист від перевантажень.

Перетворювачі використовуються в системах вентиляції та кондиціонування будівель та житлових приміщень; керуванні спіральними, осьовими, відцентрованими компресорами; у системах централізованого теплопостачання [10].

VLT HVAC Drive FC 102 повністю відповідає всім вимогам сучасного виробництва та представляє електронний контролер електродвигунів, який:

- регулює швидкість двигуна відповідно до сигналів зворотного зв'язку системи або відповідно до команд зовнішніх контролерів, які подаються дистанційно. Система силового привода складається з перетворювача частоти, двигуна та обладнання, що приводиться в рух двигуном;
- відслідковує параметри системи та стан двигуна;
- може використовуватися для захисту двигуна.

Основні функціональні можливості FC 102 [10]:

- плавний пуск і зупинка двигуна, в тому числі відкладений запуск і пуск під навантаженням по S-образній характеристиці розгону;
- компенсація навантаження і ковзання;
- вольт-частотний або векторний алгоритми керування;
- автоматична адаптація двигуна без обертання;
- автоматична оптимізація енергоспоживання, яка забезпечує найвищий рівень енергоефективності;
- повна функціональна і апаратна діагностика і захист роботи;
- вбудований мережевий дросель і дросель в ланці постійного струму;
- вбудований ПІ-регулятор для керування в замкненому контурі (підтримання тиску, температури, рівня води і т.д.);
- вбудований ПЛК для вирішення складних завдань керування і позиціонування привода;
- можливість динамічного гальмування, в тому числі із застосуванням гальмівних резисторів;
- гнучка структура керування з можливістю одночасного керування по фізичних входах і по інтерфейсу RS-485, що забезпечує зручну інтеграцію в сучасні системи керування та диспетчеризації;
- проста настройка з використанням локальної панелі оператора. Швидкі меню і готові конфігурації під типові завдання.

Спеціальні функції для керування вентиляторами:

- зниження вартості системи кондиціонування повітря за рахунок вбудованого логічного контролера та автоматично настроюваних 4-ох ПІД-регуляторів;
- розширення можливостей центральної системи керування (всі входи/виходи перетворювача можуть бути використані як дистанційні входи/виходи загальної системи керування);
- програмовані функції (робота у вихідні та робочі дні, багатозонний контроль тиску, баланс потоку між повітрям, що надходить, та повітрям на виході);

- контроль обриву ременя;
- режим пожежогасіння;
- наддув сходових клітин;
- можна встановлювати максимальну кількість циклів пуск/зупинка в межах заданого проміжку часу;
- швидкий пуск (HVAC Drive відкриває перепускний клапан для швидкого запуску без навантаження).

Основні технічні дані перетворювача частоти FC 102 250 кВт наведено в таблиці 3.1 [10].

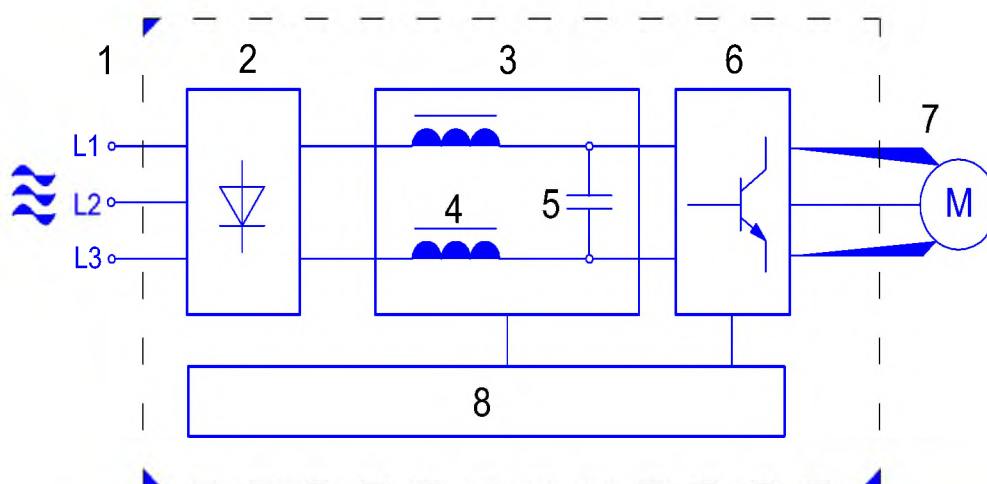
Таблиця 3.1 – Технічні характеристики VLT HVAC Drive FC 102 250 кВт

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	3×200-240 В ± 10 %, 3×380-480 В ± 10 %, 3×525-600 В ± 10 %
Частота мережі, Гц	50/60
Керування	векторне або скалярне
Вихідна напруга, В	0-100 % від вхідної номінальної напруги
Вихідна частота, Гц	0-1000 Гц
Час розгону/гальмування, с	0,01-3600
Вихідний струм I_n ($I_{\max}$), А	480 (528)
Габарити В×Ш×Г, мм	1588×420×373
Вага, кг	151

Програмне забезпечення МСТ 10 – ідеальне для введення в експлуатацію та обслуговування привода, враховуючи напрямляюче програмування каскадного контролера, таймера реального часу, простого логічного контролера, і профілактичного техобслуговування.

При нормальних умовах експлуатації і профілях навантаження пристрій FC-102 не потребує техобслуговування протягом усього розрахункового терміну служби.

На рисунку 3.4 представлено блок-схему внутрішніх компонентів пристрою FC-102.



- 1 – вхід електроживлення; 2 – випрямляч; 3 – шина постійного струму;
 4 – конденсаторна батарея; 6 – інвертор; 7 – вихідний сигнал на двигун;
 8 – керуюча схема

Рисунок 3.4 – Блок-схема внутрішніх компонентів пристрою FC-102

Захист: від короткого замикання, замикання на землю, підвищеної напруги, заклинювання двигуна, перевантаження двигуна.

3.1.2.2 Датчики тиску «Сафір» призначені для безперервного вимірювання абсолютного, надмірного тиску, розрідження, тиску-розрідження, різниці тисків, гідростатичного тиску рідких і газоподібних середовищ та перетворення виміряних значень в уніфікований електричний сигнал постійного струму.

Датчики можуть застосовуватися в системах автоматичного контролю, регулювання та керування технологічними процесами, а також при обліку, в тому числі комерційному, рідини та газу.

На рисунку 3.5 представлено зовнішній вигляд датчика тиску Сафір-М 7xxx.



Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд датчика тиску Сафір-М 7xxx

Датчик «Сафір» має наступні основні характеристики [11]:

- вибухозахист: іскробезпечне коло 0ExiaIICT5X; сертифікація іскробезпеки за АTEX – II 1G Ex ia IIC T5 / T4 Ga; вибухонепроникна оболонка 1ExsdIIBT5;
- основна похибка (% від верхньої межі вимірювань): $\pm 0,05 \%$; $\pm 0,1 \%$; $\pm 0,15 \%$; $\pm 0,25 \%$; $\pm 0,5 \%$ (низький тиск).
- вихідний сигнал: 0-5 мА; 4-20 мА; HART 7.0.
- переналаштування 1:40.

Пристрої оснащені захистом від перевантажень та короткого замикання. Струм короткого замикання після спрацьовування захисту не більше 0,1 мА. У випадку спрацьовування захисту, пристрій автоматично відновлює свої характеристики через 3-4 секунди після зняття перевантаження або усунення короткого замикання. Також оснащені індикатором робочого та аварійного стану.

3.1.3 Розробка схеми підключення перетворювача частоти

Система автоматичного керування тягодуттьовими механізмами котла отримує сигнали зі штатної автоматики безпеки котла на пуск або зупинку. При пуску котла у регламентований час проводиться вентиляція топки котла, після чого видається сигнал на готовність до розпалювання.

Застосування регульованого асинхронного електропривода для керування дуттьовим вентилятором дозволяє забезпечити:

- плавний пуск електродвигуна, відсутність механічних навантажень на двигун і кидків струму в мережі;
- ефективне використання споживаної дуттьовим вентилятором потужності у всьому діапазоні регулювання;
- забезпечення коефіцієнта потужності електродвигуна дуттьового вентилятора на значенні, близькому до 1;
- зниження рівня шуму при пуску і роботі;
- забезпечення автономної та безпечної роботи.

Схема підключення перетворювача частоти призначена для повного відображення взаємозв'язків пристроїв з урахуванням принципів її дії і послідовності роботи. На схемі підключення електричні елементи зображують за допомогою умовних позначень, а також вказують лінії зв'язків між ними, блоками та модулями. Перелік елементів, їх найменування та кількість відображено у таблиці 3.2.

Схема підключення перетворювача частоти зображена на рисунку 3.6.

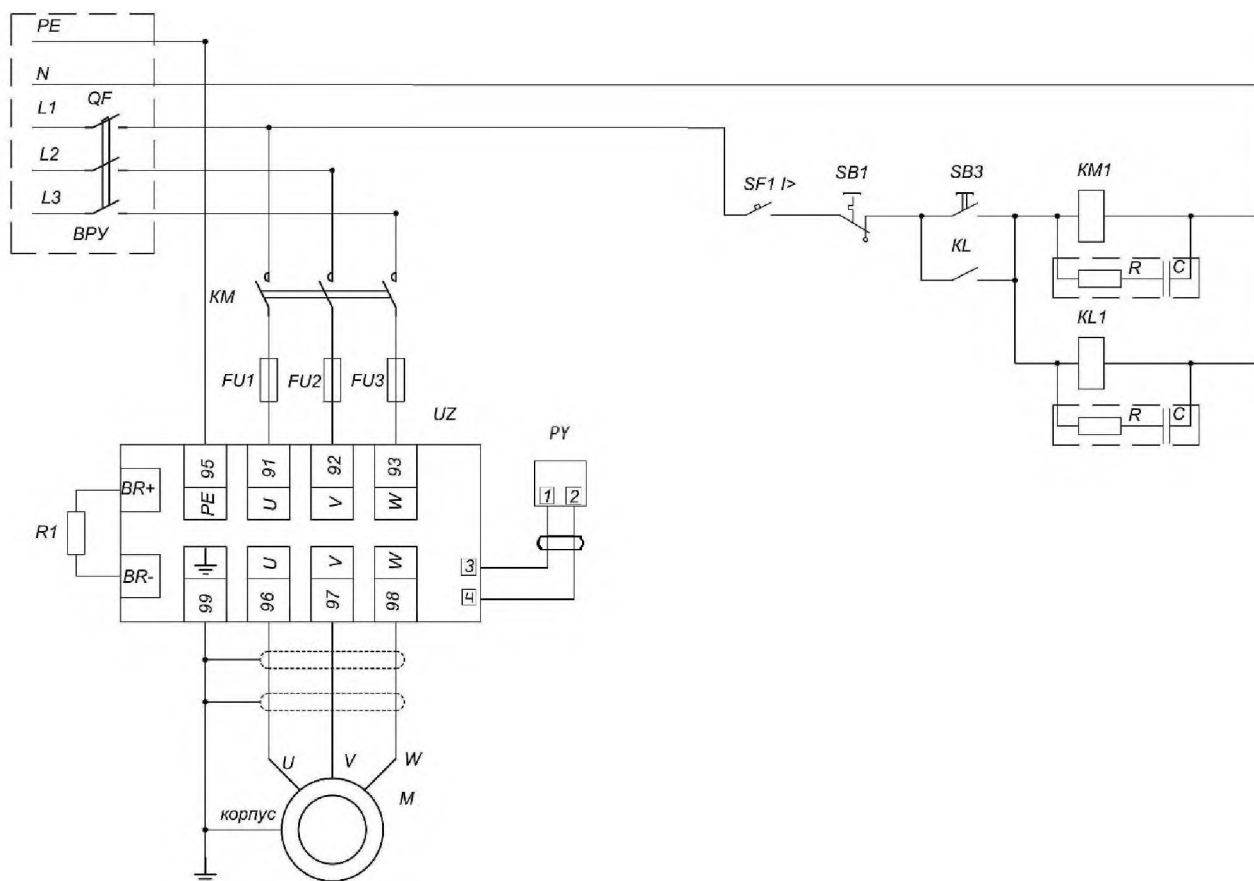


Рисунок 3.6 – Схема підключення перетворювача частоти

Таблиця 3.2 – Перелік елементів схеми підключення

Позначка позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
QF	Автоматичний вимикач ІЕК ВА88-40 630А	1	
KM	Магнітний контактор 11В25000220	1	
FU1-FU3	Запобіжники плавкі ПН2-600 315А- 630А	3	
UZ	Перетворювач частоти VLT HVAC Drive FC 102	1	
М	Асинхронний двигун (АД) «AIP355MB8»	1	

Закінчення таблиці 3.2

Позначка позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
PY	Датчик тиску «Сафір»	1	
R1	Резистор 330RG	1	
SF1	Вимикач автоматичний А-3144 У3 (400А-600А)	1	
SB1	Кнопка зелена ІЕК LAY5-BL31 1з «ПУСК»	1	
SB3	Кнопка червона ІЕК LAY5-BL41 1р «СТОП»	1	
KM1	Магнітний пускач ПМА-4100	1	
KL 1.1	Проміжне реле РП-158	1	
KL	Обмотка реле	1	
R	Резистор К47	2	
C	Конденсатори 33рKL	2	
1-2	Аналоговий вхід	2	
3-4	Аналоговий вихід	2	

3.2 Математичний опис об'єкта керування та елементів системи керування

3.2.1 Математичний опис елементів системи керування

3.2.1.1 Навантаження відцентрових і осьових вентиляторів, дуттьових вентиляторів та інших механізмів вентиляторного типу називається вентиляторним навантаженням. Статичний момент в подібних механізмах залежить від швидкості обертання робочого колеса в другій ступені. Для виведення залежності моменту опору на валу двигуна від його швидкості обертання необхідно мати математичні вирази характеристики дуттьового вентилятора і характеристики трубопроводу.

Основними параметрами вентилятора є продуктивність (подача) і повний тиск (натиск). Продуктивністю Q називається об'ємна кількість газу, що протікає в одиницю часу через вентилятор. За повний тиск H вентилятора приймається різниця абсолютних повних тисків потоку при виході з вентилятора і перед входом в нього при певній щільності газу.

Вентилятор і пневматична мережа – інерційні ланки, які можуть бути представлені аперіодичною ланкою першого порядку

$$W_{\text{вен}}(p) = \frac{k_{\text{вен}}}{T_{\text{вен}}p+1}, \quad (3.1)$$

де $k_{\text{вен}}$ – коефіцієнт передачі вентилятора, Па/(рад/с)²;

$T_{\text{вен}}$ – стала часу вентилятора, с.

Коефіцієнт передачі вентилятора $k_{\text{вен}}$, Па/(рад/с)²

$$k_{\text{вен}} = \sqrt{\frac{H_{\text{н}}}{\omega_{\text{н}}^2}}, \quad (3.2)$$

де $H_{\text{н}}$ – номінальний напір, $H_{\text{н}}=0,36$ м ($p_{\text{н}}=3520$ Па);

$\omega_{\text{н}}$ – номінальна кутова швидкість, рад/с.

Значення $T_{\text{вен}}=0,001$ с, тому, при синтезі системи настільки малою сталою часу допустимо знехтувати і вважати вентилятор безінерційною ланкою

$$W_{\text{вен}}(p) = k_{\text{вен}}.$$

Структурна схема вентилятора буде мати вигляд, який представлено на рисунку 3.7.

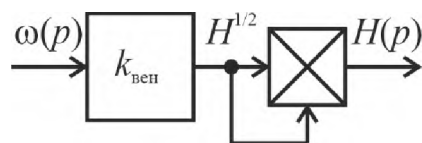


Рисунок 3.7 – Структурна схема вентилятора

3.2.1.2 Оскільки при стабілізації тиску система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації, можливе використання лінійної моделі асинхронного двигуна (рисунок 3.8) [9].

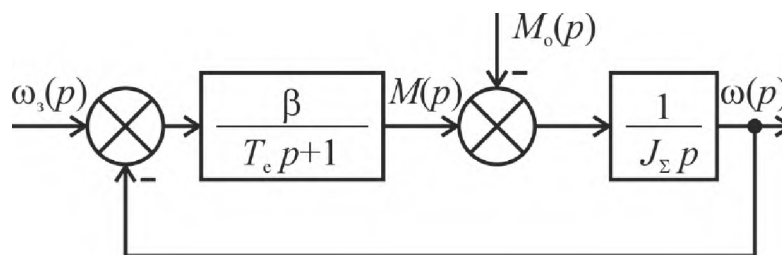


Рисунок 3.8 – Структурна схема лінеаризованої моделі асинхронного двигуна

На рисунку 3.8 прийняті наступні позначення: $\omega_3(p)$, $\omega(p)$ – задана та дійсна кутові швидкості обертання валу асинхронного двигуна, рад/с; β – модуль статичної жорсткості (жорсткість лінійної ділянки механічної характеристики асинхронного двигуна), Н·м·с; T_e – електромагнітна стала часу, с; $M(p)$, $M_o(p)$ – механічний момент двигуна і момент опору відповідно, Н·м; J_Σ – сумарний момент інерції, який приведено до валу двигуна, кг·м².

Передавальна функція лінеаризованої моделі асинхронного двигуна $W_{\text{дв}}(p)$ буде мати вигляд

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{\frac{\beta}{J_\Sigma p(T_e p + 1)}}{1 + \frac{\beta}{J_\Sigma p(T_e p + 1)}} = \frac{\beta}{J_\Sigma T_e p^2 + J_\Sigma p + \beta} = \frac{1}{T_M T_e p^2 + T_M p + 1}, \quad (3.3)$$

де T_M – електромеханічна стала часу, с.

3.2.1.3 Перетворювач частоти являє собою нелінійний дискретний динамічний об'єкт з обмеженою керованістю. Однак можна говорити, що специфіка перетворювача, як нелінійного об'єкта суттєво не позначається на роботі системи. Частота зрізу контуру регулювання в якому він знаходиться, значно нижче частот, суттєвих для динаміки самого перетворювача, при цьому час перехідних процесів у системі помітно перевищує період дискретизації системи. Найчастіше, перетворювач частоти при розрахунках систем керування електроприводів представляють у вигляді аперіодичної ланки з передавальною функцією виду

$$W_{\text{ПЧ}}(p) = \frac{k_{\text{ПЧ}}}{T_{\text{ПЧ}}p + 1}, \quad (3.4)$$

де $k_{\text{ПЧ}}$ – коефіцієнт передачі перетворювача частоти, 1/В·с;

$T_{\text{ПЧ}}$ – стала часу перетворювача частоти, $T_{\text{ПЧ}}=0,01$ с.

3.2.1.4 На базі математичного опису елементів функціональної схеми системи керування електропривода дуттьового вентилятора (рисунок 3.2) складено структурну схему системи (рисунок 3.9). Система являє собою одноконтурну систему керування, з одним зовнішнім контуром – контуром тиску. На рисунку прийняті наступні позначення: $U_{\text{ЗТ}}(p)$ – напруга на виході задатчика тиску, В; $W_{\text{РТ}}(p)$ – передавальна функція регулятора тиску; $U_{\text{РТ}}(p)$ – напруга на виході регулятора тиску, В; $U_{\text{ДТ}}(p)$ – напруга на виході датчика тиску, В; $k_{\text{ДТ}}$ – коефіцієнт передачі датчика тиску, В/м.

3.2.1.5 Розрахунок параметрів елементів структурної схеми

Номінальна швидкість холостого ходу, ω_0 , рад/с,

$$\omega_0 = \frac{2\pi f_{1H}}{p_H}, \quad (3.5)$$

де f_{1H} – номінальна частота напруги мережі, $f_{1H}=50$ Гц;

p_H – число пар полюсів обмотки статора двигуна, $p_H=4$.

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{4} = 78,54 \text{ рад/с.}$$

Кутова швидкість електромагнітного поля АД при його номінальній частоті напруги живлення $\omega_{0\text{ел}}=314$ рад/с,

Номінальна швидкість двигуна, ω_H , рад/с,

$$\omega_H = \frac{2\pi n_H}{60}, \quad (3.6)$$

$$\omega_H = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 740}{60} = 77,49 \text{ рад/с.}$$

Номінальне ковзання двигуна s_H

$$s_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0}, \quad (3.7)$$

$$s_H = \frac{78,54 - 77,49}{78,54} = 0,013.$$

Критичне ковзання s_K

$$s_K = s_H(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (3.8)$$

$$s_K = 0,013 \cdot (2 + \sqrt{2^2 - 1}) = 0,05.$$

Електромагнітна стала часу двигуна T_e , с,

$$T_e = \frac{1}{\omega_{0ел} S_K}, \quad (3.9)$$

$$T_e = \frac{1}{314 \cdot 0,05} = 0,064.$$

Модуль статичної жорсткості β , Н·м·с,

$$\beta = \frac{2M_K}{\omega_{0ел} S_K}, \quad (3.10)$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 5162}{314 \cdot 0,05} = 660,379 \text{ Н·м·с}.$$

Сумарний момент інерції J_Σ , кг·м²,

$$J_\Sigma = J_{дв} + J_{вен}, \quad (3.11)$$

де $J_{вен}$ – момент інерції вентилятора, $J_{вен}=49,2$ кг·м².

$$J_\Sigma = 12,3 + 49,2 = 61,5 \text{ кг·м}^2.$$

Електромеханічна стала часу двигуна T_m , с,

$$T_m = \frac{J_\Sigma}{\beta}, \quad (3.12)$$

$$T_m = \frac{61,5}{660,379} = 0,093.$$

На основі результатів розрахунків параметрів асинхронного двигуна, передавальна функція двигуна (3.3) буде мати вигляд

$$W_{\text{дв}}(p) = \frac{1}{0,006p^2 + 0,093p + 1}.$$

Коефіцієнт передачі перетворювача частоти $k_{\text{ПЧ}}$, 1/В·с,

$$k_{\text{ПЧ}} = \frac{2\pi f_{1\text{н}}}{p_n I_{3\text{Т}}}, \quad (3.13)$$

де $I_{3\text{Т}}$ – струм завдання, $I_{3\text{Т}}=0,016$ А.

$$k_{\text{ПЧ}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 50}{4 \cdot 0,016} = 4909 \text{ 1/В} \cdot \text{с}.$$

Звідси передавальна функція перетворювача частоти (3.2) буде мати вигляд

$$W_{\text{ПЧ}}(p) = \frac{4909}{0,01p + 1}.$$

Важливою частиною системи регулювання напору є датчик тиску. Датчик вибираємо по номінальному напору дугтьового вентилятора.

Коефіцієнт передачі датчика тиску $k_{\text{ДТ}}$, А/м,

$$k_{\text{ДТ}} = \frac{I_{\text{ДТ}}}{H_{\text{н}}}. \quad (3.14)$$

Приймемо для подальших розрахунків $I_{\text{ДТ}}=I_{3\text{Т}}=0,016$ А тоді

$$k_{\text{ДТ}} = \frac{0,016}{0,36} = 0,044 \text{ А/м}.$$

Навантаження вентиляторів та інших механізмів вентиляторного типу називається вентиляторним навантаженням. Статичний момент в подібних механізмах залежить від швидкості обертання робочого колеса в другій степені, тому в даній роботі момент опору двигуна приймаємо

$$M_o(p)=k_H\omega^2(p), \quad (3.15)$$

де k_H – коефіцієнт навантаження, Н·м·с².

Коефіцієнт навантаження k_H , Н·м·с², з виразу (3.15) розраховуємо за формулою

$$k_H = \frac{M_H}{\omega_H^2},$$

$$k_H = \frac{2581}{77,45^2} = 0,43 \text{ Н·м·с}^2.$$

Коефіцієнт $k_{в\text{ен}}$, Па/(рад/с)², з виразу (3.2)

$$k_{в\text{ен}} = \sqrt{\frac{0,36}{77,49^2}} = 0,0077 \text{ Па/(рад/с)}^2.$$

При оптимізації контурів регулювання систем керування електроприводів широке поширення набули два методи стандартного налаштування: оптимум по модулю і симетричний оптимум. В процесі синтезу регулятора надаються певні динамічні властивості, тобто здійснюється вибір його параметрів [12].

Передавальна функція скоригованої розімкненої системи

$$W_{\text{роз}}(p)=W_{\text{РТ}}(p)W_{\text{НЧ}}(p),$$

де $W_{\text{НЧ}}(p)$ – передавальна функція незмінної частини системи.

$$W_{\text{НЧ}}(p) = W_{\text{ПЧ}}(p)W_{\text{дв}}(p)W_{\text{в\text{ен}}}(p)k_{\text{ДТ}} = \frac{k_{\text{ПЧ}}k_{\text{в\text{ен}}}H_Hk_{\text{ДТ}}}{(T_{\text{ПЧ}}p+1)(T_MT_cp^2+T_Mp+1)}.$$

При налаштуванні на оптимум по модулю передавальна функція розімкненого контуру тиску буде мати вигляд

$$W_{\text{роз}}(p) = \frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)},$$

де T_{μ} – мала некомпенсована стала часу, $T_{\mu}=T_{\text{ПЧ}}=0,01$ с.

Тоді передавальна функція регулятора буде мати вигляд

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{W_{\text{роз}}(p)}{W_{\text{НЧ}}(p)},$$

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{\frac{1}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)}}{\frac{k_{\text{ПЧ}}k_{\text{всн}}H_{\text{н}}k_{\text{ДТ}}}{(T_{\text{ПЧ}}p+1)(T_{\text{м}}T_{\text{е}}p^2+T_{\text{м}}p+1)}} = \frac{(T_{\text{ПЧ}}p+1)(T_{\text{м}}T_{\text{е}}p^2+T_{\text{м}}p+1)}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)k_{\text{ПЧ}}k_{\text{нас}}H_{\text{н}}k_{\text{ДТ}}}.$$

Стала часу перетворювача частоти мала і становить 0,01 с, тому можна вважати, що $T_{\mu}=T_{\text{ПЧ}}$. Тоді передавальна функція регулятора буде мати вигляд

$$W_{\text{РТ}}(p) = \frac{(T_{\text{м}}T_{\text{е}}p^2+T_{\text{м}}p+1)}{2T_{\mu}pk_{\text{ПЧ}}k_{\text{нас}}H_{\text{н}}k_{\text{ДТ}}}. \quad (3.16)$$

Очевидно, що передавальна функція (3.16) є передавальною функцією пропорційно-інтегрально-диференціального регулятора (ПІД-регулятора) з відповідними коефіцієнтами передачі пропорційної $k_{\text{п}}$, інтегральної $k_{\text{і}}$ і диференціальної $k_{\text{д}}$ складових регулятора. Схему на рисунку 3.9 може бути змінено

Коефіцієнт передачі пропорційної частини регулятора k_p

$$k_p = \frac{T_M}{2T_\mu k_{ПЧ} k_{всн} H_H k_{ДТ}},$$

$$k_p = \frac{0,093}{2 \cdot 0,01 \cdot 4909 \cdot 0,0077 \cdot 0,36 \cdot 0,044} = 7,66.$$

Коефіцієнт передачі інтегральної частини регулятора k_i

$$k_i = \frac{1}{2T_\mu k_{ПЧ} k_{всн} H_H k_{ДТ}},$$

$$k_i = \frac{1}{2 \cdot 0,01 \cdot 4909 \cdot 0,0077 \cdot 0,36 \cdot 0,044} = 82,22.$$

Коефіцієнт передачі диференціальної частини регулятора k_d

$$k_d = \frac{T_M T_e}{2T_\mu k_{ПЧ} k_{всн} H_H k_{ДТ}},$$

$$k_d = \frac{0,093 \cdot 0,064}{2 \cdot 0,01 \cdot 4909 \cdot 0,0077 \cdot 0,36 \cdot 0,044} = 0,49.$$

Підставивши розраховані значення параметрів налаштування регулятора тиску, отримаємо

$$W_{PT}(p) = 7,66 + \frac{82,22}{p} + 0,49p.$$

Регулятор тиску реалізуємо за допомогою програмного універсального ПІД-регулятора, вбудованого в перетворювач частоти. Перевіркою результатів синтезу регулятора буде моделювання системи в пакеті MATLAB.

3.3 Дослідження динаміки системи керування

3.3.1 Побудова моделі в MATLAB

Для побудови перехідних характеристик системи керування електропривода дуттьового вентилятора котельного агрегату скористаємося математичним моделюванням системи електропривода в програмі Simulink пакету MATLAB.

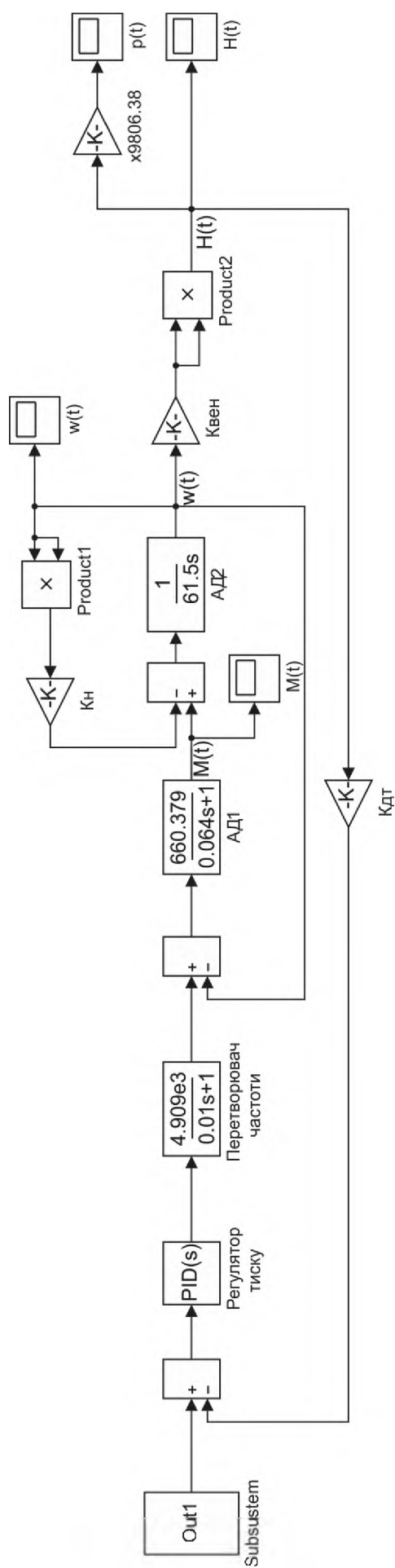
Перш ніж приступити до розрахунків визначимо мету моделювання. Головною метою моделювання є прогнозування динамічних характеристик реальної системи керування електропривода дуттьового вентилятора котельного агрегату при властивих їй зовнішніх впливах.

Виходячи з поставленого завдання, модель системи, може враховувати або не враховувати деякі особливості динаміки реальної системи. Наприклад, будемо розглядати дуттьовий вентилятор як об'єкт регулювання напору повітря (без урахування зовнішніх впливів). Вибір вхідних впливів і початкових умов залежить від призначення проектованої системи і найбільш характерних режимів її роботи.

Специфіка моделювання системи керування полягає в тому, що будь-яка система автоматичного керування складається з динамічних ланок, що взаємодіють одна з одною. До неї можуть бути додані зовнішні впливи, що змінюються в часі. Отже, може бути розрахований динамічний режим будь-якої системи автоматичного керування, якщо є засоби, що моделюють динаміку безперервних і імпульсних, лінійних і нелінійних динамічних ланок, а також довільних вхідних впливів.

Так як параметри пневматичної системи залежать від конкретної конфігурації у даному випадку це квадратична залежність сигналу і зазвичай забезпечують плавне наростання, то цей випадок є найбільш важким.

У відповідності зі структурною схемою системи (див. рисунок 3.9) складена модель в програмі Simulink. Схему моделі наведена на рисунку 3.10.



Коефіцієнти, які необхідні для моделювання системи, розраховані в п. 3.2 та зведені в таблицю 3.3.

Таблиця 3.3 – Параметри елементів структурної схеми

Коефіцієнт	$k_{пч}$, 1/А·с	$T_{пч}$, с	β , Н·м·с	T_e , с	J_{Σ} , кг·м ²	k_n , Н·м·с ²	$k_{всн}$	$k_{дт}$, В/м
Значення	4909	0,01	660,379	0,064	61,5	0,43	0,0077	0,044

При різкій зміні завдання в системі відбувається форсування сигналу керування і, як наслідок, стрибки струму і моменту. Для того щоб уникнути цих неприємних явищ, використовують задатчики інтенсивності. Задатчик інтенсивності в розрахунковій схемі призначений для формування сигналу завдання тиску $I_{зт}$, що лінійно змінюється в часі з певним темпом.

На рисунку 3.10 регулятор тиску представлений стандартним блоком PID(s) з бібліотеки Simulink, який дозволяє реалізувати регулятор (PID, PI, PD, P або I) в моделі з безперервним часом. Коефіцієнти Proportional (P), Integral (I) та Derivative (D) у вікні налаштування параметрів регулятора відповідають коефіцієнтам передачі пропорційної k_p , інтегральної k_i і диференціальної k_d складових регулятора, які було розраховано в п. 3.2.

3.3.2 Для оцінки якісних показників роботи САК в динамічних режимах аналізується її реакція на ступінчасту одиничну дію. При цьому перехідна характеристика повинна знаходитися в межах заданої області, параметри якої визначають вимоги технологічного агрегату.

До загальноприйнятих показників якості, які використовують для характеристики перехідного процесу, відносять відносне перерегулювання, час встановлення, час наростання, час максимуму та усталену похибку [13].

У результаті моделювання були отримані перехідні характеристик швидкості, моменту двигуна та тиску. Отримані в результаті моделювання графіки перехідних процесів представлені на рисунках 3.11-3.13.

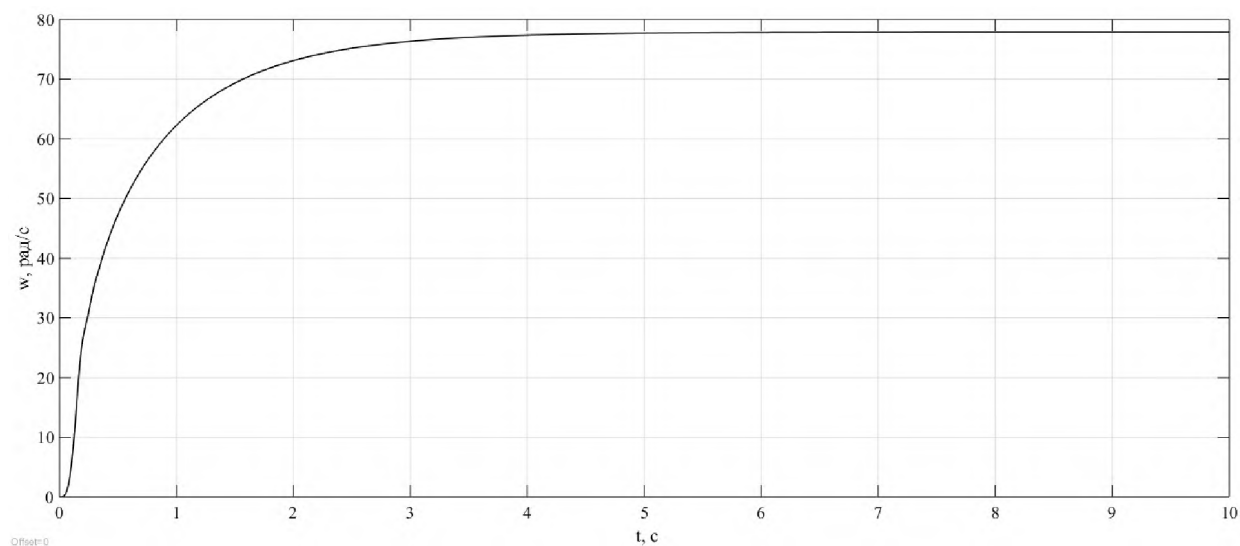


Рисунок 3.11 – Перехідна характеристика кутової швидкості

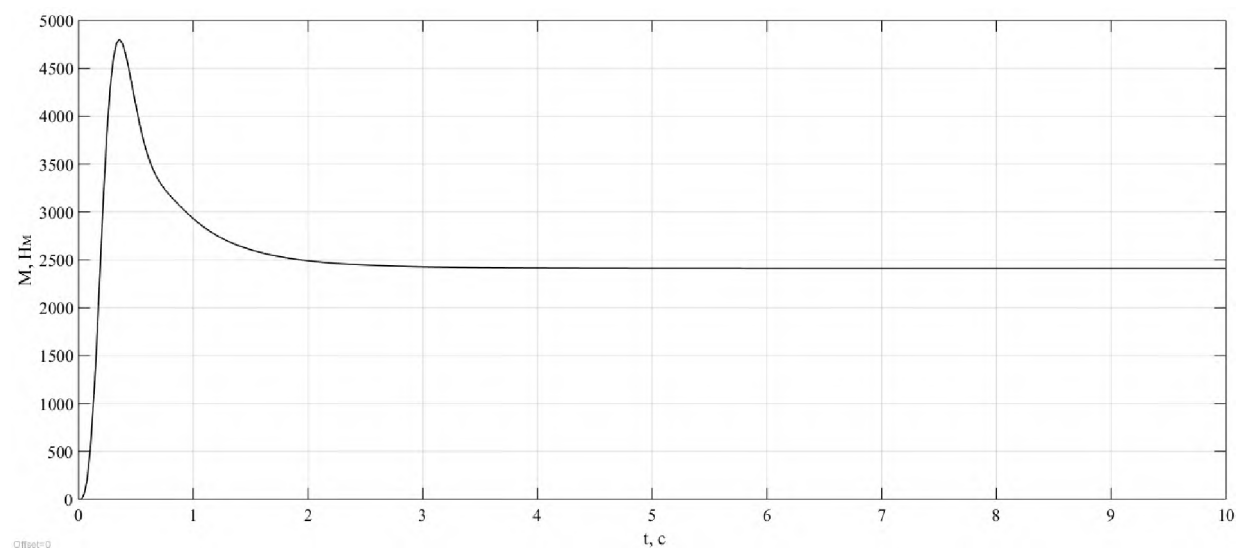


Рисунок 3.12 – Перехідна характеристика моменту

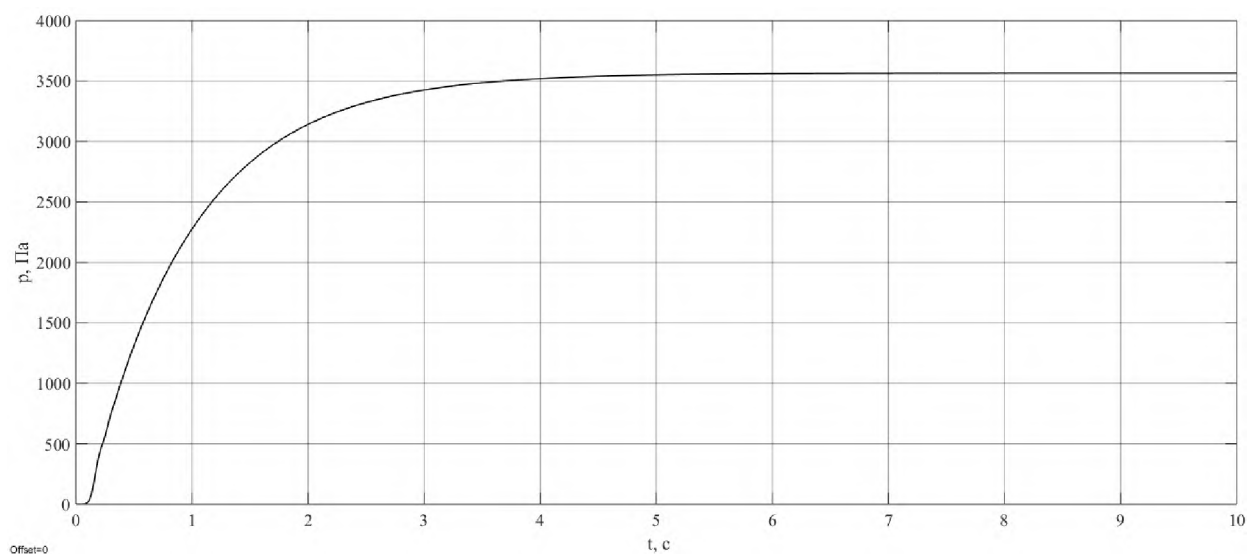


Рисунок 3.13 – Перехідна характеристика тиску

Проаналізуємо реакцію системи керування на ступінчастий сигнал (рисунок 3.13). Отримані показники якості зведені в таблицю 3.4.

Таблиця 3.4 – Показники якості керування

Параметр	Відносне перерегулювання σ , %	Час встановлення t_p , с	Час наростання t_n , с	Усталена похибка $\epsilon_{уст}$
Значення	0	3,15	1,8	0

3.4 Висновки до розділу 3

3.4.1 Побудовано функціональну схему автоматизованого електропривода дуттьового вентилятора. В роботі використано одноконтурну систему керування із зворотним зв'язком за тиском. Застосування перетворювача частоти дозволяє підтримувати тиск в каналі при різних витратах повітря, забезпечує ефективне використання асинхронного електродвигуна та його плавний пуск.

При обґрунтуванні вибору елементів електропривода дуттьового вентилятора в якості перетворювача частоти обрано VLT HVAC Drive FC 102 250 кВт, який володіє всіма необхідними функціями, які оптимізовано для керування електричними двигунами в системах вентиляції та кондиціонування, у системах централізованого теплопостачання. Розроблено схему підключення перетворювача частоти.

3.4.2 Розроблено динамічну модель частотно-регульованого асинхронного електропривода дуттьового вентилятора та виконано розрахунок параметрів її елементів. При вирішенні завдання синтезу регулятора тиску, з умов забезпечення бажаного/необхідного перехідного процесу, в роботі виконано налаштування на модульний (технічний) оптимум. Реалізація замкненого контуру регулювання тиску здійснюється за допомогою програмного ПІД-регулятора перетворювача частоти.

3.4.3 Проведено моделювання та аналіз якості керування асинхронного електропривода дуттьового вентилятора в Simulink. Отримано перехідні характеристики. Аналіз результатів дослідження якості показав, що електропривод має динамічні показники, які цілком задовольняють вимогам.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Реальні виробничі умови характеризуються, як правило, наявністю певних небезпечних і шкідливих виробничих чинників.

Небезпечним виробничим чинником називається такий виробничий чинник, дія якого на працюючого в певних умовах призводить до травми або до іншого раптового різкого погіршення здоров'я, натомість шкідливим виробничим чинником називається чинник, дія якого на працюючого в певних умовах приводить до захворювання або зниження працездатності.

Між небезпечним і шкідливим чинниками не можливо провести чіткої межі. Один і той же чинник може привести до нещасного випадку.

До небезпечних і шкідливих виробничих чинників, характерних для теплових установок з автоматизованим приводом, відносяться:

- небезпека ураження електричним струмом;
- небезпека виникнення пожежі;
- дія шуму на організм людини.

Парові та водогрійні котли характеризуються паропродуктивністю, тиском і температурою гарячої води.

Наявність високого тиску і температури води та пари у водогрійних і парових котлах створюють підвищену небезпеку при їх експлуатації.

Основними причинами аварій при експлуатації парових та водогрійних котлів можуть бути:

- порушення водного режиму котла;
- перевищення робочого тиску;
- дефекти проектування котла;
- дефекти, допущені при виготовленні та ремонті котла;
- зниження механічної міцності котла в процесі експлуатації.

Порушення водного режиму може призвести до відкладання на внутрішніх стінках котла теплонепровідного накипу з різних солей ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$; $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$; CaSO_4 та ін.). Вода і димові гази можуть викликати корозію, яка знижує механічну цінність котла.

Для забезпечення безаварійної роботи котлів їх обладнують необхідною апаратурою і контрольно-вимірювальними приладами: манометрами, запобіжними клапанами, водопоказуючими пристроями, запірними і спускними пристроями, а окремі конструкції – автоматичною апаратурою контролю.

Відповідно до вказаних Правил посудини встановлюються в місцях, де не буває скупчення людей, а також в окремих будівлях. При встановленні посудин необхідно передбачити можливість їх вільного огляду, ремонту й очищення.

Не допускається встановлення посудин, що реєструються в державних органах нагляду, в житлових, громадських і побутових приміщеннях, а також у приміщеннях і будівлях, що до них прилягають.

Всі елементи котлів, трубопроводів, пароперегрівачів і допоміжного устаткування з температурою стінки зовнішньої поверхні вище $430\text{ }^{\circ}\text{C}$ в доступних для обслуговування місцях повинні бути покриті тепловою ізоляцією.

Водогрійні і парові котли з температурою води не вище $115\text{ }^{\circ}\text{C}$, потужністю від 0,1 до 3 МВт і парові котли з тиском пари не вище 0,07 МПа не реєструються в органах державного нагляду, а вимоги безпеки до їх експлуатації регламентовані галузевими стандартами.

Парові або водогрійні котли дозволяється встановлювати в окремих будівлях або приміщеннях висотою 3,9 м, що прилягають до виробничих, але відокремлених від них протипожежною стіною з межею вогнестійкості 2,5 год. Відстань від стіни до фронту котлів, що опалюються твердим паливом має становити не менше 3 м, а при опалюванні рідким паливом і газом – 2 м.

Ширина проходів між котлами або між котлом і стіною приміщення допускається не менше 1 м, а між частинами будівлі, що виступають – не менше як 0,8 м.

У приміщенні котельні площею до 200 м^2 обладнують одні входні двері, а площею понад 200 м^2 – двоє дверей, які мають відкриватися назовні і бути

розміщеними з протилежних боків приміщення. Приміщення котельні обладнують тамбурами для затримування холодного повітря.

Температура повітря у приміщенні котельні взимку має бути не нижче $+12^{\circ}\text{C}$, а влітку не більше, ніж на 5°C нижче температури зовнішнього повітря в затінку.

Двері із котельні у службові та інші приміщення мають відкриватися у бік котельні і мати пристрої для самозачинення.

Для безпеки і зручності обслуговування котлів біля них влаштовують постійні драбини і площадки з вогнестійких матеріалів, які обладнують металевими перилами.

Приміщення котельні обладнують вентиляцією, умивальником, душем з роздягальною й туалетом, а також протипожежним інвентарем. На видному місці у приміщенні вивішують правила безпеки, спеціальні інструкції з обслуговування газового обладнання і схему газопроводів.

Норма освітлення пультів управління має бути не менше 50 лк, напруга струму не більше 36 В, якщо висота над підлогою ламп освітлення нижче 2,5 м. В приміщенні котельні має бути аварійне освітлення. Освітлення оглядових і ремонтних робіт всередині котла виконують переносними електричними лампами напругою до 12 В.

Рівень підлоги котельної має бути не нижчим від рівня території, прилеглої до приміщення котельні.

Котельня повинна бути обладнана засобами пожежогасіння відповідно до норм на протипожежне устаткування і ремонт, установлені Правилами пожежної безпеки України (ДНАОП 0,01-1.01.95).

Водогрійні котли потужністю понад 400 кВт (4 МВт) обладнують не менше як двома запобіжними клапанами.

Всі елементи котлів, трубопроводів, пароперегрівачів і допоміжного устаткування з температурою стінки зовнішньої поверхні вище 430°C в доступних для обслуговування місцях повинні бути покриті тепловою ізоляцією.

Кожен котел підлягає технічному огляду інспектором органів Держпромгрі-нагляду до пуску в роботу, періодично в процесі експлуатації, а в необхідних випадках – позачерговому огляду. Технічний огляд котлів складається із зовнішнього і внутрішнього оглядів (один раз на 4 роки) та гідравлічного випробування (один раз на 8 років) згідно паспорту на посудину.

Надійність роботи посудин під тиском значною мірою, залежить від кваліфікації обслуговуючого персоналу, який має точно виконувати вимоги наведені у правилах їх технічної експлуатації.

До обслуговування котлів-пароутворювачів і водонагрівачів допускаються особи, не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, навчання за програмою підготовки операторів котельних установок, склали іспит і мають посвідчення кваліфікаційної комісії на право обслуговування цих установок. Повторна пере-вірка знань проводиться один раз на рік.

Адміністрація підприємства на підставі Типової інструкції для персоналу котельної має розробити і затвердити, у встановленому порядку, виробничу інструкцію для персоналу котельні.

Відповідальним за безпечну експлуатацію котлів є завідувач котельні або особа з числа ІТП.

Обслуговуючий персонал котельної установки має вести змінний журнал для записування результатів перевірки котлів і котельного обладнання, водовказівних приладів, сигналізаторів граничних рівнів води, манометрів, запобіжних клапанів, засобів автоматики.

Змінна передача котлів має оформлятися у цьому журналі підписами відповідальних за зміну. Записи у журналі має щоденно перевіряти особа, яка відповідає за безпечну експлуатацію котлів, розписуючись у журналі.

Обслуговуючий персонал несе відповідальність за порушення інструкцій, які стосуються правил безпеки при експлуатації посудин під тиском і правил внутрішнього трудового розпорядку.

Причини вибухів посудин бувають різноманітними, але узагальнено їх можна звести до: недостатньої кваліфікації персоналу, порушення ними правил

технічної експлуатації, промислової безпеки і виробничих інструкцій, низької трудової і технологічної дисципліни, поганої якості монтажних, випробувальних і ремонтних робіт.

Автоматичне управління котельним агрегатом вводиться для регулювання теплових процесів і підтримування заданих кількісних і якісних показників виробничого процесу.

Для виробітку пари необхідна відповідна кількість палива, води і повітря, які мають відповідати об'єму виробництва і змінюватися разом зі зміною споживання пари.

Автоматика безпеки дозволяє автоматично змінювати режим подачі палива, повітря та води. При зміні режиму роботи або несправній роботі окремих пристроїв котла автоматично відключається подача газу до пальників.

Основними елементами безпеки є запобіжні клапани. Вони автоматично спрацьовують, якщо тиск у котлі підвищується понад допустимий рівень.

За принципом дії запобіжні клапани бувають важільно-вантажні, важільно-пружинні і пружинні; за конструктивним виконанням – відкритими або закритими. Вони встановлюються на котлі спарено або поодинокі, забезпечуються пристроями, які захищають персонал від опіків при їх спрацюванні, а також сигнальними пристроями для подачі сигналу при виході пари.

Автоматикою передбачені спеціальні пускові прилади для безпечного розпалювання котлів, які допускають подачу газу в газопровід тільки за наявності у топці полум'я перед робочими пальниками, а крани перед пальниками і на скиді в атмосферу, закриті.

Автоматика безпеки здійснює контроль за процесом горіння і нагрівання води у котлі. У випадку порушення нормальної роботи котла і його параметрів, контролюючі прилади діють на запобіжну систему і відключають подачу газу до котла.

Перед пуском котельних агрегатів у роботу, прилади автоматики мають бути перевіреними і відрегульованими відповідно до заданого режиму роботи.

До основних причин ураження електричним струмом відносяться такі, як випадковий дотик або наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою; поява напруги на конструктивних металевих частинах устаткування (корпусі, кожусі) в результаті пошкодження ізоляції і інших причин; поява напруги на відключених струмоведучих частинах, на яких працюють люди, в результаті помилкового включення установки; виникнення крокової напруги на поверхні землі в результаті замикання дроту на землю.

Небезпека ураження, оцінюється величиною струму, що проходить через тіло людини, або ж напругою дотику, залежить від ряду чинників: схеми включення людини в ланцюг, напруга мережі, схеми самого ланцюга, режиму її нейтралі, ступені ізоляції струмоведучих частин від землі, також від величини місткості струмоведучих частин.

Проходячи через організм електричний струм проводить термічну, електролітичну і біологічну дію.

Термічна дія виражається в опіках окремих ділянок тіла нагріві кровоносних судин.

Електролітична дія виражається в розкладанні крові і інших органічних рідин, що викликає значні порушення їх фізико-хімічних складів.

Біологічна дія є особливим специфічним процесом, властивим лише живій тканині. Воно виражається в подразненні і збудженні живих тканин організму, що супроводжується мимовільними судорожними скороченнями м'язів, у тому числі м'язів серця і легенів. В результаті можуть виникнути різні порушення в організмі, у тому числі порушення і навіть повне припинення діяльності органів дихання і кровообігу. Подразнююча дія струму на тканини організму може бути прямою, коли струм проходить безпосередньо по цих тканинах і рефлекторним, тобто через центральну нервову систему, коли шлях струму лежить зовні цих тканин.

Результат дії електричного струму залежить від ряду чинників, у тому числі від електричного опору тіла людини, величини і тривалості протікання через нього струму, роду і частоти струму і індивідуальних властивостей людини.

Величина струму, що протікає через тіло людини, є головним чинником, від якого залежить результат ураження: чим більше струм, тим небезпечніша його дія. Людина починає відчувати протікаючий через неї струм промислової частоти (50 Гц) щодо малого значення: 0,6-1,5 мА. Цей струм називається пороговим відчутним струмом.

Тривалість протікання струму через тіло людини впливає на результат ураження унаслідок того, що з часом різко зростає струм за рахунок зменшення опору тіла і нагромаджуються негативні наслідки дії струму на організм.

Основними заходами захисту від ураження струмом для установки з асинхронним приводом є забезпечення недоступності струмоведучих частин, що знаходяться під напругою, для випадкового дотику; захисне розділення мережі; усунення небезпеки ураження при появі напруги на корпусі, кожусі і інших частинах установки, що досягається застосуванням подвійної ізоляції, вирівнюванням потенціалу, захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням; вживання захисних засобів; організація безпечної експлуатації установки. В процесі експлуатації установки з асинхронним приводом нерідко виникають умови, при яких навіть найдосконаліше їх виконання не забезпечує безпеки працюючого і потрібне застосування спеціальних захисних засобів - переносних приладів і пристосувань.

До захисних засобів відносяться:

- ізолюючі захисні засоби: діелектричні гумові рукавички, інструмент з ізольованими рукоятками, струмошукачі, діелектричні галоші, килимки, ізолюючі підставки;
- огорожуючі захисні засоби: щити, галоші, килимки, ізолюючі накладки, тимчасові захисні заземлення;
- оберігаючі захисні засоби: захисні окуляри спеціальні рукавиці.

Пожежі на промислових підприємствах представляють велику небезпеку для працюючих і можуть заподіяти величезний матеріальний збиток. Пожежа від установки з асинхронним приводом може відбутися в результаті прояву теплової і іскрової дії електричного струму в умовах, сприятливих для запалювання горючих матеріалів електроустановки, до яких відносяться тверді і рідкі ізоляційні матеріали.

Основними причинами пожеж в електроустановках є перевантаження дротів, коротке замикання, великі перехідні опори в електричних мережах, електрична дуга або іскріння. До заходів попередження виникнення пожеж відносяться вживання плавких запобіжників, автоматичних вимикачів, що здійснюють захисне відключення, а також правильний монтаж мереж, машин і апаратів відповідно до вимог правил пристрою електроустановок.

Шум вчиняє на людину шкідливу фізіологічну дію, яка полягає не тільки в пошкодженні слухового апарату, але і в негативному впливі на нервову систему, викликаючи уповільнення психологічних реакцій. Під впливом виробничого шуму виникають різні професійні захворювання: порушується ритм серцевої діяльності, змінюється кров'яний тиск, погіршується діяльність органів дихання. Спостерігається також ослаблення пам'яті, уваги, гостроти зору. Таким чином, шум може бути причиною травматизму.

Під впливом шуму значно знижується продуктивність праці, причому знижується тим більше, чим складніше трудовий процес і чим більше в ньому елементів розумової праці.

Для зниження шуму в установці з асинхронним приводом можуть бути застосовані наступні методи:

- зменшення шуму в джерелі шляхом вдосконалення технологічних процесів і устаткування;
- зміна спрямованості випромінювання;
- раціональне планування цеху;
- акустична обробка приміщення при вживанні звукопоглинальних матеріалів;
- зменшення шуму на шляху його розповсюдження, використовуючи звукоізоляційні матеріали.

Сьогодні можна з упевненістю сказати, що використання регульованого електропривода для керування тягодуттьовими механізмами виявляється набагато ефективніше застосовуваних раніше направляючих апаратів. Причому позитивний ефект досягається як з енергетичної, так і з технологічної точки зору.

В першу чергу, поліпшуються енергетичні показники роботи котельні. Зменшується споживання електричної енергії. Найчастіше економічну ефективність зводять саме до цього фактору, але застосування регульованого електропривода має і інші переваги.

При автоматичному піддержанні параметрів поряд з економією електроенергії забезпечується оптимальний режим роботи котла. Це економить паливо, мінімізує шкідливі викиди в атмосферу і покращує екологічну обстановку.

Тягодуттєві механізми володіють великим моментом інерції, тому при їх прямих пусках виникають значні механічні та електричні перевантаження. Все це призводить до передчасного виходу їх з ладу, і як наслідок, зупинки котла.

Застосування регульованого електропривода дозволяє здійснювати запуск даних механізмів без перевантажень, плавно, відповідно до заданого часу розгону, при чому ударні струми відсутні. За рахунок цього збільшуються терміни служби електродвигунів, приводних механізмів, комутаційної апаратури. Також знижуються витрати на технічну експлуатацію обладнання.

4.2 Розрахунок захисного заземлення [14]

Захисне заземлення – це навмисне електричне з'єднання з землею або її еквівалентом металевих частин, що не є струмоведучими, але можуть виявитися під напругою. Принцип дії захисного заземлення – зниження до безпечних значень напруги дотику та кроку, зумовлених замиканням на корпус.

Захисна дія заземлення електроустановки полягає у тому, що струм замикання перерозподіляється між заземлюючим пристроєм і людиною обернено пропорційно їхнім електричним опорам.

Захисне заземлення складається із: заземлювача і заземлюючого провідника.

Заземлюючий провідник – це провідник, який з'єднує частини конструкції, що заземлюються, із заземлювачем.

Заземлювач – це сукупність з'єднаних між собою провідників, що знаходяться в стиканні з землею або її еквівалентом.

Корпуси електричних машин, джерел живлення, електричні апарати і інші частини, виконані зі струмопровідних матеріалів, можуть опинитися під напругою при замиканні їх струмоведучих частин на корпус. Якщо корпус при цьому не має контакту із землею, дотик до нього так само небезпечний, як і дотик до фази. Якщо ж корпус заземлений, він опиниться під напругою

$$U_3 = I_3 R_3,$$

де I_3 – струм замикання на землю, А;

R_3 – опір, що заземляє, Ом.

Людина, що торкається цього корпусу, потрапляє під напругу зіткнення

$$U_{\text{пр}} = U_3 \alpha_1 \alpha_2,$$

де α_1 – коефіцієнт напруги зіткнення;

α_2 – коефіцієнт, що враховує падіння напруги в додатковому опорі кола людини.

Струм через людину рівний

$$I = I_3 \frac{R_3}{R} \alpha_1 \alpha_2,$$

звідки видно, що чим менше R_3 і α_1 , тим менше струм проходить через людину, що стоїть на землі і стосується корпусу устаткування, яке знаходиться під напругою.

Розрахунок захисного заземлення має на меті визначити основні параметри заземлення: число, розміри і розміщення одиночних заземлювачів, при яких напруга дотику і кроку в період замикання фази на заземлений корпус не перевищує допустимих значень. При цьому розрахунок проводиться звично для випадків розміщення заземлювача в однорідній землі (спосіб коефіцієнтів використання).

Найбільший допустимий опір що заземляє пристрої для електричних установок напругою до 1000 В у будь-який час року не повинно перевищувати 4 Ом.

Визначимо розрахунковий питомий опір ґрунту з урахуванням кліматичного коефіцієнта:

$$\rho_{\text{розр}} = \rho_{\text{пит}} \varphi,$$

де $\rho_{\text{пит}}$ – питомий опір для ґрунту (для глини $\rho_{\text{пит}}=60$ Ом);

φ – кліматичний коефіцієнт ($\varphi=1,4$).

$$\rho_{\text{розр}} = 60 \cdot 1,4 = 84 \text{ Ом.}$$

Опір одиночного вертикального трубчастого заземлення визначається за формулою

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left[\ln \frac{2L}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4H+L}{4H-L} \right],$$

де H, L, d – розміри заземлювача.

Як вертикальні електроди використаємо сталеві труби з розмірами (рисунок 4.1): $d=0,03$ м; $L=3,5$ м; $H_0=0,8$ м; $H=2,3$ м.

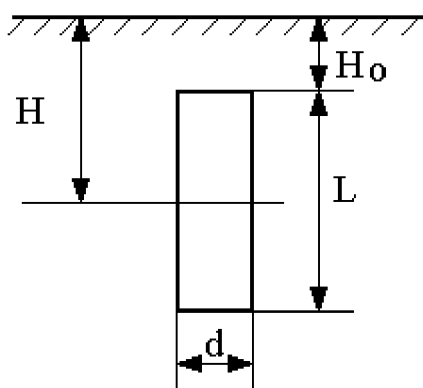


Рисунок 4.1 – Трубчастий заземлювач в ґрунті

Опір розтікання струму одиночного стрижня

$$R_{\text{ст.од}} = \frac{84}{2\pi \cdot 2,5} \left[\ln \frac{2 \cdot 2,5}{0,03} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 2,3 + 2,5}{4 \cdot 2,3 - 2,5} \right] = 28,7 \text{ Ом.}$$

Попередня кількість вертикальних заземлювачів

$$n' = \frac{R_{\text{ст.од}}}{R_{\text{доп}}} = \frac{28,7}{4} \approx 8 \text{ стрижнів.}$$

Вибираємо відстань між вертикальними заземлювачами $a=2,5$ м.

Приймаємо коефіцієнт використання вертикальних стрижнів $\eta_{\text{ст}}=0,6$. З урахуванням цього уточнене число вертикальних заземлювачів

$$n = \frac{n'}{\eta_{\text{ст}}} = \frac{8}{0,6} \approx 14 \text{ стрижнів.}$$

Визначаємо довжину смуги, що сполучає вертикальні заземлювачі

$$L = 1,05an = 1,05 \cdot 2,5 \cdot 14 = 36,8 \text{ м.}$$

Опір розтікання струму смуги магістралі (рисунок 4.2)

$$R_n = 0,159 \frac{\rho}{L} \ln \frac{2L^2}{bh},$$

де b – ширина смуги, $b=0,03$ м;

h – глибина смуги заземлення, $h=0,85$ м;

L – довжина смуги, м;

ρ – питомий опір, Ом·м.

$$R_n = 0,159 \cdot \frac{84}{36,8} \ln \frac{2 \cdot 36,8^2}{0,03 \cdot 0,85} = 4,2 \text{ Ом.}$$

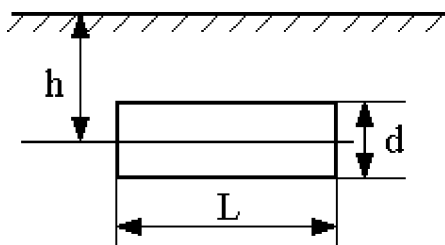


Рисунок 4.2 – Смуга в ґрунті

Опір розтікання струму всього пристрою

$$R_3 = \frac{1}{\frac{\eta_2}{R_n} + \frac{n\eta_1}{R_{ст.од}}},$$

$$R_3 = \frac{1}{\frac{\eta_2}{R_n} + \frac{n \cdot \eta_1}{R_{ст.од}}} = \frac{1}{\frac{0,48}{4,2} + 14 \cdot \frac{0,6}{28,7}} = 2,45 \text{ Ом}$$

де η_1 – коефіцієнт використання заземлювача, $\eta_1=0,6$;

η_2 – коефіцієнт використання сполучної смуги, $\eta_2=0,48$.

$$R_3 = \frac{1}{\frac{0,48}{4,2} + \frac{14 \cdot 0,6}{28,7}} = 2,45 \text{ Ом.}$$

Оскільки одержаний опір $R_3=2,45$ Ом менше допустимого $R_{\text{доп}}=4$ Ом, то заземлювач забезпечує належне заземлення корпусу електродвигуна.

4.3 Правила безпечної експлуатації електроустановок

Для забезпечення безпечної, безаварійної і високопродуктивної роботи електроустановок необхідно разом з досконалим виконанням їх і оснащенням захисними засобами так організувати їх експлуатацію, щоб виключити всяку можливість помилок з боку обслуговуючого персоналу.

Основою організації безпечної експлуатації електроустановок є висока дисципліна обслуговуючого персоналу, який зобов'язаний строго дотримуватися організаційних і технічних заходів, а також прийомів і черговості виконання експлуатаційних операцій відповідно до Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів і Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів.

Особи, які обслуговують електроустановки, не повинні мати каліцтв і хвороб, що заважають виробничій діяльності. Для персоналу, що бере безпосередню участь в оперативних перемиканнях і ремонтних роботах в електроустановках, стан здоров'я встановлюється медичним оглядом при прийнятті на роботу, а потім періодично один раз в два роки.

Кожний працівник до призначення його на самостійну роботу по обслуговуванню електроустановок або при переведенні на іншу ділянку роботи зобов'язаний пройти навчання безпечним методам роботи на робочому місці і перевірку знань. Одночасно він зобов'язаний вивчити правила техніки безпеки, правила надання першої допомоги. Кожний працівник до призначення його на самостійну роботу по обслуговуванню електроустановок або при переведенні на іншу ділянку роботи зобов'язаний пройти навчання безпечним методам роботи на робочому місці і перевірку в об'ємі, відповідному вимогам його робочого місця. Перевірка знань Правил техніки безпеки проводиться кваліфікованою комісією після навчання на робочому місці.

Всі роботи по експлуатації діючої установки проводяться при обов'язковому дотриманні наступних умов:

- на роботу повинен бути видано дозвіл уповноваженою на це особою;
- робота повинна проводитися, як правило, не менше ніж двома особами;
- повинні бути виконані організаційні і технологічні заходи, що забезпечують безпеку персоналу.

4.4 Висновки до розділу 4

4.4.1 Проведено аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які впливають на людину при експлуатації та обслуговуванні котельних агрегатів. Розглянуто допустимі концентрації шкідливих речовин в повітрі на робочому місці, норми температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні.

4.4.2 Виконано розрахунок захисного заземлення.

4.4.3 Розглянуто правила безпечної експлуатації електроустановок.

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі представлені результати, які узагальнюють теоретичні дослідження системи керування електропривода дуттьового вентилятора котельного агрегату.

1. Досліджено склад та принцип роботи котельного агрегату з природною циркуляцією, який працює на вугільному пилу. Виявлено, що дуттьові вентилятори є важливою складовою комплексу обладнання повітряного тракту котельного агрегату і забезпечують забір атмосферного повітря, його транспортування і подачу в топку та в інші технологічні системи.

Проведено аналіз призначення та технічних характеристик дуттьового вентилятора. Виявлено, що в котельному агрегаті використано дуттьовий вентилятор ВД-15,5. Регулювання продуктивності і повного тиску вентилятора здійснюється осьовим напрямним апаратом. При такому способі регулювання зміна характеристики машини супроводжується додатковими втратами в ній і зниженням її ККД. Крім того, недоліком напрямних апаратів є мала глибина регулювання.

2. Проведено аналіз складу та характеристик електрообладнання котельного агрегату. Встановлено, що на сучасних станціях керування котельними агрегатами повністю автоматизовано. Оскільки зупинка димососа або вентилятора призводить до припинення роботи котла, для приводів тягодуттьових пристроїв передбачається самозапуск. До того ж аналіз показав, що система керування електродвигуна дуттьового вентилятора морально та фізично застаріла та потребує модернізації.

3. Побудовано функціональну схему частотно-регульованого асинхронного електропривода із контурами струму та тиску. Регулювання за допомогою перетворювача частоти дозволяє плавно змінювати частоту обертання електродвигуна дуттьового вентилятора і підтримувати тиск в пневмосистемі при різних витратах повітря.

В якості перетворювача частоти в роботі обрано VLT HVAC Drive FC 102, який призначений для роботи в системах вентиляції. Перетворювач відповідає всім вимогам сучасного виробництва та має функціональні можливості, які оптимізовані для підвищення якості керування роботою електродвигунів, а також зниження витрати електроенергії.

4. При побудові моделі електропривода використано лінійну модель асинхронного електродвигуна, оскільки при стабілізації тиску система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації. При синтезі регулятора тиску в роботі виконано налаштування на технічний оптимум.

5. В роботі розглянуто динаміку системи керування електропривода в MATLAB. У результаті дослідження перехідних характеристик електропривода перевірено працездатність запропонованої системи керування та оцінено якість керування. Показано, що за умовами роботи пуск не відбувається стрибкоподібно, а досить плавно і тривало, електропривод має динамічні показники, які цілком задовольняють вимогам ($\sigma=0\%$, $t_p=3,15$ с).

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Деев, Л. В. Котельные установки и их обслуживание: практ. пособие для ПТУ / Л. В. Деев, Н. А. Балахничев. – М.: Высш. шк., 1990. – 239 с.
2. Котельные установки и парогенераторы: справочное пособие / сост. Е. А. Бойко, Т. И. Охорзина. – Красноярск: КГТУ, 2003. – 223 с.
3. Киселев, Н. А. Котельные установки: ученик для вузов / Н. А. Киселев. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1979. – 270 с.
4. Вентиляторы дутьевые одностороннего всасывания ВД-15,5 // Сайт компании «Мегаватт». – Режим доступа: <http://megavattspb.ru>
5. Другов, Л. И. Вспомогательное оборудование тепловых электростанций: учеб. пособие / Л. И. Другов, Е. А. Игнатьевский. В. Н. Сорокин. – М.: Высш. шк., 1986. – 192 с.
6. Кравчик, А. Э. Выбор и применение асинхронных двигателей / А. Э. Кравчик и другие. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 64-66 с.
7. Колесников, О. В. Основи наукових досліджень. 2-ге вид. випр. та доп. Навч. посіб. – К.: Центр учбової літератури, 2011. – 144 с.
8. Алексеев, С. Б. Частотно-регулируемый электропривод в автоматизированных системах управления технологическими процессами. Конспект лекций для магистрантов специальности 6М071800 – Электроэнергетика. – Алматы: АУЭС, 2013. – 37 с.
9. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов [Текст] / В. М. Терехов, О. И. Осипов. – М.: Академия, 2005. – 300 с.
10. VLT® HVAC Drive FC 102 // Danfoss: Engineering Tomorrow. – Режим доступа: <https://www.danfoss.com/ru-ru/products/ac-drives/ddsvlt-hvac-drive-fc-102/>
11. Датчики абсолютного давления Сафир-М 7xxx // Manometr-Kharkiv. – Режим доступа: <http://www.manometr-kharkiv.com/product/datchiki-absoljutnogo-davlenija-safir-m-7hhh/?lang=ru>

12. Башарин, А. В. Управление электроприводами: учеб. пособие для вузов / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Л.: Энергоиздат, 1982. – 392 с.
13. Дорф, Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; пер. с англ. Б.И. Копылова. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.
14. Наумова, Т. В. Безопасность жизнедеятельности: Пособие по выполнению практической работы «Расчет защитного заземления» / Т. В. Наумова. – М.: мГТУ ГА, 2010. – 20 с.

ДОДАТОК А
Мультимедійна презентація

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий
Інститут автоматики та електротехніки

Кваліфікаційна робота
на здобуття ступеня магістра
на тему:

**«Система керування електропривода дуттьового вентилятора
котельного агрегату»**

Студент магістратури:	Битко К. В.
Керівник кваліфікаційної роботи	доц. каф. автоматики, к.т.н.
магістра:	доц. Зубарев А. А.

Миколаїв 2025

Рисунок А.1 – Слайд 1 мультимедійної презентації

Мета роботи. Об'єкт і предмет дослідження

Мета роботи	Синтез системи керування електропривода дуттєвого вентилятора пилосугільного котельного агрегату.
Об'єкт дослідження	Перехідні процеси в електроприводі дуттєвого вентилятора.
Предмет дослідження	Структура та параметри регулятора електропривода дуттєвого вентилятора, які впливають на якість керування.

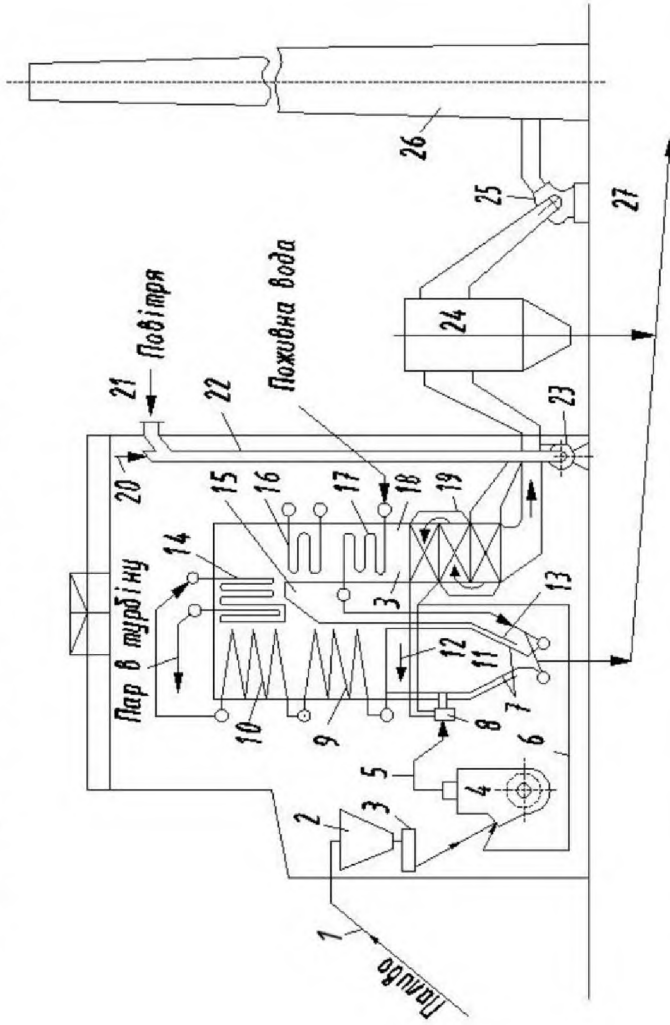
Рисунок А.2 – Слайд 2 мультимедійної презентації

Завдання дослідження

- 1 Дослідити склад та принцип роботи котельного агрегату.
Проаналізувати призначення та технічні характеристики дуттьового вентильатора.
- 2 Проаналізувати склад та характеристики електрообладнання котельного агрегату.
- 3 Побудувати функціональну схему автоматизованого електропривода дуттьового вентильатора та обґрунтувати вибір її елементів.
- 4 Скласти математичний опис об'єкта керування та елементів системи керування.
- 5 Провести моделювання автоматизованого електропривода дуттьового вентильатора в MATLAB та дослідити якість керування.

4

Принципова схема котельної установки

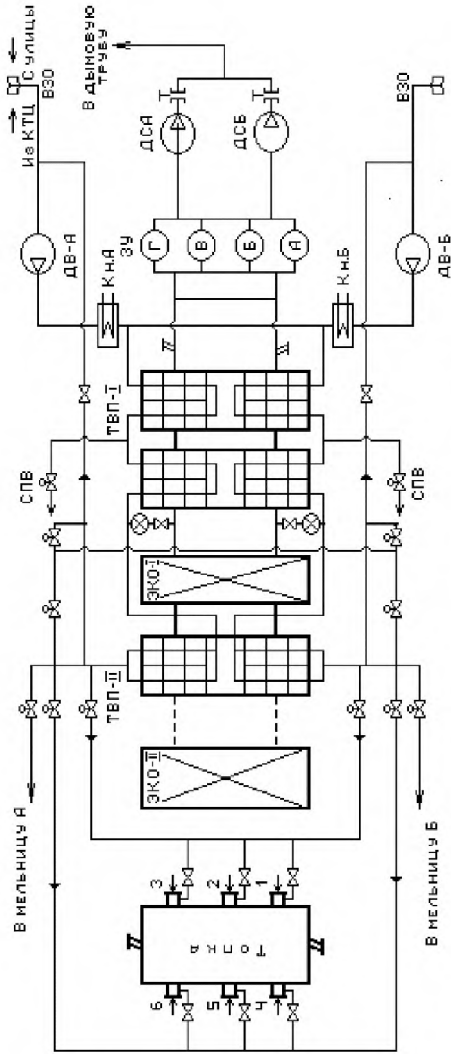


- 1 – паливо; 2 – бункер сухого вугілля; 3 – живильник; 4 – млин; 5 – гілопровід; 6 – повітрохід первинного повітря; 7, 9 – топкові екрани; 8 – палильник; 10 – ширмовий пароперегрівач; 11 – млин; 12 – топкова камера; 13 – повітрохід вторинного повітря; 14 – теплова ізоляція камери згоряння; 15 – конвективний пароперегрівач; 16 – горизонтальний газохід; 17 – проміжний пароперегрівач; 18 – економайзер; 19 – повітропідігрівач; 20 – повітрохід для збору вторинного повітря; 21 з навколишнього середовища; 22 – конвективна шахта; 23 – дуттєвий вентилятор; 24 – золоуловлювач; 25 – димосос; 26 – димова труба; 27 – канал для видалення золи та шлаку

Рисунок А.4 – Слайд 4 мультимедійної презентації

5

Принципова схема газоповітряного тракту пилувугільного котельного агрегату



ДСА, ДСВ – димососи; ДВ-А и ДВ-Б – дутьєві вентилятори;
ЗУ – золовловлювачі; ВЗО – повітрязбірні вікна; ТВП-I, II – трубчасті повітропідігрівачі, II ступеня; СПВ – слабопідігріте повітря;
ЭКО-I, II – економайзер I, II ступеня; К.А і К.Б – калорифери по ниткам А і Б

Рисунок А.5 – Слайд 5 мультимедійної презентації

Загальна характеристика дуттьового вентилятора ВД-15,5

Фото дуттьового вентилятора



Технічні характеристики

Параметр	Значення
Діаметр робочого колеса, м	1,55
Частота обертання робочого колеса, об/хв	750
Типорозмір електродвигуна	АІР355МВ8
Встановлена потужність двигуна, кВт	200
Продуктивність на всмоктуванні, м³/год	63000
Повний тиск, Па	3520
Температура переміщуваного середовища при всмоктуванні, °С	30
ККД (max), %	72
Граничне запылення переміщуваного середовища, г/м³	0,1
Гранична температура переміщуваного середовища при всмоктуванні, °С	200
Габарити заводські без електродвигуна, LxBxH, мм	2411x2725x2385
Вага без електродвигуна, кг	2400

Рисунок А.6 – Слайд 6 мультимедійної презентації

Функціональна схема автоматизованого електропривода ДУТТОВОГО ВЕНТИЛЯТОРА

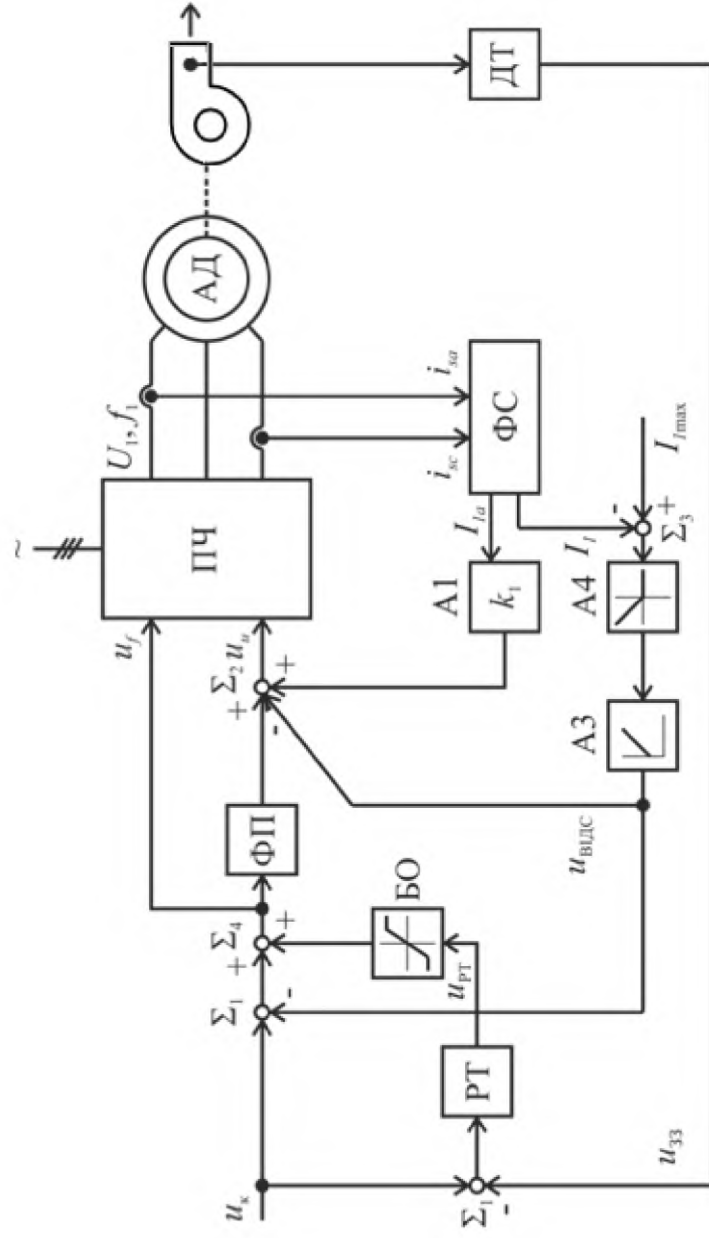
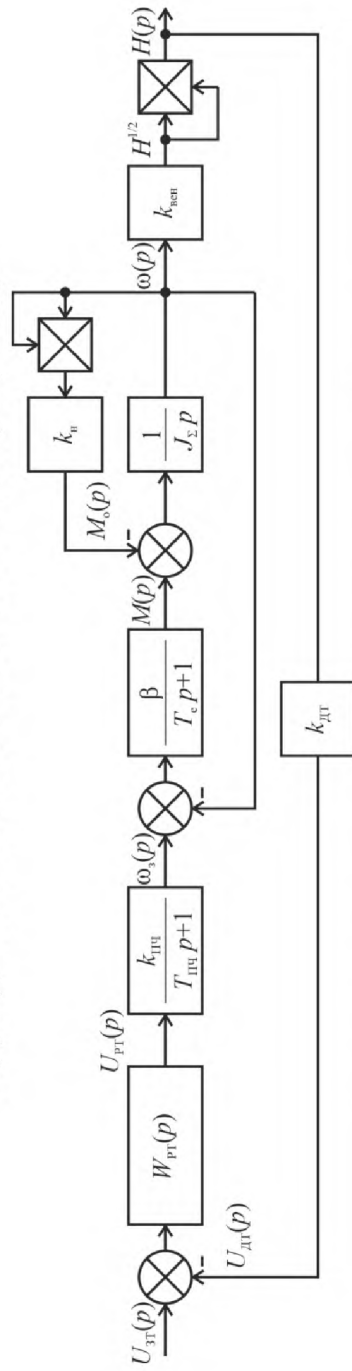


Рисунок А.7 – Слайд 7 мультимедійної презентації

8

Структурна схема автоматизованого електропривода ДУТТОВОГО ВЕНТИЛЯТОРА

Структурна схема автоматизованого електропривода



Модель автоматизованого електропривода в Simulink

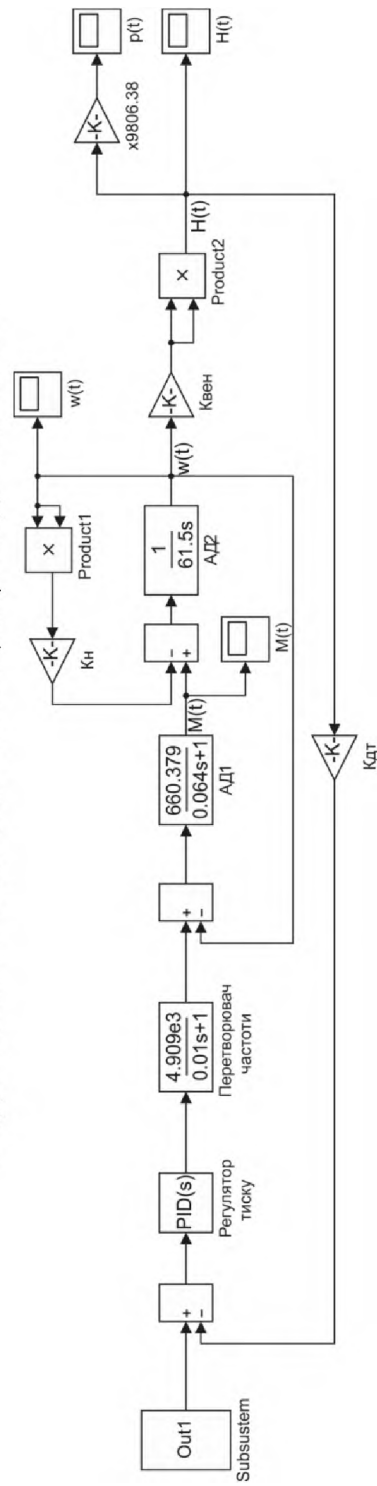
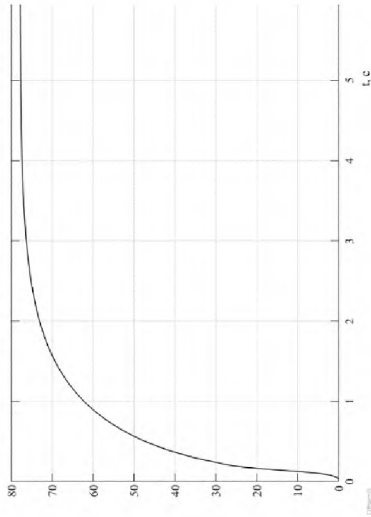


Рисунок А.8 – Слайд 8 мультимедійної презентації

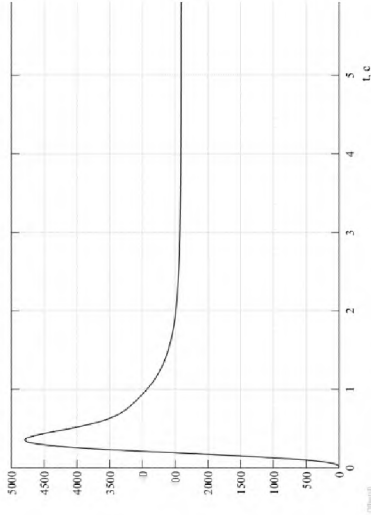
Дослідження динаміки

9

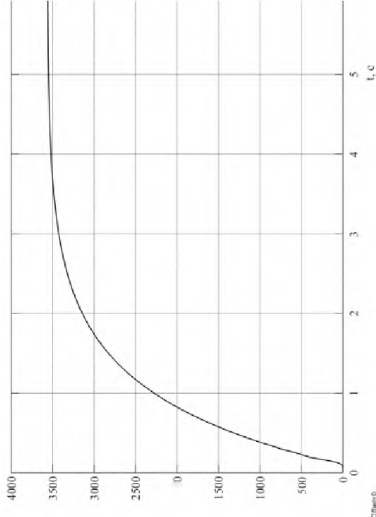
Перехідна характеристика швидкості



Перехідна характеристика моменту



Перехідна характеристика тиску



Показники якості керування

Відносне підрегулювання $\sigma, \%$	Час встановлення t_v, c	Час наростання t_n, c	Устал. підбірка $\delta_{уст}$
0	3,15	1,8	0

Рисунок А.9 – Слайд 9 мультимедійної презентації

Висновки

1 Досліджено склад та принцип роботи котельного агрегату з природною циркуляцією, який працює на вугільному пилу. Виявлено, що дуттвові вентилятори є важливою складовою комплексу обладнання повітряного тракту котельного агрегату і забезпечують забір атмосферного повітря, його транспортування і подачу в топку та в інші технологічні системи.

Проведено аналіз призначення та технічних характеристик дуттвового вентилятора. Виявлено, що в котельному агрегаті використано дуттвовий вентилятор ВД-15, 5. Регулювання продуктивності і повного тиску вентилятора здійснюється осьовим напрямним апаратом. При такому способі регулювання зміна характеристики машини супроводжується додатковими втратами в ній і зниженням її ККД. Крім того, недоліком напрямних апаратів є мала глибина регулювання.

2 Проведено аналіз складу та характеристик електрообладнання котельного агрегату. Встановлено, що на сучасних станціях керування котельними агрегатами повністю автоматизовано. Оскільки зупинка димососа або вентилятора призводить до припинення роботи котла, для приводів тягодуттвових пристроїв передбачається самозапуск. До того ж аналіз показав, що система керування електродвигуна дуттвового вентилятора морально та фізично застаріла та потребує модернізації.

Висновки

- 3 Побудовано функціональну схему частотно-регульованого асинхронного електропривода із контурами струму та тиску. Регулювання за допомогою перетворювача частоти дозволяє плавно змінювати частоту обертання електродвигуна дуттьового вентилятора і підтримувати тиск в пневмосистемі при різних витратах повітря.
В якості перетворювача частоти в роботі обрано VLT HVAC Drive FC 102, який призначений для роботи в системах вентиляції. Перетворювач відповідає всім вимогам сучасного виробництва та має функціональні можливості, які оптимізовані для підвищення якості керування роботою електродвигунів, а також зниження витрати електроенергії.
- 4 При побудові моделі електропривода використано лінійну модель асинхронного електродвигуна, оскільки при стабілізації тиску система працює в малих відхиленнях щодо робочої точки стабілізації. При синтезі регулятора тиску в роботі виконано налаштування на технічний оптимум.
- 5 В роботі розглянуто динаміку автоматизованого електропривода в MATLAB. У результаті дослідження перехідних характеристик електропривода перевірено працездатність запропонованої системи керування та оцінено якість керування. Показано, що за умовами роботи пуск не відбувається стрибкоподібно, а досить плавно і тривало, електропривод має динамічні показники, які цілком задовольняють вимогам ($\sigma=0\%$, $t_p=3,15$ с).

Дякую за увагу!