

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

“Допущено до захисту ”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЕШКОВ
“ ____ ” _____2023р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої
освіти
на тему
“Удосконалення процесу гідроочистки палива на
базі системи автоматичного керування
компресорних установок”

Виконала здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕНМ-22М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141
«Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка»

_____Миронець М.Ю.
« ____ » _____2023р.

Керівник роботи

к.т.н., доцент

_____Андрій КОТИШ
« ____ » _____2023р.

Рецензент _____

м. Кропивницький

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет Будівництва транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Плешков П.Г.

«_____» _____ 2023 р.

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

Миронець Марії Юріївни

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Удосконалення процесу гідроочистки палива на базі системи автоматичного керування компресорних установок

Improvement of the fuel hydrotreatment process based on the automatic control system of compressor units

2. Керівник роботи (проекту)

Котий Андрій Іванович, к.т.н., доцент

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

3. Строк подання студентом роботи до захисту

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Вступ; 1.Опис функціонування компресорної установки комплексу гідроочищення моторного палива; 2.Розробка системи управління компресорними установками; 3.Створення логічної моделі системи управління компресорними установками; 4.Проектування системи автоматичного керування з використанням програмного пакету rational rose; 5.Апаратна та програмна реалізація системи керування компресорною установкою; 6.Економічний розділ 7.Охорона праці; Висновки; Перелік посилань.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>07.10.23</i>	
2	<i>Опис функціонування компресорної установки комплексу гідроочищення моторного палива</i>	<i>12.10.23.</i>	
3	<i>Розробка системи управління компресорними установками</i>	<i>20.10.23.</i>	
4	<i>Створення логічної моделі системи управління компресорними установками</i>	<i>30.10.23.</i>	
5	<i>Проектування системи автоматичного керування з використанням програмного пакету rational rose</i>	<i>07.11.23.</i>	
6	<i>Апаратна та програмна реалізація системи керування компресорною установкою</i>	<i>12.11.23</i>	
7	<i>Економічний розділ</i>	<i>18.11.23</i>	
8	<i>Охорона праці</i>	<i>25.11.23</i>	
9	<i>Висновки</i>	<i>01.12.23.</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2023 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2023 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота: 112 с.; 36 рис.; 5 табл.; 12 джерел.

Миронець М.Ю. Удосконалення процесу гідроочистки палива на базі системи автоматичного керування компресорних установок. 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Енергетичний менеджмент». Центральноукраїнський національний технічний університет. Кропивницький, 2023 р.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення системи автоматичного керування компресорної установки задля удосконалення процесу гідроочистки палива

В роботі було проведено детальний аналіз компресорної установки як об'єкта автоматизації.

Розроблено макет системи управління на основі структурно-інформаційної моделі поведінки об'єкта. Проведено підбір необхідних апаратних засобів для реалізації системи та розроблено принцип функціонування керуючого середовища.

Виконано економічний аналіз ефективності створення та впровадження системи, який показав, що її впровадження вигідне та обґрунтоване.

Ключові слова: компресорна установка, система автоматичного керування, гідроочистка палива, електропривод

SUMMARY

Myronets M.Y. Improvement of the fuel hydrotreatment process based on the automatic control system of compressor units. 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics" EPP, "Energy management". Central Ukrainian National Technical University. Kropyvnytskyi, 2023.

The purpose of the qualification work is to develop a system of automatic control of the compressor unit in order to improve the fuel hydrotreating process

The work carried out a detailed analysis of the compressor unit as an object of automation.

A layout of the control system was developed based on the structural information model of the object's behavior. The selection of the necessary hardware for the implementation of the system was carried out and the principle of operation of the control environment was developed.

An economic analysis of the effectiveness of the creation and implementation of the system was performed, which showed that its implementation is profitable and justified.

Keywords: compressor unit, automatic control system, fuel hydrotreatment, electric drive

ЗМІСТ

Вступ.....	7
Розділ 1. Опис функціонування компресорної установки комплексу гідроочищення моторного палива (Л-24/6).....	9
Розділ 2. Розробка системи управління компресорними установками.....	26
2.1 Структура системи керування.....	26
2.2 Забезпечення надійності системи ПАЗ.....	29
2.3 Визначення основних завдань синтезу системи керування КУ.....	31
2.4 Тимчасові параметри керування.....	35
2.5 Особливості характеристик систем керування КУ.....	36
Розділ 3. Створення логічної моделі системи управління компресорними установками.....	46
3.1. Аналіз та розробка структурної схеми конструктивних і технологічних елементів механізму руху поршневого компресора.....	46
3.2 Розгляд віброакустичних характеристик отриманої моделі.....	51
3.3 Моделювання алгоритму керування в програмному пакеті MATHLAB.....	53
3.4 Синтез системи керування приводу компресорної установки.....	54
3.5 Реалізація коригувальних пристроїв на регуляторах.....	59
Розділ 4. Проектування системи автоматичного керування з використанням програмного пакету rational rose.....	62
4.1 Створення протоколу запису.....	62
4.2 Побудова алгоритму роботи системи.....	68
4.3 Генерація програмного коду.....	70
Розділ 5. Апаратна та програмна реалізація системи керування компресорною установкою.....	73
5.1 Апаратна реалізація керування КУ.....	73
5.2 Вибір платформи системи керування	73

5.3 Вибір мережі керування	75
5.4 Вибір структури контролера та його складу.....	77
5.5 Підсистема вводу-виводу	79
5.6 Вибір джерела живлення.....	84
5.7 Функціональний блок MICROMASTER 430.....	87
5.8 Запірна арматура системи керування.....	89
5.9 Програмна реалізація для забезпечення контролю та керування.....	90
Розділ 6. Економічний розділ.....	94
6.1 Шляхи зниження витрат за рахунок впровадження системи автоматизованої системи керування КУ.....	94
6.2 Техніко-економічні показники ефективності від впровадження нової системи автоматизації КУ.....	96
Розділ 7. Охорона праці при експлуатації компресорних установок.....	106
Висновки.....	110
Перелік посилань.....	111

ВСТУП

Компресорні машини відіграють ключову роль у багатьох сферах промисловості, таких як хімічна, нафтова, газова, машинобудівна, транспортна, металургійна, геологічна, будівельна, агропромислова сфера. Вони також використовуються у новітніх напрямках техніки і технології, таких як космічна індустрія, робототехніка, виробництво штучного палива і багато іншого. Компресор становить основу будь-якої холодильної або кріогенної установки. Від його ефективності та надійності залежить продуктивність та тривалість служби всього комплексу.

Україна та країни східної Європи експлуатують більше 500 тисяч промислових компресорів, які, разом з вентиляторами та насосами, використовують близько 20% загального обсягу виробленої електроенергії у цих країнах. Понад 1 мільйон людей зайнято виробництвом та ремонтом компресорів. Отже, підвищення технічного рівня компресорів і холодильних установок, особливо їхньої ефективності та надійності, має велике значення для національної економіки.

В Україні більшість компресорного та холодильного обладнання досить високого віку та вже вимагає заміни частин або модернізації. Тому наразі актуальним завданням є ремонт та оновлення цього обладнання, особливо у великих експлуатованих системах. Замовники часто висувують вимоги щодо зміни параметрів компресора або установки в цілому, одночасно прагнучи підвищити стандарти щодо надійності, безпеки, економічності та екологічних показників.

Компресорні установки (КУ) є неодмінною частиною багатьох промислових та громадських комплексів, включаючи хімічні, нафтопереробні, газові, автомобільні та науково-дослідні об'єкти. Їх головне завдання - постійно забезпечувати необхідними газовими сумішами з попередньо визначеними параметрами. Відмова у роботі компресорних установок може призвести до зупинки всього комплексу або, як мінімум,

його значної частини, що може завдати великої шкоди. Використання нової системи управління під час модернізації наявних станцій, спрямоване на зниження витрат на обслуговування, збільшення інтервалів міжремонтного періоду та спрощення виявлення неполадок, в результаті підвищує надійність і може призвести до значного економічного виграшу.

Компресорні установки потребують постійного контролю з боку технічного персоналу і підтримки оптимальних робочих параметрів основних компонентів. Однак, нестабільність навантаження на ці установки може скорочувати загальний час роботи та інтервали між ремонтами обладнання. Впровадження нових систем управління та виконавчих механізмів дозволило значно покращити показники надійності, можливості проведення ремонтів та економічну вигоду компресорних установок. В основному, використовувалось обладнання, яке пройшло тестування на схожих системах та продемонструвало відмінні характеристики, з удосконаленою базовою платформою модулів, мережевими можливостями та оптимізованими програмними компонентами, що забезпечують прийнятну точність вимірювань.

1. ОПИС ФУНКЦІОНУВАННЯ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ КОМПЛЕКСУ ГІДРООЧИЩЕННЯ МОТОРНОГО ПАЛИВА (Л-24/6)

Компресорна установка є важливим елементом для гідроочищення моторного палива. Використоване обладнання повинне відповідати вимогам екології та безпеки, а головне, бути обґрунтованим для цієї галузі. Система управління дозволяє контролювати компресорну установку, не перевантажуючи всю систему, а лише надаючи звіт про процес. Модульна архітектура комплексу дозволяє замінювати частини обладнання без зупинки системи.

Загальна характеристика комплексу

Установка гідроочищення Л-24/6 розроблена для вилучення сірчистих сполук із прямогонних дизельних фракцій, що містять до 2,0% сірки, газових фракцій із вмістом до 1,0% сірки, а також бензинових фракцій первинного та вторинного походження з вмістом сірки до 1,0%. Також можливий обробка сумішей первинних і вторинних дизельних фракцій у співвідношенні 1:1 з вмістом до 1,5% сірки (основна сировина) методом цієї установки.

Основні реакції каталітичного гідрування

У відсутності кисню, під впливом каталізатора та водневмісного газу, нафтопродукти піддаються частковій деструкції, розбиваючись на складові частини, що насичуються воднем. Цей процес призводить до утворення сірководню, води, аміаку, а також граничних або ароматичних вуглеводнів.

Гідроочищення включає не лише взаємодію сірки, азоту та кисню, але й такі процеси як гідрокрекінг, насичення олефінів, зменшення кількості нафтових вуглеводнів, перетворення парафінів у нафтові за високих температур, гідрування ароматичних вуглеводнів під високим тиском та низькою температурою.

Фактори, що впливають на технологічний процес

Швидкість реакцій у процесі гідроочищення моторних палив залежить від кількох факторів:

- Хімічної природи вихідної сировини.

- Фізичних властивостей цієї сировини.
- Типу та стану каталізатора.
- Парціального тиску водню.
- Об'ємної швидкості реакції.
- Конструкції реактора, включаючи розподільники газу та сировини.

Оскільки швидкість реакції залежить від великої кількості параметрів, кожен з яких взаємопов'язаний, точно оцінити вплив кожного окремо є практично неможливим. Проте, після аналізу цих параметрів, можна виділити основні, які будуть ключовими під час проєктування нашої системи.

1. Температура:

Вибір оптимального діапазону температур дозволяє досягти необхідної якості і продовжити безрегенераційний пробіг та загальний термін служби каталізатора. Оптимальний діапазон для насичених каталізаторів – від 320 до 380 °C. Збільшення рівня десульфурації (знесірчення) пропорційно підвищує температуру до певної межі.

Кожен тип сировини має свої максимальні температури, після яких швидкість розкладання та насичення ненасичених вуглеводнів збільшується в порівнянні із швидкістю гідрування сірчистих сполук. Це призводить до менш ефективної роботи каталізатора стосовно сірки та сповільнення знесірчення. Це також призводить до збільшення виходу газу, легких продуктів та утворення коксу на каталізаторі, і збільшення витрати водню.

Але зниження температури не є вигідним, оскільки це може значно уповільнити процеси знесірчення.

2. Парціальний тиск водню:

Підвищення тиску, за умови не зміни інших параметрів, впливає на ступінь конверсії в результаті збільшення парціального тиску водню та вуглеводневої сировини, а також через зміну вмісту рідкого компонента в системах, які перебувають під високим або низьким тиском і температурою, при яких відбувається початок конденсації.

Перше явище сприяє збільшенню ступеня конверсії, тоді як друге уповільнює протікання реакції.

Підвищення тиску до рівня, коли утворюється рідка фаза через перевищення точки конденсації, при сталій температурі, сповільнює основні реакції процесу. Сильне збільшення тиску також ускладнює виділення водневого газу і збільшує його втрати разом із сухим газом.

Різде зниження тиску може пошкодити каталізатор. Зниження тиску без попереднього зниження температури може призвести до утворення відкладень коксу.

При зростанні загального тиску в процесі, при незмінних інших умовах, збільшується парціальний тиск водню. Оскільки водень грає важливу роль у реакціях, підвищення його парціального тиску прискорює процеси гідрування. Це сприяє уникненню утворення відкладень коксу на каталізаторі, що в свою чергу сприяє збільшенню тривалості його роботи.

Загальний вплив парціального тиску водню включає в себе два основних чинники:

- Ефект, що виникає від загального тиску.
- Вплив концентрації водню у циркулюючому газі.

Вимога до вмісту водню у циркулюючому газі залежить від якості вихідної сировини: чим чистіші фракції, тим менше потрібна концентрація водню для очищення, у той час як крекінгові фракції потребують вищих концентрацій водню.

Зменшення концентрації водню в циркуляційному газі трохи зменшує безрегенераційний цикл каталізатора.

Відношення "водень: вихідна сировина" в промисловій практиці визначається співвідношенням об'єму водню до об'єму сировини. Економічно доцільно підтримувати це відношення через циркуляцію водневмісного газу, де концентрація водню має великий вплив.

Збільшення відношення "циркулюючий газ: сировина" впливає на енергетичні витрати. Зростання швидкості реакцій при збільшенні циркуляції відбувається тільки до певної межі.

Опис технологічної схеми комплексу

Технологічна схема зазначеного комплексу складається з таких блоків:

- а) реакторний блок та блок стабілізації першого потоку;
- б) реакторний блок та блок стабілізації другого потоку;
- в) блок очищення циркулюючого газу та газу стабілізації й регенерації МЕА (моноетаноламіну).

Опис технологічного циклу, у якому бере участь компресорна установка

Реакторний блок - 1 потік.

Сировина, що походить з сировинного парку у вигляді дизельного палива, подається через трубопровід до сировинних насосів Н-1 і Н-2. Після виходу з цих насосів сировина поступає на панель змішування, де змішується з циркулюючим водневмісним газом (ВВГ).

Рівень витрати сировини у трійнику змішування підтримується автоматично завдяки регулятору витрати, який контролює клапан на лінії подачі сировини до щита змішування.

Кількість циркулюючого газу, що надходить з викиду компресорів ПК-1 (2) на щит змішування, регулюється за допомогою показів приладу, який реєструє цей процес. Сигнал про необхідність зменшення витрати циркулюючого водневмісного газу надходить від ОПС для блокування цього процесу.

Температура циркулюючого водневмісного газу контролюється системою автоматичного управління (САУ) за допомогою термоперетворювачів, розміщених на лінії всмоктування і нагнітання компресорів ПК-1,2.

Тиск на лінії всмоктування компресорів ПК-1,2,3 також регулюється за допомогою САУ, а на лінії нагнітання - за допомогою манометрів.

Газосировинна суміш з вузла змішування пройде через теплообмінники Т-1,2,3,4, де вона підігрівається до температури 290°C за рахунок тепла від газопродуктової суміші. Після цього газосировинна суміш надходить до печі П-1, де вона нагрівається до температури реакції, яка коливається в межах 350-425°C.

Температура сировини після виходу з печі П-1 регулюється автоматично за допомогою клапанів-регуляторів температури, які встановлені на лініях подачі паливного газу до форсунок.

Газосировинна суміш у газорідинній фазі з печі подається до двох послідовних реакторів Р-1 та Р-2. Контроль за температурою у зонах реакції здійснюється за допомогою реєструвальних приладів позначених як ТІ 1012, ТІ 1013, ТІ 1014, ТІ 1015, які отримують сигнали від двох багатозонних термопар у Р-1 та Р-2.

Газопродуктова суміш, яка має температуру в межах 350-425°C, пройшовши останній реактор, направляється через трубний простір теплообмінників Т-4, 3, 2, 1. Після проходження через ці теплообмінники, газопродуктова суміш, яка має температуру близьку до 160°C, потрапляє до АВГ (секції 2, 3, 4, 5, 11, 12, 13, 14), де вона охолоджується до температури 50°C, а потім направляється до сепаратора високого тиску С-1.

У сепараторі С-1, де тиск становить до 42 кгс/см², відбувається розділення гідрогенізату і водневмісного газу. Насичений сірководнем водовмісний газ подається на очищення від сірководню в абсорбер К-4.

Після очищення від сірководню, очищений циркулюючий газ, що виходить з верху абсорбера К-4, направляється на щит віддування і далі до сепаратора С-7. Звідти цей газ забирається компресорами ПК-1 (2) і повертається назад на щит змішування.

Надлишок циркулюючого водневмісного газу скидається зі щита віддування в паливну мережу заводу або подається на чергові пальники ГФХ.

Для зниження різниці тиску між прийомом та викидом компресорів ПК-1 (2), частина циркулюючого водневмісного газу з викиду компресора

проходить через кожухотрубний холодильник Х-3. Свіжий водневмісний газ подається з установок 35/11-300, 35/11-600 в лінію циркуляції газу з абсорбера К-4 в сепаратор С-7 або у лінію виходу газопродуктової суміші з АВГ (секції 2, 3, 4, 5, 11, 12, 13, 14) в сепаратор С-1. Окремим трубопроводом у ці ж лінії здійснюється подача "свіжого" водневмісного газу з установки 35/6.

Стабільність тиску в системі реакторного блоку забезпечується автоматичним регулятором тиску, клапан якого розташований на лінії очищеного циркулюючого газу з абсорбера К-4 на щит віддування.

Загальні відомості про КУ, її склад, призначення окремих вузлів та принципів побудови автоматизованої системи.

Стаціонарна компресорна установка включає в себе поршневий крейцкопфний компресор, електродвигун та різноманітні системи для охолодження, змащення, автоматичного керування і захисту.

Компресор:

Поршневий крейцкопфний компресор може мати опозитне або кутове розташування циліндрів. Його конструкція базується на стандартних параметричних рядах діаметрів циліндрів, що встановлені на заводі-виробнику. Ці ряди включають опозитну базу 4М, а також кутові бази 5П і 2П. Іноді використовуються спеціально розроблені системи, такі як 5ГЦ або 5РЦ, щоб задовольнити конкретні потреби виробництва.

Основні складові компресора включають базу, циліндри, систему охолодження і електропривід.

База:

База компресора складається з стандартизованих компонентів кривошипно-шатунного механізму, таких як колінчастий вал, шатун і крейцкопф, а також рами, блоку для змащення механізму руху і багатоплунжерного насоса. Цей насос використовується для забезпечення змащення циліндрів і ущільнювальних пристроїв штоків. Проте у деяких компресорах змащувальна станція може відсутня.

Рама:

Рама компресора виготовлена з литого чавуна, має коробчасту форму і внутрішні ребра для підвищення міцності. У верхній частині рами передбачені люки, що герметично закриваються кришками, що дозволяє отримати доступ до внутрішніх елементів механізму. Нижня частина рами виконує роль резервуара для масла. На верхній частині рами розташований показник рівня масла. Для закріплення циліндрів компресора до рами передбачені спеціальні кріпильні елементи. В отворах поперечних ребер рами розташовані чавунні гільзи для крійцкопфів, які служать напрямними елементами. При зносі гільзи можуть бути відремонтовані або замінені новими.

Колінчастий вал:

Колінчастий вал зроблений зі сталі, виготовлений методом штампування. Він має кривошипи для кріплення шатунів і підтримується роликівими підшипниками. У випадку кутових баз, колінчастий вал може бути однокривошипним, аби забезпечити рівномірність балансування, йому встановлюють противаги. На одному кінці вала розташований ротор електродвигуна, який з'єднаний шпонковим з'єднанням. На протилежному торці вала є квадратний отвір у фланці, який дозволяє виконати провертання вала перед запуском за допомогою рукоятки (в комплекті ЗІП). Інший кінець вала має кріплення для шестерні, що передає обертання масляному насосу в блоку змащення.

Крейцкопфи:

Крейцкопфи можуть бути виготовлені з чавуну або алюмінію, як литі, так і штамповані, і вони створюються разом з повзунками. З'єднання крейцкопфа зі штоком виконується за допомогою закладної гайки, контргайки і стопорних болтів, які фіксуються. Щодо шатунів, вони з'єднуються з крейцкопфами через пальці.

Пальці крейцкопфів:

Пальці крейцкопфів – це сталеві деталі, які під час збирання вкладаються в крейцкопф та закріплюються за допомогою пружинних кілець.

Шатуни:

Шатуни складаються з сталевих штампованих елементів з двотавровим перерізом. Кожен шатун включає кривошипну головку з від'ємною кришкою, нероз'ємну крейцкопфну головку і вкладиші кривошипної головки з антифрикційним шаром із алюмінієвого сплаву. В крейцкопфній головці використовується бронзова втулка, а змащення пальця крейцкопфа проводиться через отвір у шатуні.

Кришка кривошипної головки з'єднується зі стрижнем шатуна за допомогою двох шатунних болтів, виготовлених із легованої сталі, і гайок. На голівці кожного шатунного болта вказується його початкова довжина, що дозволяє оцінити залишкове подовження болта під час використання.

Циліндри:

Залежно від конструкції, компресорні машини можуть бути одно-, дво- або триступеневими, а також мати просту або подвійну дію, або бути з або без вирівнювальної порожниною.

Одноступеневі компресори мають циліндри подвійної дії з однаковими діаметрами.

У двоступеневих компресорах використовуються циліндри подвійної дії з різними діаметрами.

У триступеневих компресорах перший ступінь має циліндр подвійної дії, а циліндри другого і третього ступенів об'єднані в одному блоці, з використанням диференціального поршня і наявністю зрівнювальної порожниною між ступенями.

У компресорах з чотириступеневою конфігурацією використовуються два циліндри з диференціальним поршнем та зрівняльною порожниною. В п'ятиступенчастих моделях один ряд містить циліндр з двома ступенями стиснення, а інший - з трьома. У цьому випадку поршень першого ступеня має подвійну дію.

У шестиступінчастих компресорах використовуються два циліндри, кожен з трьома ступенями стиснення. Циліндри першого і другого ступенів виготовлені з чавуну і мають охолоджувальні сорочки.

У багатоступеневих компресорах циліндри наступних ступенів різняться за матеріалом виготовлення, залежно від робочого газу та потрібного тиску. Більшість з них мають можливість заміни робочих гільз, які зроблені зі спеціального чавуну, що стійкий до зношування. Вони ущільнюються гумовими кільцями по діаметру та паронітовими прокладками по торцю.

Клапани, такі як всмоктувальні та нагнітальні, в цих системах зазвичай мають пластинчасту конструкцію та можуть бути самодіючими. Вони закріплюються за допомогою натискної склянки, наполегливих болтів або натискних шпильок, а також ковпачкових гайок. У ступенях високого тиску використовують комбіновані клапани, які об'єднують в собі як всмоктувальні, так і нагнітальні клапани.

Ущільнення:

Для забезпечення герметичності в компресорах використовують паронітові прокладки для ущільнення циліндрів, кришок клапанів, люків та з'єднань фланців. На ступенях з високим тиском застосовують м'які прокладки, виготовлені з відпаленої міді, для досягнення надійного ущільнення.

Поршні:

Поршні виготовляють з різних матеріалів, таких як чавун, алюміній або сталь. В одно- та двоступеневих компресорах використовують дискові поршні подвійної дії, тоді як у багатоступеневих - диференціальні.

Поршневі кільця:

Кільця для поршнів виготовлені з чавуну. У випадку компресорів, де немає змащення циліндрів, використовуються кільця із самозмащувальних композитних матеріалів.

Штоки:

Виготовляють із вуглецевої сталі з поверхневим ущільненням.

Стандартну схему виконання поршневого компресора зображено на рис. 1.1

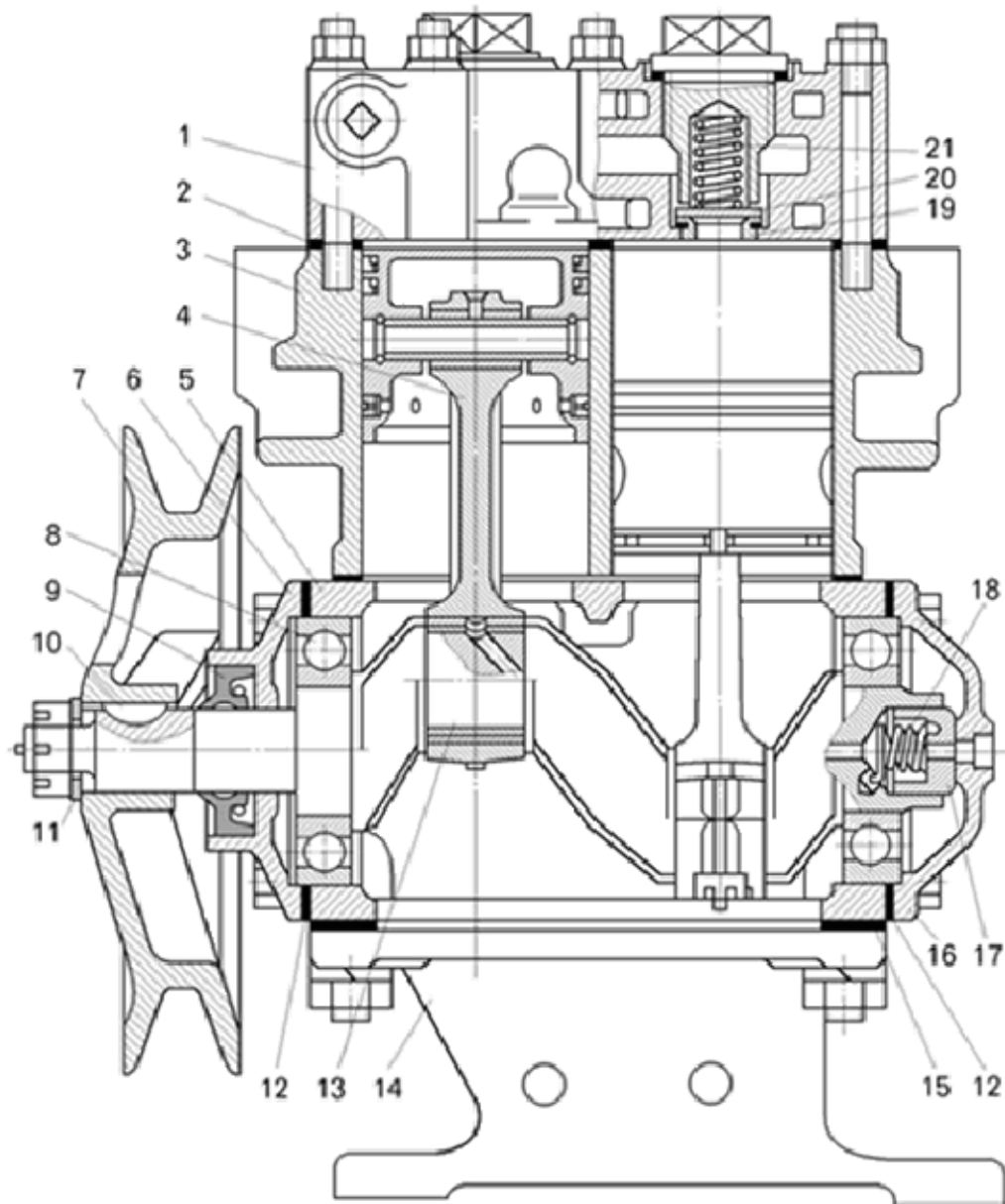


Рис.1.1 - Стандартна схема виконання поршневого компресора:

1 - головка блока циліндрів; 2 - прокладка головки блоку циліндрів; 3 - блок циліндрів; 4 - шатун; 5 - картер; 6 - передня кришка; 7 - шків; 8 - шарикопідшипник; 9 - манжета ущільнювача; 10 - шпонка; 11 - шайба; 12, 15 - прокладки; 13 - колінчастий вал; 14 - нижня кришка картера; 16 - задня кришка; 17 - ущільнювач; 18 - пружина ущільнювача; 19 - сідло; 20 - нагнітальний клапан; 21 - пружина нагнітального клапана;

Основні види приводу компресора

Старт виконується через електродвигун, де ротор з'єднаний з валом компресора, а статор закріплений на рамі самого компресора.

Залежно від бази компресора, який стискує різні середовища (повітря або різні гази), використовуються різні типи електродвигунів. Наприклад, для повітряних компресорів, що базуються на 4М, може застосовуватися двошвидкісний асинхронний електродвигун А2К 85/24-8/16 з потужністю 160/75 кВт, який працює зі швидкістю обертання 750/375 об/хв (синхронна швидкість) при 380 В та 50 Гц. Старт двигуна відбувається при номінальній напрузі мережі, коли компресор розвантажений.

Перемикання обмотки статора відбувається поетапно, щоб змінити частоту обертання на 6 обертів за секунду (або 360 обертів за хвилину).

Даний двигун може запускатися двічі підряд на частоту обертання 6,17 обертів за секунду (або 370 обертів за хвилину) з холодного стану або один раз з гарячого. Кількість пусків на годину обмежена п'ятьма, з інтервалом не менше 12 хвилин. Загалом, кількість пусків на рік не може перевищувати 10 000. Дозволяється до 20 змін частоти обертання за годину, але з інтервалом не менше 3 хвилин.

Пневматичні компресори на базі 5П включають у себе:

Безщітковий синхронний електродвигун моделі БСДКМ 15-21-12200 кВт, зі швидкістю 500 обертів за хвилину, напругою 380 В та частотою 50 Гц; Асинхронний електродвигун АСК 560-12200 кВт, з такою самою швидкістю обертання, напругою та частотою.

Пневматичні компресори на базі 2П оснащені наступними електродвигунами:

Асинхронний електродвигун моделі АВ2-101-8 потужністю 75 кВт, зі швидкістю обертання 735 об/хв, напругою 380 В та частотою 50 Гц.

Газові компресори на базах 4М, 5П, 2П, 5ГЦ відповідають вибухозахищеному стандарту "2ExplITS" (H4TS-П) і комплектуються

електродвигунами, які мають аналогічні технічні характеристики. Всі ці електродвигуни також постачаються з необхідною пусковою апаратурою.

Змащування компресорів:

Компресори забезпечуються двома окремими системами змащення:

Система низького тиску (циркуляційна) призначена для постачання оливи до механізму бази.

Система високого тиску призначена для подачі оливи у циліндр.

1. Масло для системи змащення низького тиску подається в нижню частину рами компресора і через фільтр грубого очищення переходить до мастиловсмоктувальної труби. Відтуди його шестерневий насос направляє у блок змащення, далі через напірну трубу до внутрішнього каналу колінчастого вала. Цей внутрішній канал має систему подачі мастила на робочі поверхні кривошипів і шатунів. Щоб уникнути витoku масла на підшипниках колінчастого вала з рами компресора, встановлені спеціальні ущільнювальні пристрої. Для дозаправки масла в раму використовується одна з люкових кришок, а рівень масла контролюється за допомогою мастиловказівника. Для відведення зайвого масла з рами передбачено зливний кран.

2. Система змащення високого тиску приводиться в дію через ведучий валик шестеренкового насоса, який належить до блоку змащення механізму руху. Масло, що пропускається через багатоплунжерний насос, потрапляє до отворів у кришках та гільзах циліндрів, рівномірно розподіляючись по тертях, що забезпечує їх ефективне змащення.

У випадку використання компресорів без системи змащення циліндрів високого тиску, не передбачено подачу оливи в циліндри або для ущільнювальних пристроїв, і такі компресори не мають лубрикаторів. Поршні у цих компресорів оснащені опорними та розрізними (з двох половин) кільцями, які виготовлені з самозмащувальних матеріалів на основі фторопласту з різними наповнювачами.

У компресорах, що використовуються для стиснення повітря і вологих газів, поршневі кільця зазвичай виготовляють із фторопласту 4К20. У випадку, коли тиск стисненого газу не перевищує 0,8 МПа (8 кгс/см²), можна використовувати матеріал для кілець, відомий як АФГ-80С. Для роботи з осушеними газами використовують фторопласт з графітом і дисульфідом молібдену, такий як АФГМ або ГФЕ-5м.

В компресорах, де відсутня система змащення циліндрів, кожен циліндр обладнаний спеціальними заходами для запобігання проникненню мастила з рами. Ці заходи включають в себе використання ліхтаря, масловідбійного ущільнювального пристрою, спеціального засобу для відведення мастила і спеціальних кілець для відведення мастила.

Охолодження компресорів:

Компресори використовують водяне охолодження з системою, яка передбачає відведення води з компресора та газоохолоджувачів через спеціальні воронки. Важливо, щоб якість води, яка використовується для охолодження, відповідала встановленим вимогам та стандартам.

Система автоматики:

Система автоматизації призначена для управління, захисту та моніторингу роботи компресорних машин. Вона складається з різних компонентів та враховується в контексті електроприводу, забезпечуючи аварійне вимикання компресорної установки і зупинку приводного електродвигуна залежно від призначення машини для стиснення повітря чи газу.

Автоматичне відключення відбувається у наступних випадках:

- а) Зниження тиску води в системі охолодження компресора;
- б) Коротке замикання або ушкодження в системі електроприводу та управління;
- с) Падіння тиску мастила в циркуляційній системі змащення механізму руху;

- d) Відхилення тиску газу від допустимих значень на лінії всмоктування;
- e) Підвищення тиску газу понад допустимий рівень після кожного ступеня стиснення;
- f) Зупинка продування повітрям корпусу електродвигуна;
- g) Підвищення тиску газу в корпусі компресора вище допустимого рівня.

Автоматичне вимкнення електродвигунів компресорів активує світловий і звуковий сигнали. Система автоматики для компресорних машин, що стискають газ, передбачає використання пневматичної передачі показників контрольованих параметрів на релейні пристрої. Максимальна відстань передачі сигналу по пневмотрасі становить 200 метрів. Крім того, системи автоматики мають відмінності у функціональних можливостях та елементній базі залежно від модифікації (релейні, мікроелектронні або мікропроцесорні). Ці системи виготовляються для використання в специфікованих умовах експлуатації відповідно до кліматичних вимог стандарту ДСТУ EN 60529:2018.

Контрольно-вимірювальні прилади

На різних контрольних точках у компресорній установці розміщені дисплеї для візуального спостереження за роботою. Датчики тиску використовують панелі з рідкокристалічними дисплеями для виведення контрольованих параметрів, які оператори можуть бачити. Терморезистивні датчики можуть також бути обладнані дисплеями та функціональними полями за бажанням замовника. Датчики вібрації та системи моніторингу стану вала компресора не мають власних дисплеїв, але на них є світлові індикатори для відстеження параметрів.

Технічні параметри режиму роботи компресорної установки

Таблиця 1.1

Показники режиму

Найменування показників режиму	Одиниця виміру	Допустимі межі технологічних параметрів	Необхідний клас точності вимірювальних приладів	Примітка
Тиск масла на ПК-1	кгс/см ²	1,20 – 3,00	1,00	Регістр
Тиск води на охолодження масла	кгс/см ²	1,00 – 3,00	1,00	Регістр
Температура газу на прийомі ПК-1	°C	110	0,50	Регістр
Температура підшипників, не більше ПК-1	°C	65,0	1,00	Регістр
Тиск повітря на обдув електродвигуна компресора	Мм.вод.ст.	20,0 – 40,0	1,00	Регістр
Перепад тиску між прийомом і викидом, не більше		1,80	1,00	Регістр
Витрата циркуляційного газу	Нм ³ /час	20000,0 – 40000,0	1,00	Регістр
Температура газу на нагнітанні ПК-1	°C	110,0	0,50	Регістр

Таблиця 1.2

Коротка характеристика технологічного обладнання

Найменування обладнання (тип, найменування апарата, призначення)	Номер позиції приладу за схемою, індекс	Кількість, шт.	Матеріал	Технічна характеристика
Ресивер азоту високого тиску на прийомі компресорів. Вертикальний, циліндричний апарат, пустотілий, зі сферичними днищами	Б-2	1	Ст. 20	Розрахунковий тиск - 64 кгс/см ² Розрахункова температура - 40°C Діаметр - 1000 мм Висота - 4000 мм Обсяг - 4 м ³
Сепаратор на прийомі ПК. Горизонтальний, циліндричний, пустотілий апарат зі сферичними днищами	С-7 С-5	2	Ст.20	Розрахунковий тиск - 50 кгс/см ² Діаметр -2000 мм Довжина - 7400 мм Об'єм -20м ³
Компресор для циркуляції ВСГ	ПК-1	3	Збірний	Марка 5Г-600-42/60 Витрата -36000м ³ /год. Тиск на прийомі -42,0кгс/см ² Тиск на викиді -60,0кгс/см ² Потужність ЕД -840,0 кВт Число обертів -168 об/хв. Вик. ВЗГ
Холодильник циркуляційного газу. Горизонтальний, циліндркожухотрубний апарат, одноходовий по трубному і міжтрубному простору	Х-3 Х-4	2	Ст.3	Розрахунковий тиск у корпусі -60 кгс/см ² , у трубках - 3 кгс/см ² Температура в корпусі - 60°C, у трубках - 40°C Діаметр корпусу – 425,0 мм Довжина – 6877,0 мм

Таблиця 1.3

Перелік блокувань і сигналізації

Найменування параметра	Найменування обладнання	Величина встан.параметра		Блокування		Сигналізація		Операції з відключення, перемикання та іншого впливу
Температура газу нагнітання ПК-1	ПК-1		110 °С		120 °С		110 °С	Звукова і світлова сигналізація. Вимкнення ЕД компресора ПК-1
Температура підшипників ПК-1	Підшипники		60 °С		65 °С		60 °С	Звукова і світлова сигналізація. Вимкнення ЕД компресора ПК-1
Тиск масла до ПК-1	ПК-1	0,150 МПа		0,120 МПа		0,150 МПа		Звукова і світлова сигналізація. Заборона пуску Вимкнення ЕД компресора ПК-1
Тиск охолоджувальної води до ПК-1	ПК-1	0,120 МПа		0,10 МПа		0,120 МПа		Звукова і світлова сигналізація. Заборона пуску Вимкнення ЕД компресора ПК-1
Тиск повітря під кожухом ПК-1	ПК-1	0,250 МПа		0,20 КПа		0,250 КПа		Звукова і світлова сигналізація. Заборона пуску Вимкнення ЕД компресора ПК-1
Перепад тиску на ПК-1	ПК-1		1,80 МПа		2,0 МПа		1,8 МПа	Звукова і світлова сигналізація. Вимкнення ЕД компресора ПК-1
Тиск ВСГ на всмоктуванні ПК-1	ПК-1	1,50 МПа		0,50 МПа		1,50 МПа		Звукова і світлова сигналізація. Заборона пуску Вимкнення ЕД компресора ПК-1

2. РОЗРОБКА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КОМПРЕСОРНИМИ УСТАНОВКАМИ

Розподілена автоматизована система управління для технологічного процесу компресорної - це сукупність технічних засобів, що служать для контролю та управління цим процесом. Основним технічним засобом цієї системи є багатоконтурний контролер DeltaV із серії M5+.

На вищому рівні ця система управління включає в себе операторську станцію, що базується на персональному комп'ютері з використанням програмного забезпечення DeltaV.

Основними функціями операторської станції є: відстеження технологічних параметрів, управління процесами, зберігання історії важливих параметрів, активація сповіщень, реєстрація команд та подій оператора, відображення історії параметрів у вигляді графіків, створення технологічних звітів та інших сервісних функцій.

2.1 Структура системи керування

Автоматизована система управління технологічним процесом (АСУ ТП) має такі основні завдання:

- Контроль і управління в реальному часі процесом стиснення і транспортування газу з метою підтримки його на необхідному рівні.
- Забезпечення високого рівня безпеки технологічного процесу.
- Постійний аналіз параметрів для виявлення потенційно критичних значень та прогнозування можливих аварій.
- Виконання операцій безпечного запуску, зупинки та всіх необхідних перемикань.
- Вжиття заходів управління та автоматизованих захистів для уникнення аварійних ситуацій.

Ця система управління виконує низку функцій, таких як постійний нагляд за станом і режимами роботи обладнання, сповіщення у випадку

відхилення параметрів від норм, віддалене управління механізмами, захист від аварій, розрахунок економічних показників, збереження інформації, створення технологічної документації та повідомлень про аварії.

Автоматизована система управління технологічним процесом компресорної установки організована як ієрархічна система контролю та управління, розміщена у центральній операторній. Ця ієрархічна структура має два рівні управління: верхній рівень - оперативно-виробнича служба (ОПС) та нижній рівень - система автоматизованого керування (САУ) технологічними об'єктами.

Рівень оперативно-виробничих служб

Рівень оперативно-виробничих служб призначений для:

- Створення інтерфейсу між людиною та машинами.
- Моніторингу та візуалізації стану технологічних об'єктів.
- Управління в реальному часі.
- Сповіщення про відхилення параметрів від норм.
- Віддаленого управління механізмами та приводами.
- Реєстрації та зберігання подій та змін параметрів.
- Генерації технічних звітів і документів для обліку та звітності.

На цьому рівні оперативно-технологічний персонал з використанням апаратно-програмних засобів АСУ ТП забезпечує нагляд за поточним станом і режимами роботи основних та допоміжних технологічних процесів. Також вони впливають на налаштування технологічних параметрів для забезпечення потрібних умов роботи.

На рівні системи автоматизованого керування використовуються технічні засоби для автоматичного контролю і управління процесами, підтримки встановлених режимів роботи та захисту устаткування у випадку аварій. Окрім цього, на цьому рівні здійснюється обмін інформацією з вищим рівнем управління. Функції цього рівня включають вимірювання технологічних параметрів, автоматичне керування робочими режимами

обладнання, управління виконавчими механізмами та забезпечення безпеки та захисту технологічного обладнання.

Система автоматизованого управління технологічним процесом має внутрішню підсистему, яка спеціалізується на автоматичному захисті від аварій (ПАЗ). Ця підсистема призначена для виявлення аварійних ситуацій, коли параметри процесу виходять за межі норми, та автоматично переводить технологічне обладнання у безпечний режим. Робота алгоритмів системи ПАЗ супроводжується активацією світлових та звукових сигналів для оперативно-технологічного персоналу. Основний блок-схему цього процесу можна побачити на рисунку 2.1.

Система автоматичного захисту (ПАЗ), функціонально окрема, функціонує в режимі очікування на будь-якому етапі запуску, роботи або зупинки компресора. Це означає, що перехід системи у безпечний режим відбувається навіть у випадку, коли система знаходиться в роботі, при умові перевищення критичного порогу, основні параметри якого подано у таблиці 1.3. З урахуванням складності та динаміки технологічного процесу, особлива увага приділяється надійності функціонування цієї системи.

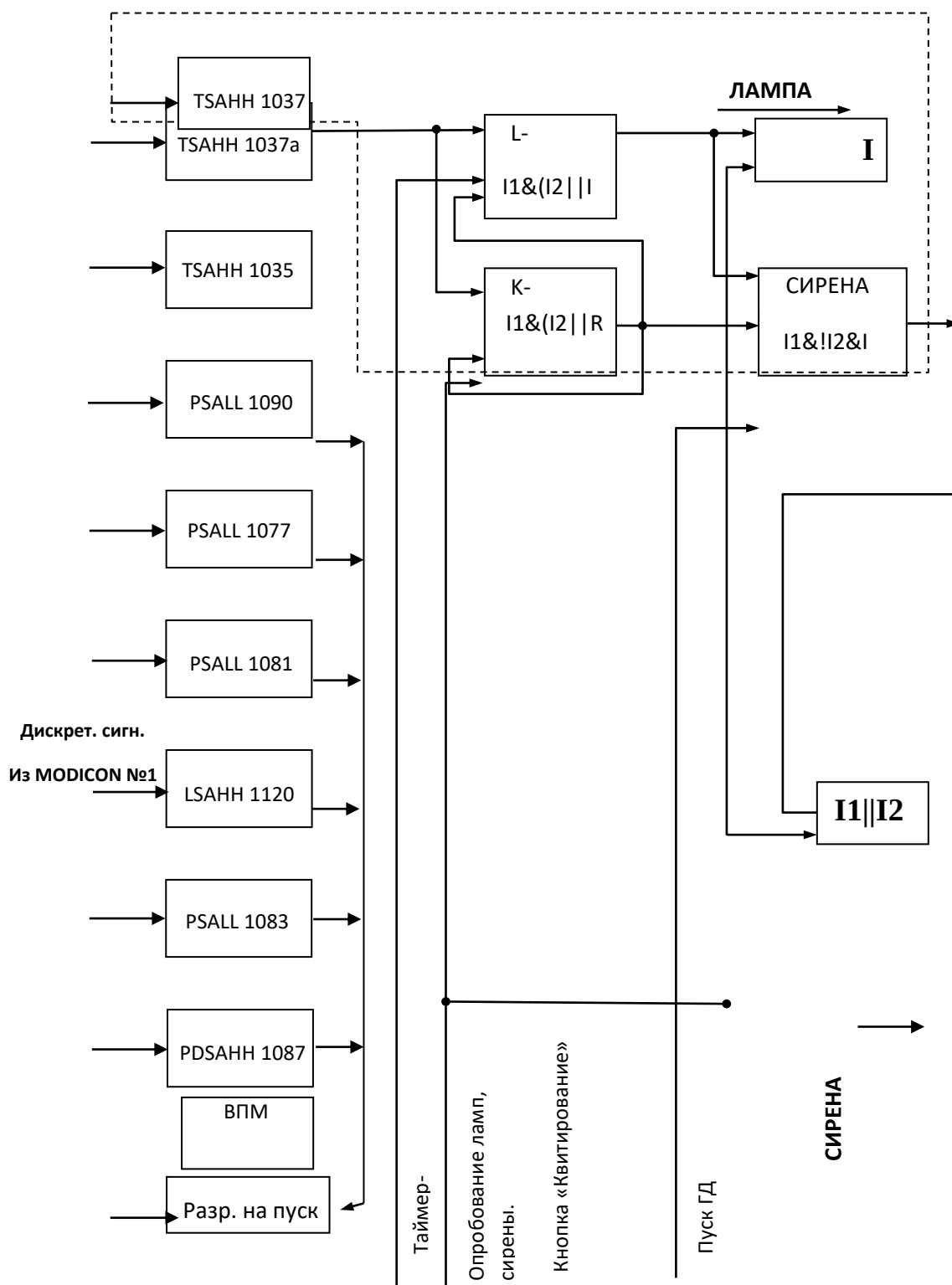


Рис. 2.1 - Логічна схема блоку сигналізації та дозволу на пуск компресора ПК-1

2.2 Забезпечення надійності системи ПАЗ

Система захисту забезпечує свою надійність за допомогою наступних методів:

- Дублюванням апаратних засобів для забезпечення резервування.
- Використанням часової та функціональної надлишковості.
- Наявністю систем для діагностики та самодіагностики.
- Встановленням захисних порогів для переходу системи у безпечний режим.

Для забезпечення постійної роботи системи управління технологічним процесом використовується джерело безперебійного живлення (ДБЖ). Це джерело забезпечує живлення системи до моменту перемикання на інший джерела електроживлення або протягом часу, необхідного для переходу технологічного об'єкта у безпечний режим.

У сучасних системах управління технологічними процесами, які працюють у середовищах з підвищеним ризиком вибуху та базуються на електронних засобах контролю й вимірювань, застосування іскробезпечних бар'єрів захисту є критично важливим. Це обумовлено тим, що під час виникнення обривів у колах з вимірювальними сигналами 4-20мА може спостерігатися збільшення напруги у цих колах, що може призвести до потенційно небезпечних ситуацій, включаючи загрозу пожежі. Для запобігання таким ситуаціям, іскробезпечні бар'єри встановлюють поріг спрацювання на рівні 24В. У випадку перевищення цього рівня напруги в джерелі живлення може виникнути струм витоку у діапазоні 0-4мА, що викликає спрацювання сигналу про нецілісність ланцюга.

Щоб уникнути цієї проблеми, у системі контролю обриву в ланцюгу датчиків сигналів 4-20мА можна встановити напругу живлення ланцюга датчика нижче порогу спрацювання іскробезпечних бар'єрів захисту на 0,2-0,3В. Інший варіант - включити діод послідовно до джерела живлення в ланцюгу. Вибір конкретного діода та схеми підключення може бути здійснений, виходячи з ілюстрації на рисунку 2.2.

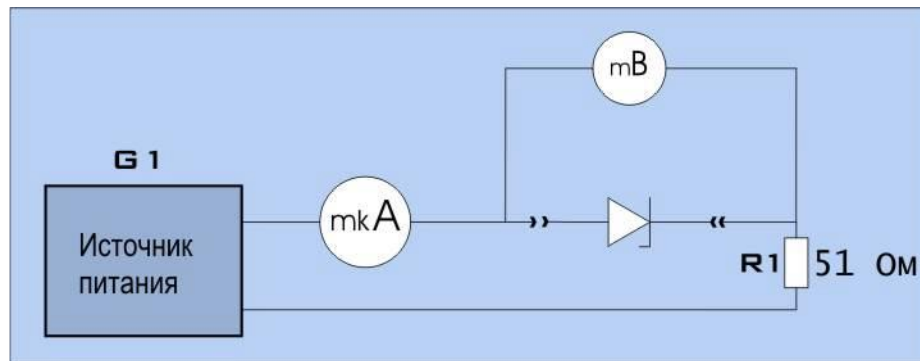


Рис. 2.2

Електрообладнання САУ КУ повинно відповідати вимогам "Правил улаштування електроустановок", "Правил техніки безпеки під час експлуатації електроустановок до 1000В", ДСТУ12.2.007.0 і ДСТУ12.2.007.1.

Обладнання САУ КУ повинно бути забезпечено спеціальними болтами для підключення системи заземлення. Сигнальні кольори, розміри, форма та колір знаків безпеки мають відповідати ГОСТ 12-4.026.

2.3 Визначення основних завдань синтезу системи керування КУ

Згідно з параметрами режиму роботи з таблиці 1.1, основні завдання управління КУ можна виокремити. Для спрощення логічної схеми системи керування весь процес було розділено на функціональні модулі. У кожному з цих модулів відбуваються власні операції та зберігаються нормативні значення технологічних параметрів. Головна мета усього цього циклу роботи - дотримання встановлених режимів перемикання між цими модулями.

Розглянемо кожен із них окремо.

1 Алгоритм пуску компресора

Алгоритм "Пуску компресора" передбачає виконання усіх необхідних процедур підготовки до запуску, контроль за параметрами та умовами передпускового періоду, а також відправку сигналу на "верхній рівень" системи управління компресорною установкою з повідомленням про готовність компресора до пуску: "Компресор готовий до запуску".

У разі невідповідності хоча б одного параметра чи умови вимогам передпускового процесу, сигнал "Компресор до пуску готовий" не повинен генеруватись. Цей сигнал, який надсилається системою керування компресорною установкою, має бути представлений у вигляді "сухого контакту" на "верхньому рівні", супроводжуваний виведенням на екран комп'ютера напису "Компресор до пуску готовий" на відміну від напису "Підготовка компресора до пуску".

1.1 Сигнал "Компресор готовий до пуску" повинен формуватися в разі виконання наступних передпускових вимог:

1.1.1 Тиск газу на вході в стійку для керування (РТ1), не менше 6,2 кгс/см²;

1.1.2 Тиск масла в напірному колекторі (ВР108), не менше 1,5 кгс/см²;

1.1.3 Температура масла в напірному колекторі (ВК2), не більше чим 450⁰С.

1.2 В процесі підготовки компресорної установки до пуску система КВП повинна здійснювати пуск основного мастилонасоса при виконанні таких умов:

У разі невиконання хоча б однієї з цих умов система КВП не повинна дозволити пуск мастилонасоса (блокувати пуск мастилонасоса) і повинна виводити на дисплей оператора сигнал "Заборона пуску мастилонасоса за РТ4 менше 1,5 кгс/см²".

Вибір основного насоса має здійснюватися шляхом зчитування годин напрацювання кожного із насосів і ввімкнення потоку, що перемикає ланцюги керування маслоснасосами (вибір здійснюється тільки в разі непрацюючих маслоснасосів).

Під час увімкнення маслоснасоса на мнемосхемі має запалюватися світлова індикація про його увімкнення.

1.3 Початок пуску компресора визначається за сигналом від САУ компресорної установки у формі "сухого контакту" або при досягненні ротором обертів на рівні 300 обертів за хвилину. Протягом процесу пуску

система керування повинна вести контроль за параметрами, які описані у таблиці 1.1, записуючи їх на жорсткий диск комп'ютера та фіксуючи момент початку пуску. Нормальний пуск (без використання тиристорної системи керування електроприводом) відбувається протягом 8-30 секунд з моменту старту до досягнення ротором номінальної частоти обертання. Протягом цього часу програмні уставки для попереджувальної сигналізації та аварійного захисту повинні бути автоматично подвоєні за певними параметрами:

- радіальне вібропереміщення шийок ротора (S1B, S1Г, S2B, S2Г);
- осьовий зсув (OS1, OS2).

1.4 Закінчення пуску компресорної установки та вихід її на номінальний режим роботи фіксує система КВП по досягненню частоти обертання ротора (n) 8410 об/хв.

Після закінчення операції пуску на дисплей оператора має виводитися наступний напис "Работа компрессора".

1.5 У випадку зриву пуску, коли фіксується початок пуску після досягнення ротором частоти обертання 300 обертів за хвилину, а завершення пуску після досягнення ротором частоти обертання 8412 обертів за хвилину, можливі два сценарії:

1) частота обертання ротора досягла значення 0 ± 10 об/хв. Цей факт означає, що сталася зупинка КУ і система КВП певним чином має відреагувати за алгоритмом аварійної зупинки компресора;

2) частота обертання ротора "зависла" між значеннями 0 і 8410 об/хв. Система КВП має відпрацювати за алгоритмом "Пуск компрессора", тобто очікувати фіксації закінчення його пуску або аварійної зупинки.

2 Алгоритм нормальної роботи компресора

Під час нормальної роботи компресора система КВП здійснює контроль за значеннями параметрів, які вказані у таблиці 1.1, відповідно до встановлених алгоритмів. Вона надає можливість операторові виводити поточні значення будь-якого параметра у вигляді графіка, зокрема групового,

а також у формі таблиці з поточними значеннями параметрів за відповідною командою. Кожні 8 (12) годин роботи компресора, система КіПа автоматично зберігає значення контрольованих параметрів у пам'ять жорсткого диска комп'ютера.

Під час функціонування компресора, система керування активує резервний маслonasос при зниженні тиску масла у напірному колекторі (BP108) до рівня 1,4 кгс/см² і вимикає його при досягненні тиску у BP108 значення 2,0 кгс/см².

Якщо основний маслonasос вимикається (наприклад, через спрацювання захисту електроприводу від перевантаження), це може бути сигналом для активації резервного маслonasоса. У такому випадку, резервний насос повинен ввімкнутися негайно, щоб уникнути спрацювання аварійного захисту через низький тиск масла у напірному колекторі. Швидке ввімкнення резервного маслonasоса є критично важливим, щоб забезпечити нормальний рівень тиску масла в системі.

При спрацюванні аварійної сигналізації у результаті відхилення кількох параметрів одночасно або послідовно, кожен з цих випадків фіксується у відповідному записі. Коли значення параметра повертається до нормального діапазону, світлова та звукова сигналізація автоматично вимикаються.

3 Алгоритм нормального зупинення компресора

Нормальну зупинку компресора, як і пуск, здійснюють незалежно від стану компресора й системи керування вимкненням електроживлення приводу.

Початок нормальної зупинки компресора може бути визначений за сигналом від САУ компресорної установки у формі "сухого контакту" або при досягненні 10% зниження обертання ротора від номінального значення, тобто при досягненні значення 7570 об/хв. Під час початку процесу нормальної зупинки уставки для передаварійної сигналізації та аварійного захисту за вібраційними параметрами компресора мають бути подвоєні:

радіальним вібропереміщенням шийок ротора (S1B, S1Г, S2B, S2Г) і осьовим зсувом (OS1, OS2). Під час зупинки система керування має контролювати всі параметри згідно таблиці 1.1 із записом їх на жорсткий диск комп'ютера та фіксацією часу зупинки. Запис значень параметрів у пам'ять має припинятися після досягнення нульової частоти обертання ротора (0 ± 10 об/хв). Через 5 хвилин після зупинення ротора, працюючий (основний або резервний) маслonaсос повинен автоматично відключитися.

Процес зупинки компресора можна вважати завершеним, якщо маслonaсос відключено, а тиск масла в напірному колекторі (BP108) має значення $0 \pm 0,05$ кгс/см².

4 Алгоритм аварійної зупинки компресора

Аварійне зупинення компресора може статися з двох причин:

1. За параметрами, які не контролюються системою управління компресором (вони не перебувають за межами норми для компресора).
2. За одним або декількома параметрами, які контролюються системою управління компресором і перевищили межі аварійних уставок (захистів).

Аварійне зупинення з першої причини відбувається в точній відповідності із алгоритмом нормального зупинення.

У разі спрацювання аварійного захисту за параметром компресора система керування має видати на "верхній рівень" (САУ установки) сигнал у вигляді "сухого контакту" на аварійне зупинення компресора (на вимкнення живлення ел. привода), увімкнути світлову та звукову сигналізацію в операторському приміщенні...

В іншому аварійне зупинення відбувається за алгоритмом нормального зупинення з доповненням під час запису параметрів у пам'ять причини зупинення (із зазначенням параметру, за яким спрацював захист).

2.4 Тимчасові параметри керування

Система керування постійно моніторить стан і роботу своїх компонентів, таких як датчики, додаткове обладнання, блоки живлення і інші

елементи. У разі необхідності вона виводить відповідну інформацію на дисплей для оператора. Алгоритм самодіагностики системи розробляється з урахуванням функціональних вимог, часових параметрів і враховуючи аспекти безпеки.

Частота опитування датчиків повинна становити:

- для віброапаратури серії TX 3654 - 10000 разів на секунду;
- для датчиків тиску Rosemount - не менше як 12 разів на секунду;
- для датчиків температури - не менше як 1 разу на секунду;

Частота зміни значень параметрів на дисплеї, у таблиці параметрів й на групових графіках - один раз за секунду.

У випадку відмови будь-якого датчика на екрані оператора має відображатися інформація у вигляді таблиці про відмову конкретного датчика, а також активуватися попереджувальна сигналізація (звукова і світлова).

2.5 Особливості характеристик систем керування КУ

Головним принципом у регулюванні систем подібного типу є ієрархічна завершеність, або обґрунтоване зіставлення обладнання. Цей підхід дозволяє ігнорувати фактори, які можуть мати суттєвий вплив на систему. Основні критерії цього принципу полягають у розробці системи запуску та підтримки наступних параметрів.

1. Регулювання нагнітачів шляхом зміни частоти обертання

Механізм регулювання тиску (напору) та подачі компресора при зміні характеристик мережі показано на рис. 2.3. При необхідності забезпечити стабілізацію тиску до заданого значення при зміні характеристик мережі від 1 до 3 (див. рис. 2.3, а), виконують вимірювання тиску у магістралі та автоматично змінюють частоту обертання компресора (від ω_1 до ω_2) за допомогою регулятора тиску, щоб підтримати стає значення тиску. Це призводить до зміни характеристик компресора від 1' до 3'. Витрата компресора змінюється від QA до QC. Робочі точки А, В, С на

характеристиках компресора 1', 2', 3' відповідають різним опорам магістралі, що відповідають характеристикам мережі 1, 2, 3. При зміні заданого значення НЗ змінюються характеристики і параметри компресора.

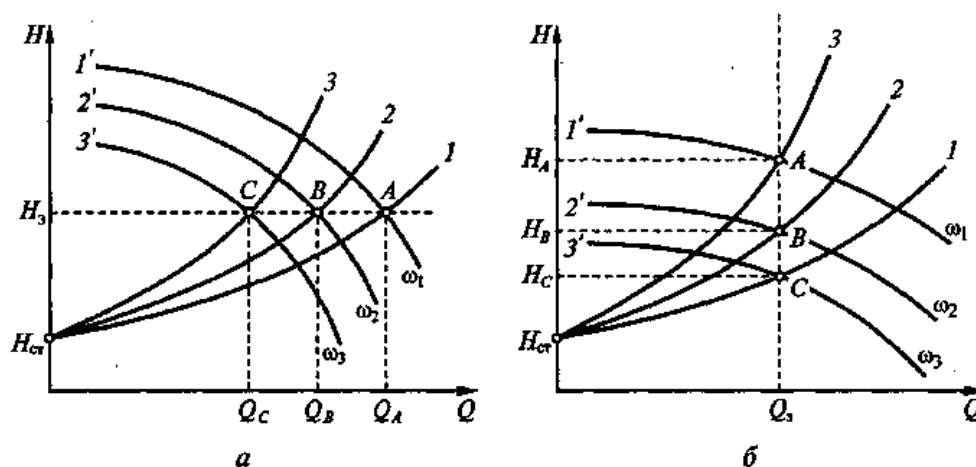


Рис. 2.3

Компресорні агрегати часто групуються в компресорні станції, де кілька компресорів працює одночасно на одній мережі. Регулювання подачі компресорної станції досягається за допомогою зміни обертової частоти компресорів, які мають різні характеристики, цей процес проілюстровано на рисунку 2.4.

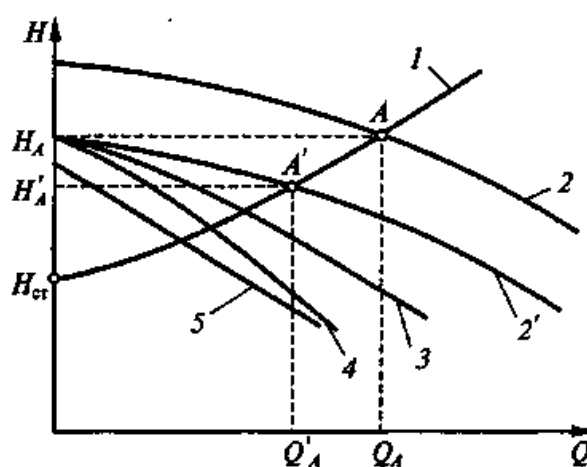


Рис. 2.4

Якщо потрібно зменшити продуктивність двох компресорів із загальною характеристикою 2 від QA до QA', це можна зробити двома способами: знизити частоту обертання обох компресорів (їхні характеристики стануть 3 та 4, а загальна - 2'), або суттєво зменшити частоту обертання лише одного з компресорів (його характеристика буде 5 за зниженою частотою обертання). Регулювання продуктивності шляхом зміни частоти обертання обох компресорів відповідно до їхніх показників є так само ефективним, як і регулювання частоти обертання одного компресора в його самотній роботі.

З погляду економічності, вигідніше використовувати однакову зміну частоти обертання для всіх компресорів, які працюють одночасно. Проте це може призвести до збільшення капітальних витрат на устаткування, особливо коли необхідно обладнати всі агрегати регульованими електроприводами. Тому ефективніше мати лише один агрегат, який може бути регульованим, і використовувати його для більш глибокого регулювання, вимикання окремих компресорів.

Багато компресорів, що застосовуються в заводських установках, не потребують регулювання швидкості. Ці компресори використовують асинхронні або синхронні двигуни змінного струму, особливо за потужностями понад 300 кВт. Управління такими двигунами здійснюється за допомогою магнітних або безконтактних пускачів для менших потужностей і стандартних або спеціальних пускових станцій. Ці станції для асинхронних і синхронних двигунів можуть використовувати прямий, реакторний або автотрансформаторний методи пуску.

2. Спільна робота нагнітачів

Технологічні схеми подачі часто включають кілька нагнітачів з ряду причин:

- Один нагнітач не завжди здатний забезпечити потрібний рівень подачі або тиску, і заміна на більш потужний неможлива.

- У процесі роботи, згідно з вимогами технологічного процесу, можуть змінюватися умови, пов'язані зі зміною витрати і опору мережі. Це може вимагати відключення одного з нагнітачів.

- Надійність роботи всієї системи є важливою, тому декілька нагнітачів можуть працювати разом для забезпечення цієї надійності.

- Архітектурні особливості будівель можуть створювати складні мережі, для яких оптимальною може бути наявність декількох нагнітачів для ефективного регулювання.

Активация нагнітачів для спільної роботи може відбуватися у трьох форматах: паралельним, послідовним і змішаним (комбінованим).

3. Паралельне включення нагнітачів

Паралельне включення двох чи більше нагнітачів рекомендується в ситуаціях, коли потрібно збільшити обсяг подачі, а альтернативні методи, такі як збільшення частоти обертання робочого колеса чи розміру нагнітача, не є ефективними через певні обмеження, такі як значний рівень шуму, обмеження конструкції чи планування будівель.

Існують три основні схеми паралельного включення нагнітачів: повністю паралельне ввімкнення (рис. 2.5, а) та напівпаралельне включення за схемами, показаними на рис. 2.5, б і в.

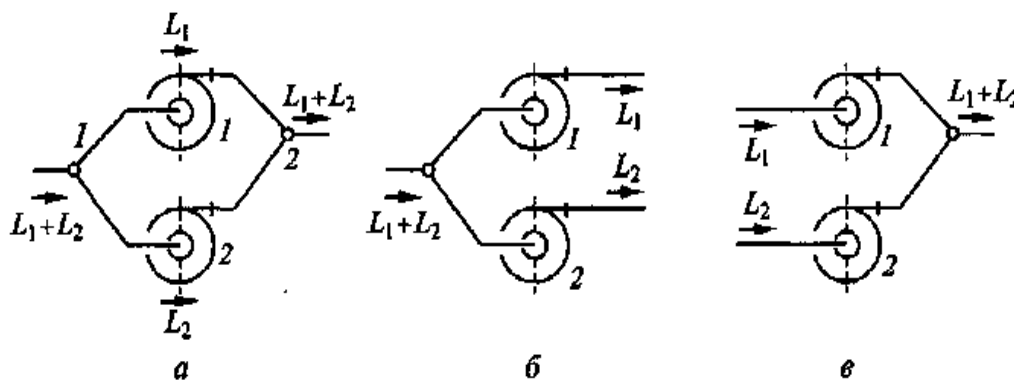


Рис. 2.5

У точках 1 і 2, тиски, які створюються кожним нагнітачем, є ідентичними, а загальна подача дорівнює сумі подач, що надходять від

окремих нагнітачів. Це вказує на необхідність побудови сумарної характеристики паралельно ввімкнених нагнітачів за принципом: при однаковому тиску потрібно додавати значення подачі.

На рис. 2.6 показана побудова сумарної характеристики тиску. Це представлення полягає в додаванні абсцис одного нагнітача у кожній точці тиску. При увімкненні мережі, яка складається з двох нагнітачів з характеристикою $(1 + 1)$, робочий режим визначається точкою А. Під час цього режиму сумарна подача нагнітачів становить $LA(1+1)$, а сумарний тиск - $P_1(1+1)$, при цьому $P_1(1+1) = P_A(1+1)$, що означає, що тиск, що створює кожен нагнітач під час спільної роботи, дорівнює загальному тиску. подача кожного нагнітача складає половину загальної і може бути визначена графічно за положенням точки А", $L_1(1+1) = 0.5LA(1+1) = LA$. Коефіцієнт корисної дії (ККД) обох нагнітачів дорівнює ККД кожного з них і визначається перетином ординати, яка проходить через точку А", з характеристикою ККД нагнітача. Перетин цієї ординати з характеристикою потужності визначає витрати потужності кожним нагнітачем. Сумарні витрати потужності дорівнюють сумі потужностей окремих нагнітачів: $NA(1+1) = 2N_1(1+1)$.

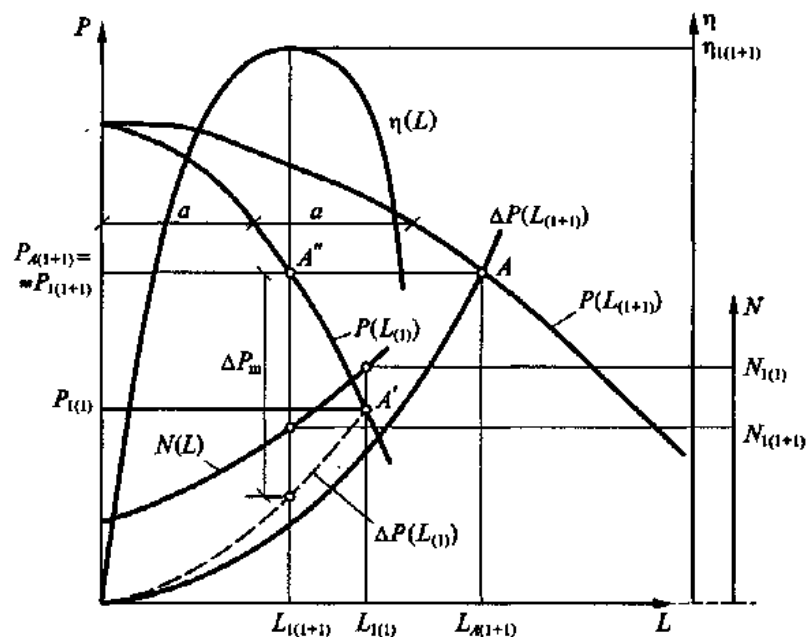


Рис. 2.6

При відключенні одного з нагнітачів характеристика мережі змінюється, зростаючи щодо крутості через обмеження площі поперечного перерізу для проходу повітря між точками 1 і 2. Робоча точка зміщується з положення А на положення А' (див. рис. 4.14). У такій ситуації параметри роботи нагнітача стають наступними: $L1(1) > L1(1+1)$, $P1(1) < P1(1+1)$, та $N1(1) > N1(1+1)$. Ця зміна може спричинити перегрівання обмоток електродвигуна. Тому при вимкненні одного з нагнітачів необхідно закрити його індивідуальну ділянку клапаном (щоб уникнути непотрібного протікання газу через різницю тиску $P2 - P1$). Водночас до мережі, де залишився активний нагнітач, потрібно вводити додатковий тиск $\Delta PШ$, так щоб робоча точка перемістилася в положення А". При цьому витрати потужності залишаються на рівні $N1(1+1)$, уникнення перегрівання електродвигуна залишається досягнутим.

У разі паралельної роботи нагнітачів, що мають різні характеристики видається доцільним визначати середній ККД цих нагнітачів:

$$\eta_{CP} = \frac{\frac{P_1 L_1 + P_2 L_2}{P_1 L_1 + P_2 L_2}}{\frac{\eta_1}{\eta_2}} \quad (2.1)$$

З формули (2.1) випливає, що більш потужніші нагнітачі мають працювати із максимальним ККД, а регулювати витрату в системі доцільніше менш потужними нагнітачами.

Розглянутий метод побудови сумарної характеристики нагнітачів можливо застосовувати за будь-якого числа нагнітачів.

4. Послідовне вмикання нагнітачів

Послідовне увімкнення двох або більшої кількості нагнітачів використовується у випадку, коли тиск, що створюється одним нагнітачем, недостатній для подолання опору мережі.

Під час послідовного ввімкнення нагнітачів однакова кількість газу послідовно проходить через кожен з них, забезпечуючи необхідний тиск для подолання опору мережі. Це призводить до збільшення загального статичного тиску порівняно з сумою статичних тисків, що генерують окремі нагнітачі. Наприклад, у випадку трьох однакових послідовно ввімкнених нагнітачів загальний тиск становить $3P_1(1+1+1)$.

Якщо потужніший нагнітач увімкнути після менш потужного, то можлива ситуація, коли подача менш потужного нагнітача перевищить його власні максимальні значення. Це призведе до того, що менш потужний нагнітач стане опором для потужнішого. У такій ситуації, при збереженні напрямку подачі ($L > 0$), тиск буде відмінним по обидва боки нагнітача, а різниця між цими тисками змінить свій знак.

Робота нагнітача відбувається в різних квадрантах: перший - $L > 0$ і $P > 0$, другий - $L < 0$ і $P > 0$, третій - $L > 0$ і $P < 0$. Але робота в III квадранті не можлива, оскільки потік не може повертатися у зворотному напрямку через нагнітач ($L < 0$), якщо тиск перед ним вищий, ніж за ним. Зазвичай характеристику вимірюють лише в першому квадранті, де нагнітач працює стандартно, оскільки для вимірювання в другому і четвертому квадрантах потрібне спеціальне обладнання.

5. Система керування компресорною установкою із перетворювачем частоти

Найбільша перспектива полягає в застосуванні перетворювачів частоти для регулювання роботи компресорів. Ці пристрої дозволяють плавно контролювати оберти електродвигуна компресора, забезпечуючи стабільний тиск у системі при різних рівнях газу, який перекачується. При невеликій витраті газу двигун працює з мінімальною швидкістю, необхідною лише для підтримки потрібного тиску, і ефективно використовує енергію. При збільшенні витрати газу перетворювач підвищує оберти електродвигуна, щоб збільшити продуктивність компресора при збереженні стабільного тиску.

Функціональна схема на рисунку 2.7 відображає управління електродвигуном компресора за допомогою перетворювача частоти Micromaster440 від "Siemens". Система отримує вхідні сигнали: бажане значення тиску і реальний тиск, отриманий від датчика тиску, який знаходиться у ланцюзі зворотного зв'язку. Розбіжність між реальним і заданим тиском перетворюється ПІД-регулятором в сигнал для задання частоти перетворювача. Під впливом цього сигналу перетворювач змінює частоту обертання електродвигуна компресора з метою зведення різниці між бажаним і реальним тиском до мінімуму.

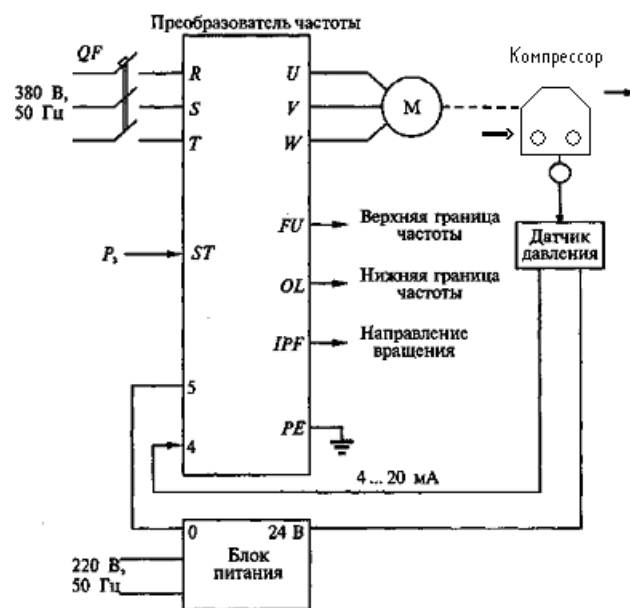


Рис. 2.7

Ця схема є модульною і має застосування для створення будь якого проєкту, в якому буде реалізовано цей алгоритм керування.

Сучасні перетворювачі частоти вміщують в собі програмні можливості, які дозволяють створювати системи керування без необхідності використання додаткового апаратного забезпечення. Вони вбудовують у себе функціонал для виконання порівняння та ПІД-регулювання. Проте у складних системах, що регулюють тиск в системі за допомогою простих засобів реєстрації, може виявитися недостатнім. Тому такий метод

регулювання часто поєднують з мікропроцесорними системами керування для досягнення оптимальних результатів.

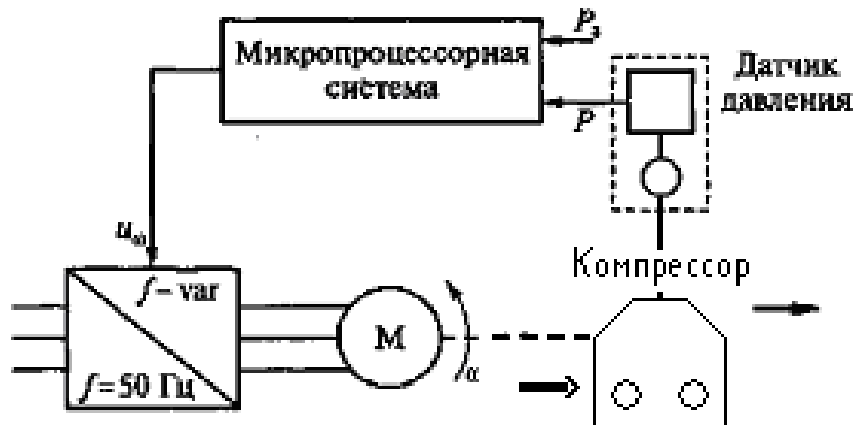


Рис. 2.8

У цій системі керування (рис. 2.8) залучено мікропроцесорну систему та перетворювач частоти, який відповідає за регулювання подачі компресора шляхом зміни його обертової частоти. Функції, які визначають поведінку вхідних і вихідних сигналів, а також ухвалення рішень, визначаються через програмне забезпечення, яке було розроблене та реалізоване в контролері даної системи. Цей контролер відповідає за моніторинг ходу технологічного процесу.

Система отримує значення тиску P через датчик, яке після аналого-цифрового перетворення надходить у вигляді цілочисельних даних (від 0 до 4000) до мікропроцесорної системи управління. Для більш точного керування процесом використовується динамічне математичне моделювання, яке охоплює складні форми аналізу середовища. Система також опрацьовує непрямі змінні, такі як швидкість зміни тиску (vP), що відображає динаміку процесу, і враховує особливості внутрішнього завдання регулювання.

Система керування електроприводом компресора використовує сигнал швидкості, що надходить з цифроаналогового перетворювача мікропроцесорної системи. Цей сигнал формує керуючий сигнал для зміни обертової швидкості, яка регулюється цілими числами. Зміна швидкості

обертання може мати кілька рівнів у лінгвістичних змінних, що визначаються в залежності від ступеня та складності регулювання динаміки процесу.

Основні правила функціонування системи формуються на основі принципів роботи та регулювання. Для аналізу всіх можливих сценаріїв функціонування системи складається таблиця умов, де стовпчики представляють умови одного параметра, рядки - умови іншого параметра, а відповідні висновки заносяться в їх перетини.

Таким чином використання частотно-регульованого приводу має додаткові переваги:

- Зменшується знос комутаційної апаратури, оскільки відсутні великі пускові струми при увімкненні двигуна компресора.
- Оптимізується тиск у пневмомережі, що зменшує витрати стиснутого повітря.
- Підвищується термін служби електродвигуна завдяки зниженню навантаження та відсутності важких пускових режимів.

3. СТВОРЕННЯ ЛОГІЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КОМПРЕСОРНИМИ УСТАНОВКАМИ

3.1 Аналіз та розробка структурної схеми конструктивних і технологічних елементів механізму руху поршневого компресора

Поршневий компресор належить до складних систем з великою кількістю конструктивних і технологічних елементів, які можуть налічувати від 10^4 до 10^6 одиниць. Один із підходів до проектування таких складних систем полягає в застосуванні сучасних інформаційних технологій та CALS-методології, яка визначає стандарти взаємодії між суб'єктами на основі концепцій та правил.

Використання нових інформаційних технологій призводить до необхідності перегляду звичних підходів до проектування. Отримання лише геометричних чи математичних моделей вже недостатнє. Сьогодні важливо створювати динамічні 3D-моделі, які повністю відображають структуру виробу та його взаємодію з іншим обладнанням. Створення повноцінної електронної моделі продукту є основним завданням CALS-технології.

Розробка будь-якої складної системи починається з аналізу її структури та функцій, включаючи всі підсистеми. Для цього використовується сімейство методологій моделювання IDEF, які дозволяють досліджувати структуру, параметри та характеристики об'єктів у моделюванні. В даний час набір методологій IDEF включає різноманітні приватні методики для моделювання систем, що дозволяють вивчати їхні взаємозв'язки та особливості.

IDEF0 — це методологія моделювання, яка використовує наочну графічну мову IDEF0 для створення функціональної моделі. Ця модель відображає структуру, процеси та функції системи у вигляді взаємопов'язаних функціональних блоків. Вона також показує потоки інформації та матеріальних об'єктів, які обробляються цими функціями.

Використання IDEF0 для моделювання є початковим етапом дослідження будь-якої системи.

IDEF1 — це методологія, яка використовується для створення інформаційної моделі, що представляє структуру та зміст потоків інформації всередині системи, необхідних для підтримки її функцій. Ця методологія дозволяє відображати та аналізувати структуру цих потоків і зв'язки між ними.

IDEF1X (IDEF1 Extended) - це методологія, спрямована на створення реляційних структур. Вона входить до групи методологій "Сутність-взаємозв'язок" і застосовується для моделювання реляційних баз даних, що пов'язані з системою, що досліджується.

IDEF2 - це методологія, спрямована на динамічне моделювання розвитку систем. Вона дозволяє створювати динамічну модель поведінки функцій, інформації та ресурсів системи, які зазнають змін у часі.

IDEF3 - це методологія моделювання процесів у системі, спрямована на створення сценаріїв та опис послідовності операцій для кожного процесу.

IDEF4 — це методологія об'єктно-орієнтованого проектування та аналізу систем. Вона надає засоби для наочного відображення структури об'єктів і принципів їх взаємодії, що дозволяє аналізувати й оптимізувати складні об'єктно-орієнтовані системи.

IDEF5 - це методологія, спрямована на створення онтологій або словників для дослідження складних систем. Шляхом визначення термінів та правил ця методологія дозволяє описати основні концепції системи. Це дає змогу формулювати достовірні висновки про стан системи в певний момент часу, що використовуються для подальшого її розвитку та оптимізації.

Системний підхід вимагає розгляду об'єкта як одного цілого, подібного до функціонального блоку зі своїми входами та виходами. Контекст моделі визначає межі процесу та його зв'язки з навколишнім середовищем і іншими процесами, розглядаючи модель процесу як частину загального цілого. В IDEF0-моделі контекст включає визначення єдиної точки зору на об'єкт

моделювання, його повний та точний опис, відомий як мета моделі. Контекст системи у IDEF0 відображається через контекстну діаграму, а діаграми більш низького рівня деталізують окремі аспекти системи.



Рис. 3.1- Контекстна діаграма механізму руху та врівноваження ПК

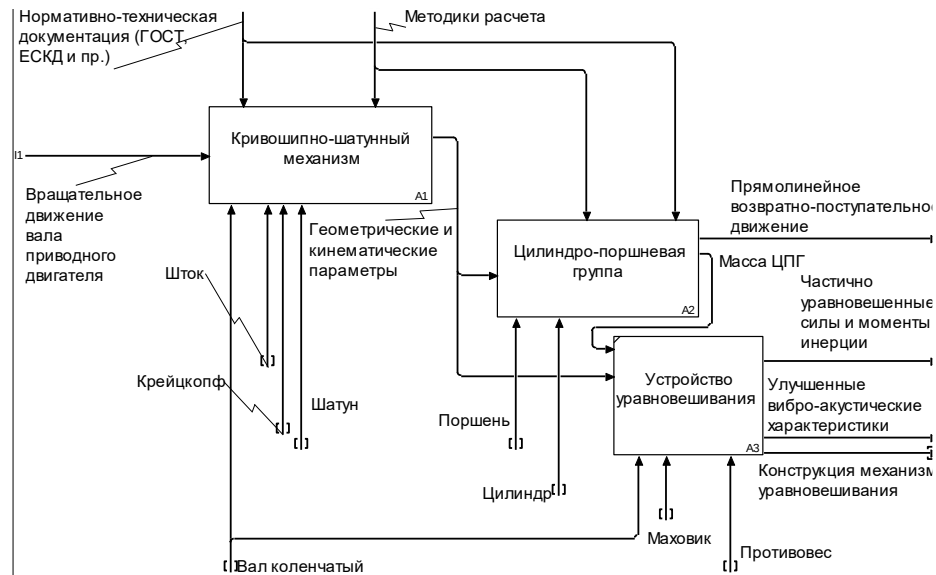


Рис. 3.2 - Структурно-функціональна діаграма механізму руху та врівноваження ПК

Контекстну діаграму механізму руху й врівноваження ПК наведено на рис. 3.1. На рис. 3.2 зображено структурно-функціональну діаграму механізму руху та врівноваження ПК.

Методологія IDEF0 базується на процесі декомпозиції, який ґрунтується на об'єктно-орієнтованому підході до розгляду об'єкта проектування як системи взаємопов'язаних елементів. Отримана під час аналізу інформація представляється у вигляді ієрархічної структури за допомогою графічних діаграм дерева вузлів.

За принципами об'єктно-орієнтованого підходу до проектування, важлива глибока декомпозиція структури виробу на рівні конструктивних та технологічних елементів, які ідентифікуються за єдиним набором умовних позначень. Таким чином, пропонується розглянути структурну схему механізму руху та врівноваження поршневого компресора як системи (СУПК). Ця схема виділяє основні функціональні, конструкторські та технологічні елементи, що складають цей компресор.

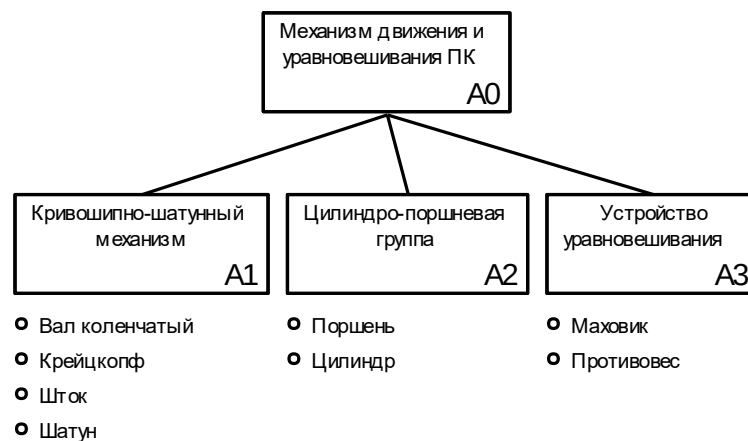


Рис. 3.3 - Верхні рівні (0-й - 2-й) діаграми вузлів

На найвищому, нульовому рівні (згідно з рис. 3.3), розташований сам поршковий компресор, розглянутий як метасистема. У цій метасистемі виділено три підсистеми першого рівня: кривошипно-шатунний механізм, циліндро-поршнева група та механізм урівноваження. Під час подальшої

декомпозиції враховуються підсистеми першого рівня та так далі, при цьому кожна з них розглядається як система на наступному рівні (рис. 3.4).

Декомпозиція кожної з підсистем на всіх рівнях дозволила створити діаграму, яка представляє собою структурну схему об'єкта моделювання. На цій діаграмі відображені основні конструктивні та технологічні елементи, а також їхні характеристики. Розроблена схема враховує унікальні особливості конструкції та досить повно описує модельовану систему на рівні конструктивних та технологічних елементів (КЕ та КТ).

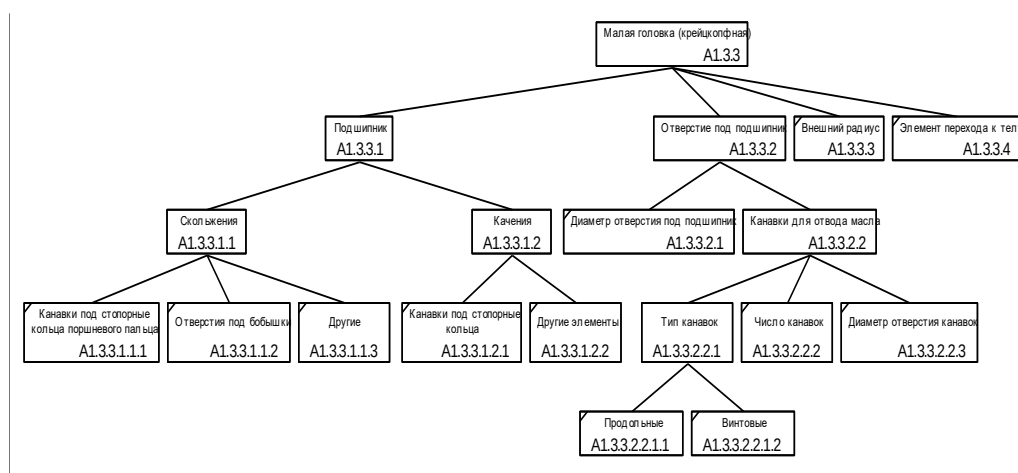


Рис 3.4 - Підсистема четвертого рівня

Після аналізу отриманої діаграми отримано такі результати:

- Створено список основних техніко-економічних характеристик, які відображають різноманітні можливості виконання цього об'єкта.
- Розроблено бази даних стандартизованих та уніфікованих деталей, необхідних для проектування даного поршневого компресора.
- Складено перелік даних, які використовуються як вихідні для виконання проектувальних та перевірочних розрахунків.
- Визначено перелік необхідних математичних моделей для конструктивних та технологічних елементів для розроблення системи автоматизованого проектування СУПК.

3.2 Розгляд віброакустичних характеристик отриманої моделі

У машинах даного типу внаслідок зворотно-поступального руху поршня виникають нестационарні динамічні впливи, що мають більш складну природу вібраційного стану, у порівнянні з роторними машинами. Це призводить до появи додаткових джерел вібраційного впливу, а саме:

неврівноважені сили інерції обертових F_r та поступально рухомих мас F_s ;

момент сил інерції M_i обертових та поступально рухомих мас;

перекидний момент M_{opr} ;

крутильні коливання колінчастого вала;

пульсація тиску газів у циліндрах та міжступеневих комунікаціях;

удари елементів рухомого механізму, циліндро-поршневої групи (ЦПГ) й клапанів.

Одна з ключових особливостей діагностики поршневих машин полягає у тому, що коливання, спричинені несправностями, додаються до загального вібраційного стану, що виникає від нерівноважності мас. Це вимагає розгляду двох підходів:

1. Аналіз коливань компресора як цілісної системи, що виникають через його нерівноважність.

2. Аналіз вібрації окремих вузлів компресора, що походить від виявлених дефектів.

Одна з особливостей роботи поршневих машин - функціонування їх вузлів механізму руху під навантаженням, яке циклічно змінюється. Це призводить до ударів у цих вузлах. Розрахунок швидкості зіткнення та часу виникнення ударних імпульсів для кожного з'єднання дозволяє виявити їх у віброакустичному сигналі. В результаті динамічного аналізу механізму руху поршневого компресора з урахуванням зазорів у рухомих з'єднаннях отримані:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_j} - \frac{\partial T}{\partial q_j} = Q_j + Q_j^R \quad (3.1)$$

$$Q_j^R = \sum_{a=1}^S \lambda_a \frac{\partial f_a}{\partial \dot{q}_j}$$

де λ_a - множник, який характеризує реакцію зв'язку; T - кінетична енергія механічної системи (рухомий механізм компресора), Q_j^R і Q_j - відповідно узагальнена реактивна та активна сили; f_a - рівняння зв'язку контактного руху деталей; R - кількість узагальнених координат.

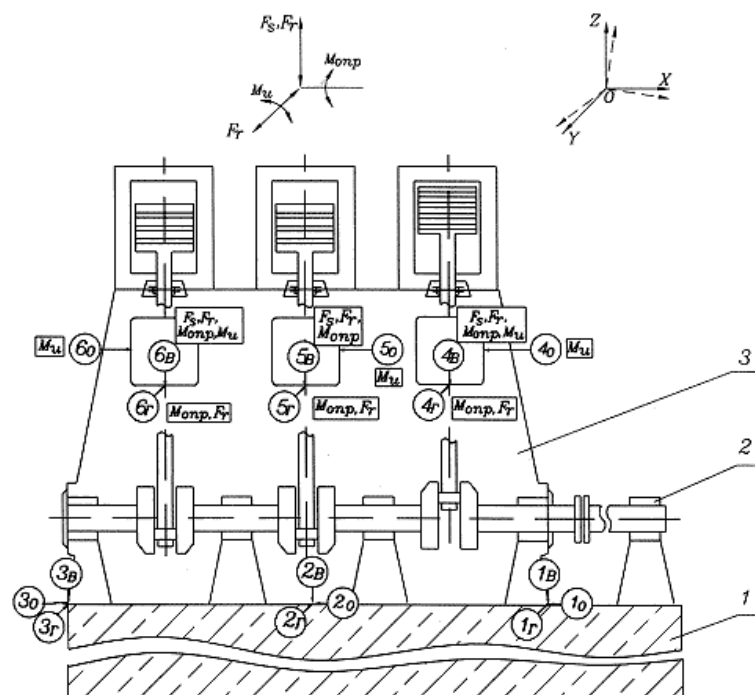


Рис. 3.5 - Схема компресора з контрольними точками вимірювання вібрації: 1-6 - контрольні точки; 1 - фундамент; 2 - електродвигун; 3 - станина компресора.

У відносних координатах q_j враховувався рух взаємного з'єднання деталей у місцях зазорів та кут повороту колін вала. Зазори враховувалися у вузлах "поршень-циліндр", "черевик крейцкопфа - направляюча" і також у підшипниках ковзання крейцкопфа та шатунного вузла. Уведення в рівняння руху реактивної складової Q_j^R надало змогу описати увесь цикл

віброударного режиму роботи механізму за допомогою одних й тих самих залежностей.

Під час моделювання для виявлення важливих діагностичних ознак у амплітудному спектрі було встановлено основні характеристики взаємодії між функціональними вузлами:

$$P(k) = \frac{2\tau \max T}{\pi} \frac{\cos(\frac{k\pi\tau}{T})}{T^2 - 4k^2\tau^2} \quad (3.2)$$

3.3 Моделювання алгоритму керування в програмному пакеті MATLAB

Були розроблені математичні моделі для проведення розрахункового аналізу різних схем циклів скраплення, включаючи одноступеневі та двоступеневі схеми. Ці моделі були реалізовані для широкого діапазону тисків і температур газу на вході в установку з переробки природного газу: від 3,5 до 5,5 МПа для тиску і від 233 до 288 К для температури.

Моделювання динаміки руху компресора з врахуванням зазорів дозволяє визначити силові параметри у вузлах, що потрібні для розрахунків на статичну та втомну міцність. Однак, наукові дослідження показали, що під час ударних моментів сили можуть бути більшими, ніж в моделях без урахування зазорів, навіть у два рази. Крім того, контактний рух деталей призводить до виникнення високочастотних коливань з циклічним навантаженням вузла. Величина реакції періодично змінюється від максимального до мінімального значення. Частота цих коливань залежить від швидкості обертання колін вала, рівнів зазорів у сполученнях механізму та інших факторів тертя. Високочастотні коливання з'являються через ривковий характер руху деталей, спричинений впливом зазорів у підшипниках.

Для досягнення оптимальних показників компресорної установки під час адаптації можна ігнорувати високочастотні вібрації, оскільки вони мають малий вплив у порівнянні з режимом номінальної роботи двигуна в сталому режимі. Однак, характеристику настановних ланок визначає співвідношення,

нормалізоване до загального рівня взаємодії, відносно опори. Тому, загальну формулу, яка встановлює зв'язок між вхідними вузлами компресора та вихідними параметрами проходження через трубопровід, можна сформулювати таким чином:

$$W(p) = \frac{K_{nn}}{p(T_{по}^2 p^2 + 2\xi T_{по} p + 1)} \quad (3.3)$$

При наявності системи стабілізації, що управляє як швидкістю, так і струмом якоря двигуна, можна знехтувати динамічними коефіцієнтами опору газу у трубопроводі та впливом поштовхоподібних сигналів на вихідних параметрах.

3.4 Синтез системи керування приводу компресорної установки

Необхідно скласти структурні схеми вихідної системи та визначити передавальні функції ланок.

Таблиця 3.1

Визначення передавальної функції ланок

Назва ланки	Передаточна функція	
	Формула	Розрахунок
Компресор	$W_K(p) = \frac{K_{по}}{p(T_{по}^2 \cdot p^2 + 2\xi T_{по} \cdot p + 1)}$	$W_K(p) = \frac{0.7}{S(0.009S^2 + 0.0054S + 1)}$
Ланка ланцюга якоря	$W(p) = \frac{1}{R_{я}(T_{я} p + 1)}$	$W_{ця}(p) = \frac{1}{100(0.5S + 1)}$
Механічна частина двигуна	$W(p) = \frac{R_{я}}{cT_{м} p}$	$W_{мч}(S) = \frac{100}{10^5 * 0.02S}$
Перетворювач	$W(p) = \frac{K_{п}}{T_{п} p + 1}$	$W_{п}(S) = \frac{7}{0.01S + 1}$

$$\begin{aligned}
 W_{\text{ИСХ}} &= W_{\Pi} * W_{\text{ЦЯ}} * W_{\text{МЧ}} * W_{\text{К}} = \\
 &= \frac{7}{0.01s + 1} \frac{1}{100(0.5s + 1)} \frac{100}{10^5 * 0.02s} \frac{0.7}{s(0.009s^2 + 0.0054s + 1)} \\
 &= \frac{0.00245}{0.0078s^4 + 0.5154s^2 + s^2}
 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Зробимо перевірку вихідної системи на стійкість, тобто отримаємо графік перехідного процесу (рис. 3.6):

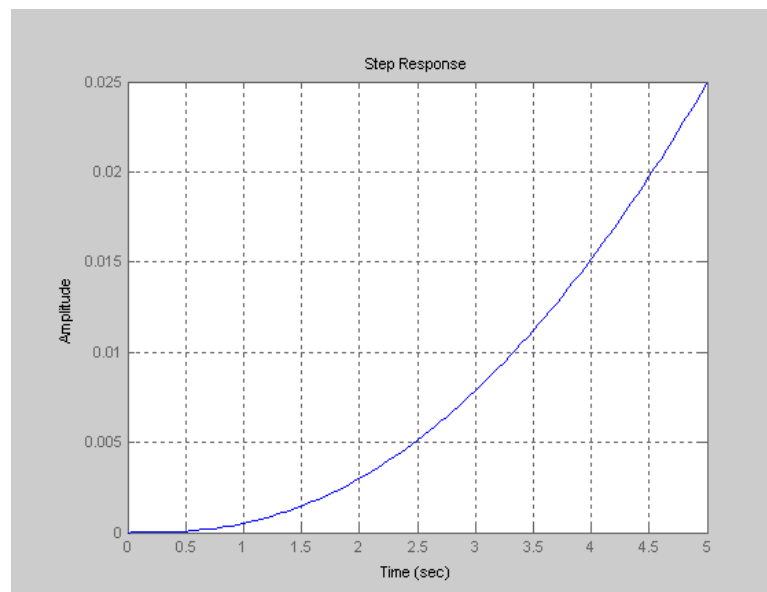


Рис.3.6 Графік перехідного процесу

З рис. видно, що перехідний процес є таким, що розходиться, отже висновок, вихідна система нестійка й потребує регулювання.

Перший контур регулювання

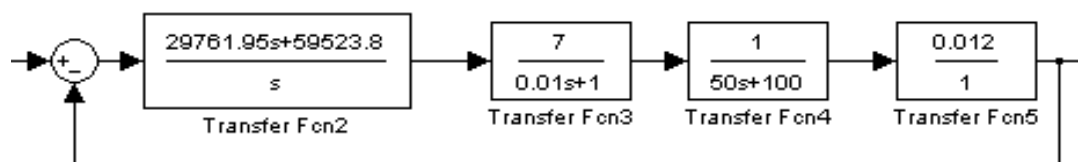


Рис.3.7

$$K_T = 0.1/8 = 0.012, \tag{3.5}$$

Знайдемо вихідну ПФ 1 контуру

$$W_{ИСХ1}(p) = W_{\Pi} * W_{ЦЯ} * K_T, \quad (3.6)$$

$$W_{ИСХ1}(p) = \frac{7}{0.01s + 1} \frac{1}{100(0.5s + 1)} 0.012 = \frac{0.00084}{(0.01s + 1)(0.5s + 1)}, \quad (3.7)$$

Будемо намагатися налаштовувати внутрішній контур на технічний оптимум.

При налаштуванні на цей параметр бажана нам передавальна функція має вигляд:

$$W_{ж1}(p) = \frac{1}{K_T 2 T_{\mu} p (T_{\mu} p + 1)} = \frac{1}{0.012 * 2 * 0.02 p (0.02 p + 1)} = \frac{1}{0.00048 p (0.02 p + 1)} \quad (3.8)$$

З іншого боку $W_{ж1}(p) = W_{пер1}(p) * W_{ИСХ1}(p)$, отже

$$W_{пер1}(p) = \frac{W_{ж1}(p)}{W_{ИСХ1}(p)} \quad (3.9)$$

$$W_{пер1}(p) = \frac{59523.8(0.5p + 1)}{p}, \quad (3.10)$$

Виконуємо перевірку. Знайдемо бажану ПФ замкнутої системи

$$\begin{aligned} \Phi_{ж1}(p) &= \frac{W_{ж1}(p)}{1 + W_{ж1}(p)} = \frac{\frac{1}{0.02p(0.01p+1)}}{1 + \frac{1}{0.02p(0.01p+1)}} = \frac{1}{0.02p(0.01p+1) + 1} = \\ &= \frac{1}{0.0002p^2 + 0.02p + 1} \approx \frac{1}{0.02p + 1} \end{aligned} \quad (3.11)$$

Знайдемо ПФ замкнутого першого контуру

$$\Phi_1(s) = \frac{W_{пер1} * W_{ИСХ1}}{1 + W_{пер1} * W_{ИСХ1}} = \frac{1}{0.0002p^2 + 0.02p + 1}, \quad (3.12)$$

Для подальших розрахунків приймаємо

$$\Phi_1(s) \approx \frac{1}{0.02s + 1}, \quad (3.13)$$

Розрахунки виконано правильно, виконується умова: $\Phi_1(s) = \Phi_{ж1}(s)$.

Другий контур регулювання

Введемо другий контур регулювання

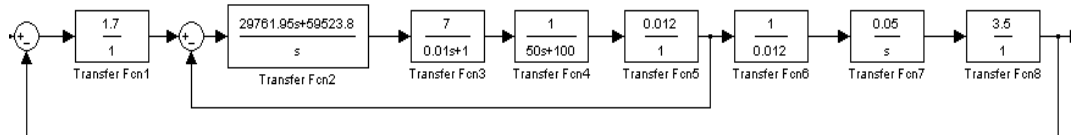


Рис.3.8

$$K = 27.8/8 = 3.5 \quad (3.14)$$

$$W_{исх2}(p) = K_T^{-1} \cdot \Phi_1(p) \cdot W_{мч}(p) \cdot K_C = \frac{1}{0.02p+1} * \frac{1}{0.012} * 3.5 * \frac{100}{10^5 * 0.02p} =$$

$$= \frac{230}{0.02p(0.02p+1)} \quad (3.15)$$

Бажана передавальна функція 2 контуру має такий вигляд

$$W_{ж2}(p) = \frac{1}{4k_C T_{\Pi} p (T_{\Pi} p + 1)} \quad (3.16)$$

$$W_{ж2}(S) = \frac{0.07}{0.01S(0.02S + 1)} \quad (3.17)$$

$$W_{пер2}(p) = \frac{W_{ж2}(p)}{W_{исх2}(p)} = 0.85 \frac{0.02p}{0.01p} = 1.7 \quad (3.18)$$

Знайдемо бажану ПФ замкнутої системи

$$\Phi_{ж2}(p) = \frac{W_{ж2}(p)}{1 + W_{ж2}(p)} = \frac{\frac{0.07}{0.01p(0.02p+1)}}{1 + \frac{0.07}{0.01p(0.02p+1)}} = \frac{0.07}{0.01p(0.02p+1) + 0.07} = \frac{1}{0.0028p^2 + 0.14p + 1}; \quad (3.19)$$

Знайдемо ПФ замкнутого першого контуру

$$\Phi_2(p) = \frac{W_{пер2} * W_{исх2}}{1 + W_{пер2} * W_{исх2}} = \frac{1}{0.0028p^2 + 0.14p + 1}, \quad (3.20)$$

$$\Phi_2(S) \approx \frac{1}{0.14p + 1} \quad (3.21)$$

Третій контур регулювання

Введемо третій контур регулювання:

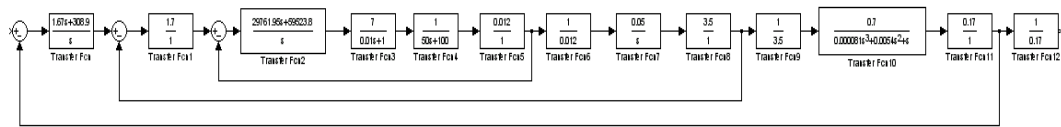


Рис.3.9

$$K_D = 8/60 = 0.14 \quad (3.22)$$

$$W_{ucx2}(p) = K_C^{-1} \cdot \Phi_2(p) \cdot W_K(p) \cdot K_D = \frac{1}{0.14p+1} * \frac{0.7}{p(0.009^2 p^2 + 0.0054p+1)} * \frac{1}{3.5} * 0.17 =$$

$$= \frac{0.033}{(0.14p+1)p(0.009^2 p^2 + 0.0054p+1)*0.28} \quad (3.23)$$

Бажана передавальна функція 3 контуру має такий вигляд

$$W_{ж2}(p) = \frac{1}{8k_D T_M p(T_M p + 1)}, \quad (3.24)$$

$$W_{ж2}(S) = \frac{0.74}{0.02S(0.02S + 1)} \quad (3.25)$$

$$W_{рег3}(p) = \frac{W_{ж2}(p)}{W_{ucx2}(p)} = \frac{(0.0054p+1)p*0.28}{1.36*0.02p*0.033} = \frac{308.9(0.0054p+1)}{p} \quad (3.26)$$

Знайдемо бажану ПФ замкнутої системи

$$\Phi_{ж3}(p) = \frac{W_{ж3}(p)}{1+W_{ж3}(p)} = \frac{\frac{0.74}{0.02p(0.02p+1)}}{1+\frac{0.74}{0.02p(0.02p+1)}} = \frac{0.74}{0.02p(0.02p+1)+0.74} = \frac{37}{0.02p^2 + p + 1}; \quad (3.27)$$

Знайдемо ПФ замкнутого першого контуру

$$\Phi_2(p) = \frac{W_{рег2} * W_{ucx2}}{1+W_{рег2} * W_{ucx2}} = \frac{37}{0.02p^2 + p + 1}, \quad (3.28)$$

Знайдемо ПФ замкненої і розімкнутої системи

$$W_{раз} = \Phi_3 * \frac{1}{K_D} = \frac{37}{p(0.02p+1)} * \frac{1}{0.17} = \frac{217.6}{p(0.02p+1)}, \quad (3.29)$$

$$W_{зам} = \frac{W_{раз}}{1 + W_{раз}} = \frac{1}{0.00009p^2 + 0.0046p + 1}, \quad (3.30)$$

Перевіримо на стійкість систему, тобто отримаємо наступний графік перехідного процесу (рис. 3.10):

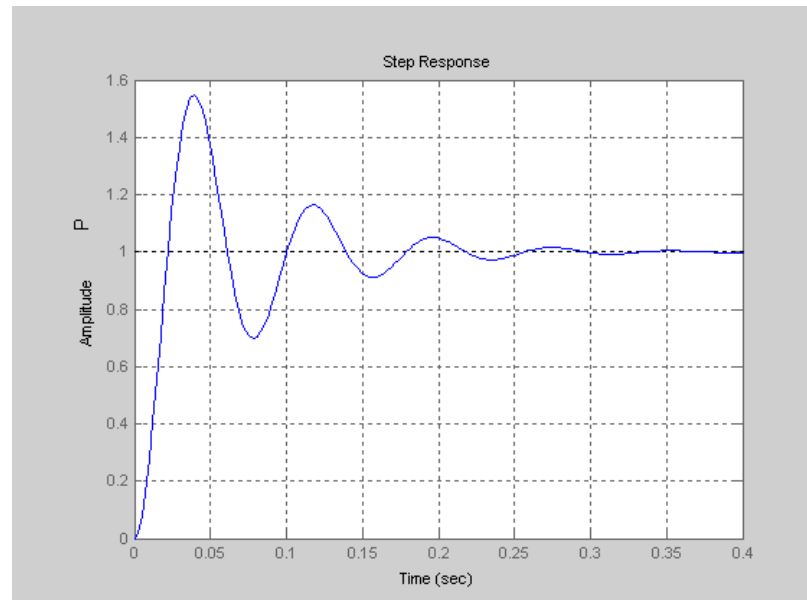


Рис.3.10 Графік перехідного процесу

З рис. 3.10 видно, що час перехідного процесу дорівнює 0.3 сек, отже, регулятор, що був вище розрахований підходить для даної системи й система є стійкою.

3.5 Реалізація коригувальних пристроїв на регуляторах

Через дискретний режим роботи контролера системи керування тепловою pompою, регулятори також повинні мати дискретне представлення (застосування Тустена або Z-перетворення). Існують різні методи створення цифрових регуляторів, які базуються на Z-перетворенні і теорії простору станів. Ці методи використовуються в особливо точних системах управління, але вимагають складних математичних перетворень.

Давайте розглянемо простіший підхід: спочатку створюємо безперервні регулятори за допомогою відомих методів автоматичного керування для безперервних систем. Потім ми переходимо до цифрового регулятора, який

еквівалентний синтезованому аналоговому. Завдання конвертації аналогових регуляторів вирішується шляхом апроксимації передавальної функції даного аналогового регулятора за допомогою дискретної передавальної функції цифрового регулятора.

У практичній інженерній роботі найбільш популярною стала апроксимація, отримана через білінійне перетворення або метод Тустена.

Згідно з вказаною апроксимацією:

$$z = \frac{1 + p \frac{T}{2}}{1 - p \frac{T}{2}}; \quad p = \frac{2}{T} \cdot \frac{z - 1}{z + 1}, \quad (3.31)$$

де T - інтервал дискретизації за часом

Однак, цей метод користуватися тільки у тих випадках, коли інтервал дискретизації за часом для цифрової системи T малий у порівнянні з найменшою постійною часу системи керування T_{μ} . Згідно із теоремою Котельникова - Шеннона безперервний сигнал досить точно може відновлюватися за сукупністю його дискретних значень, якщо

$$T \leq 0,5 T_{\mu}. \quad (3.32)$$

На практиці ж необхідно мати більший коефіцієнт запасу

$$T \leq (0,1 - 0,2) T_{\mu}. \quad (3.33)$$

Період дискретизації (T) визначається як зворотне значення частоти контролера. У даному випадку рекомендується використовувати частоту дискретизації аналого-цифрового перетворювача (АЦП), що складає 48 кГц. Вибір цієї частоти АЦП пов'язаний з важливістю швидкості оброблення інформації, що визначається швидкістю роботи саме АЦП.

$$T = \frac{1}{48000} = 0.0000208, \quad (3.34)$$

Перевіримо дотримання необхідної умови (теорема Котельникова - Шеннона)

$$T \leq 0,5 T_{\mu} \quad (3.35)$$

$$0.00001 \leq 0,5*0.02, \quad (3.36)$$

$$0.00001 \leq 0.01, \quad (3.37)$$

Умова дотримується, отже, тоді період дискретизації обрано правильно.

Переводимо у дискретний вигляд.

Синтез цифрових регуляторів за допомогою програми MatLab

$$W_{\text{per1}}(p) = \frac{29761.94p + 59523.7}{p}, \quad (3.38)$$

$$W_{\text{per1}}(z) = \frac{2979z - 2977}{z - 1}, \quad (3.39)$$

$$W_{\text{per1}}(p) = 1.7, \quad (3.40)$$

$$W_{\text{per1}}(z) = 1.7, \quad (3.41)$$

$$W_{\text{per3}}(p) = \frac{1.68p + 308.7}{p}, \quad (3.42)$$

$$W_{\text{per3}}(z) = \frac{1.672z - 1.668}{z - 1}, \quad (3.43)$$

4. ПРОЕКТУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНОГО ПАКЕТУ RATIONAL ROSE

4.1 Створення протоколу запису

На діаграмі варіантів використання зображено, що оператор визначає режим роботи через вибір варіанту використання "Remote Control". Після цього контролер, отримуючи дані від датчиків, керує пристроями у процесі. Контролер також надсилає інформацію про поточний стан процесу операторові у вигляді "Out info", як показано на діаграмі. Збереження роботи системи у вигляді "Out info" також є частиною представленої діаграми варіантів використання.

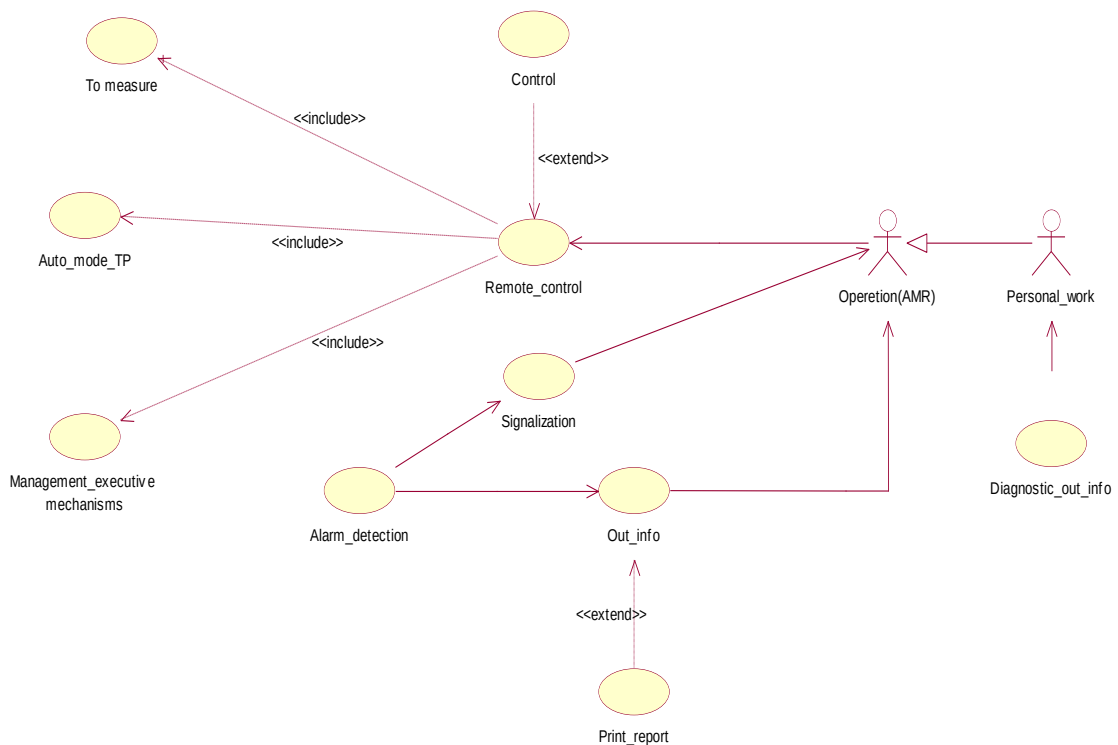


Рис. 4.1 - Діаграма варіантів використання

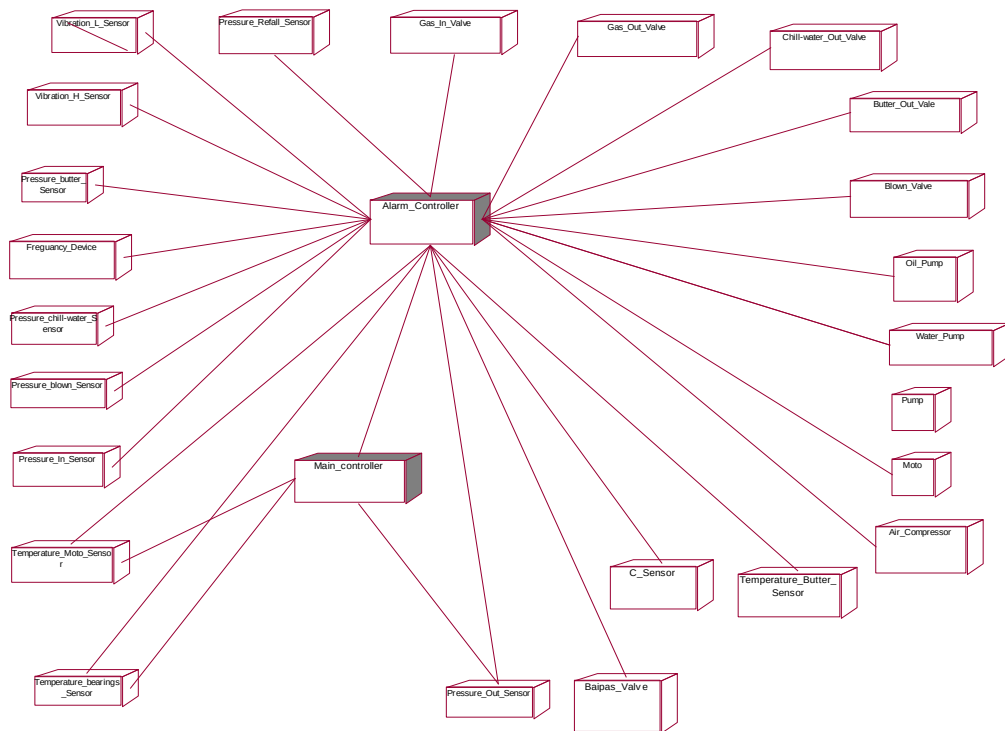


Рис. 4.2 - Діаграма топології

Якщо ми хочемо отримати повне фізичне уявлення системи керування, необхідно врахувати технологічну платформу, на якій вона буде реалізована. Після визначення основних функцій системи ми повинні звернутися до апаратної частини проекту, щоб побудувати діаграму топології (рис. 4.2). Ця діаграма є єдиним засобом візуального відображення системи в цілому, оскільки вона має відобразити всі особливості її реалізації на певній технологічній платформі.

Головним пристроєм у системі керування, який має функціональний зв'язок з усіма іншими пристроями і керує ними, є контролер, який відповідає встановленим вимогам до системи, що були визначені раніше.

Далі ми визначаємо, як саме пристрої, зображені на діаграмі топології, взаємодіють один з одним. Для цього спочатку класифікуємо пристрої залежно від їх функціональної ролі на такі категорії або класи:

- Контролер (Controller) відправляє запити до датчиків та керуючих сигналів до пристроїв, що виконують певні функції.

- Клапани (клас Valve) - відкриття та закриття.
- Датчик тиску (клас P_Sensor) - виміри тиску.
- Пристрій регулювання частоти (клас Frequency_Device) - завдання сигналів струму.
- Датчик температури (клас T_Sensor) - виміри температури.
- Датчик зміщення (клас C_Sensor) - виміри зміщення вала ротора.
- Датчик вібрації (клас V_Sensor) - виміри вібрацій.
- Двигун (клас Moto) - загальний клас об'єкта ЕД;
- Повітряний компресор (клас Air_Compressor) - загальний клас об'єкта компресор;
- Насос (клас Pump) - загальний клас об'єкта насос;
- Ресивер (клас Receiver) - загальний клас спускного механізму.

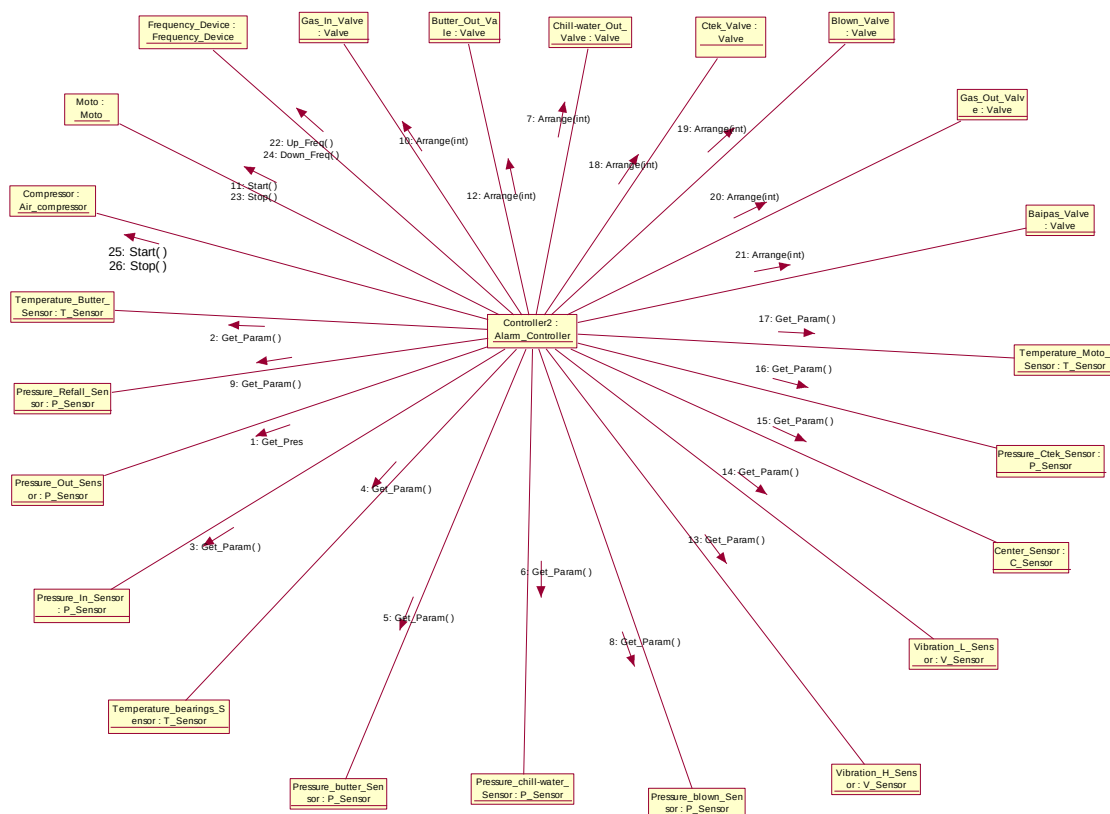


Рис. 4.3 - Діаграма взаємодії об'єктів системи.

Після того як зроблено декомпозицію системи (розбиття на класи), можна уявити її як сукупність об'єктів, які взаємодіють, відповідних класів (рис. 4.3).

На цій діаграмі нами прийнято такі позначення:

Frequency_Device - частотний регулятор електроприводу компресора;

Moto - двигун електропривода компресора;

Compressor - компресор подачі охолодження;

Oil_Pump - маслonaсос системи охолодження;

Water_Pump - водяний насос подачі системи охолодження;

Temperature_Buter_Sensor – датчик температури мастила;

Temperature_bearings_Sensor – датчик температури підшипників;

Temperature_Moto_Sensor – датчик температури електродвигуна;

Pressure_In_Sensor – датчик тиску газу на вході компресора;

Pressure_Out_Sensor – датчик тиску газу на виході компресора;

Pressure_Refall_Sensor – датчик перепаду тиску;

Pressure_butter_Sensor – датчик тиску мастила;

Pressure_chill-water_Sensor – датчик тиску охолоджувальної рідини;

Pressure_blowн_Sensor – датчик тиску обдуву повітря;

Pressure_Stek_Sensor – датчик тиску повітря в стійку;

Vibration_H_Sensor – горизонтальний датчик вібрації;

Vibration_L_Sensor – вертикальний датчик вібрації;

Center_Sensor – датчик осьового зсуву;

Gas_In_Valve - кран подачі газу на вхід компресора;

Gas_Out_Valve - кран викиду газу з компресора;

Butter_Out_Vale – клапан зливу мастила;

Chill-Water_Out_Valve – клапан зливання охолоджувальної рідини;

Stek_Valve – клапан подачі повітря вс тійку;

Blow_Valve - клапан подачі повітря на обдув ЕД;

Baipas_Valve - байпасний клапан.

З діаграми зрозуміло, що контролер надсилає сигнали керування класу Valve для відкриття (Open) або закриття (Close) відповідних клапанів. До датчиків T_Sensor, P_Sensor, V_Sensor, C_Sensor контролер надсилає запити на отримання відповідних параметрів (Get_Param). А щодо об'єктів класу Pump та Compressor, контролер посилає команди на вмикання (Start) або вимикання (Stop).

Генератор є функціональним блоком, який встановлює часові послідовності опитування датчиків. Коли контролер отримує сигнал від генератора, він розпочинає опитування датчиків.

Після визначення приналежності об'єктів до конкретних класів, ми деталізуємо кожен клас для встановлення характеристик об'єктів у системі.

Клас Valve

Так як клапани мають виконувати функції відкриття й закриття, клас містить атрибути - State, і два методи: Open(•) і Close(•).

Клас Sensor

Об'єднує у собі усі вимірювальні пристрої, які за потреби можуть запитати атрибут Param та метод Get_Param.

Клас Moto

Пристрій має виконувати функції включення і відключення, клас містить атрибути - State, та два методи: (Start) і (Stop).

Клас Frequency_Device

Пристрій здійснює регулювання частоти обертання електродвигуна, клас містить атрибути m_Freq та два методи: (Up_Freq) і (Down_Freq).

Клас Air_Compressor

Пристрій має виконувати функції включення й відключення, клас містить атрибути - State, та два методи: (Start) і (Stop).

Клас Pump

Об'єднує у собі всі насоси, які містять по два методи: (Start) і (Stop) та атрибут - State.

Клас Receiver

Об'єднує у собі регулювальні органи класу Valve спускання газу.

Клас Controller.

Повинен містити у собі усі введені оператором параметри технологічного процесу:

m_P_Gas_In_min - мінімальний вхідний тиск;
 m_P_Gas_In_max - максимальний вхідний тиск;
 m_P_Gas_Out_min - мінімальний вихідний тиск;
 m_P_Gas_Out_max - максимальний вихідний тиск;
 m_P_Gas_Defference_max - максимальний перепад тиску;
 m_T_Gas_Out_max - максимальна температура газу на виході;
 m_T_Gas_In_max - мінімальна температура газу на вході;
 m_Freq_max - максимальна частота обертання електродвигуна;
 m_C_max - максимальне значення зміщення валу;
 m_Vibr_max - максимальне значення вібрації валу;
 m_T_bearing_max - максимальна температура підшипників;
 m_T_moto_max - максимальна температура електродвигуна;
 m_T_Oil_max - максимальна температура мастила;
 m_P_Oil_max - максимальний тиск мастила;
 m_P_Oil_Reserv_max - максимальний тиск мастила з резерву;
 m_T_time - час опитування датчиків температури;
 m_P_time - час опитування датчиків тиску;
 m_C_time - час опитування датчиків зміщення;
 m_Vibr_time - час опитування датчиків вібрації;
 m_P_Water_max - максимальний тиск охолоджуючої води;
 m_P_Water_min - мінімальний тиск охолоджуючої води;
 m_P_Air_max - максимальний тиск повітря на обдування;
 m_P_Air_min - мінімальний тиск повітря на обдування;
 Усі ці параметри представлено на діаграмі класів рис. 4.4

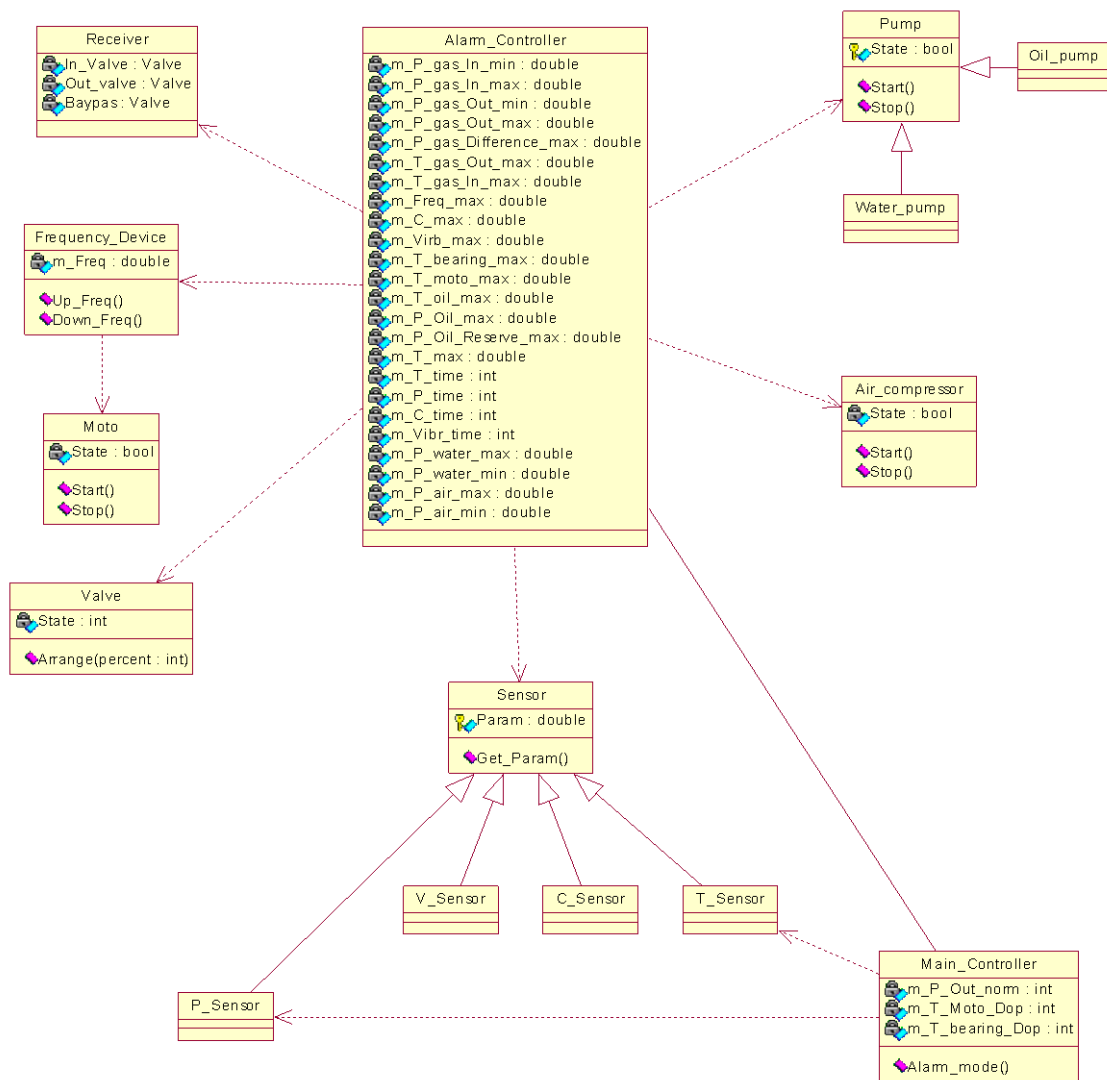


Рис. 4.4 - Діаграма класів системи

4.2 Побудова алгоритму роботи системи

Перед запуском системи управління оператор вводить параметри процесу, переконуючись, що всі попередні умови для запуску виконані. Після цього система активується оператором і переходить у автоматичний режим роботи до моменту зупинки оператором. Під час роботи система має автоматично виявляти можливі аварійні ситуації та надавати відповідні попередження. Оператор також може змінювати параметри в процесі роботи системи, якщо це необхідно.

Система працює наступним чином:

Перед запуском двигуна передбачається, що всі зовнішні параметри стиснення процесу перебувають у нормі.

Під час роботи система контролює параметри та виявляє будь-яке відхилення від норми, що може вплинути на нормальний хід реакції. У такому випадку система відправляє сигнал про ненормальний стан та блокує відповідний пристрій. Єдине винятком для блокування за межами циклу роботи - це тиск, температура і витрата циркулюючого газу.

Система постійно моніторить вхідні дані з датчиків, підтверджуючи активний стан системи. Дублювання даних і зовнішній звіт сприяють аналізу процесу стиснення.

Алгоритм обробки даних представлений на рис. 4.5

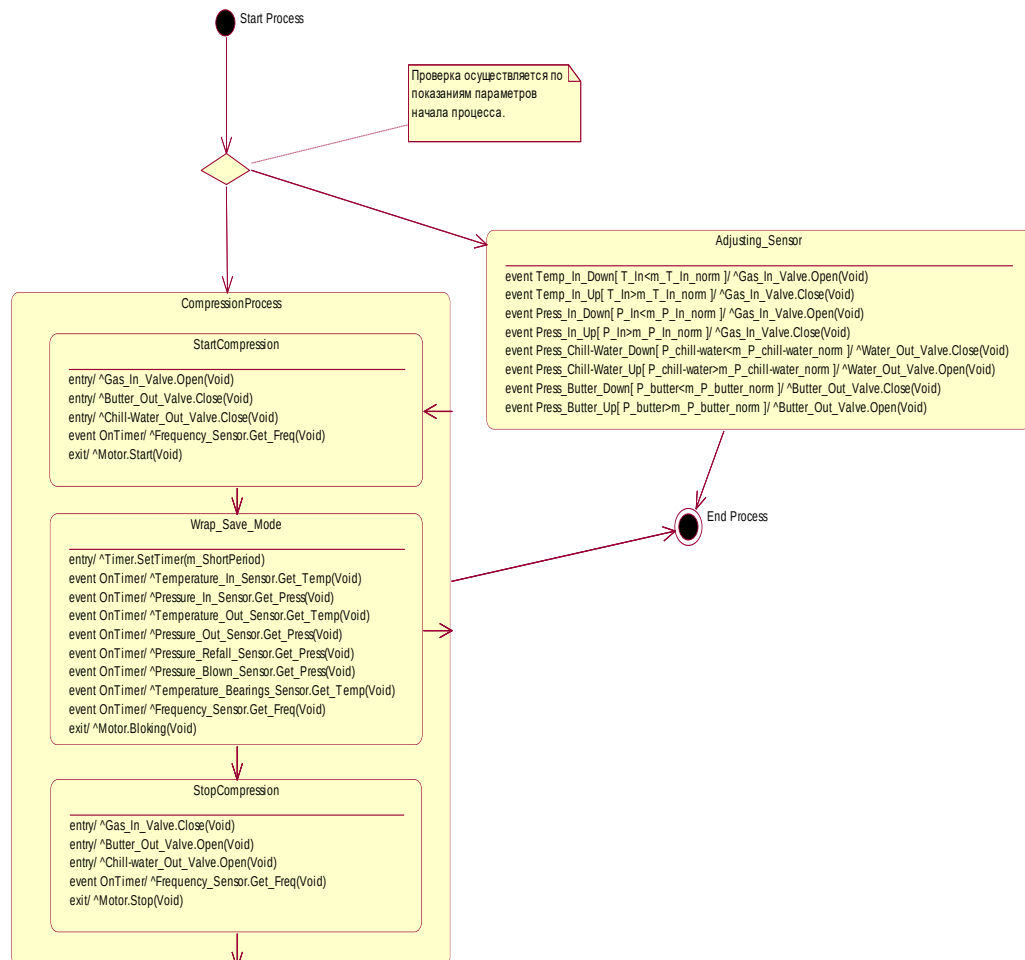


Рис. 4.5 - Діаграма активності, яка ілюструє оброблення даних

4.3 Генерація програмного коду

Клас у Rational Rose - це опис структури даних і зв'язків для подальшого створення об'єктів. Для того, щоб генератор Rational Rose міг створювати програмний код на основі цієї моделі, для кожного класу необхідно вказати мову програмування, на якій буде створений код. Також потрібно визначити компонент, де цей клас буде зберігатися.

Наприклад, якщо мовою для генерації коду вказано VC++, користувач отримує можливість доступу до ієрархії класів бібліотеки MFC за допомогою візуальних засобів Model Assistant. Тому перед тим, як генерувати код на Visual C++, необхідно створити діаграму компонентів, що відображає організацію та взаємозв'язки програмних компонентів, представлених у вихідному коді, двійкових або виконуваних файлах. Зв'язки на цій діаграмі відображають залежності одного компонента від іншого і позначаються спеціальними символами, наприклад, значком "залежності".

У цьому проєкті планується створення спрощеної діаграми компонентів, де кожен компонент відображатиме клас або його реалізацію. Варто зауважити, що під час розробки програмного коду можуть застосовуватися різноманітні підходи.

Для кожного класу створюються два файли: заголовковий (з розширенням .h), який містить опис класу, і файл реалізації (з розширенням .cpp), де знаходиться програмна реалізація методів класу.

Отже, на діаграмі компонентів кожен клас буде відображений двома компонентами: "Package Specification" (визначення пакету - заголовний файл .h) та "Package Body" (тіло пакету - файл .cpp).

Для простоти уявлення компоненти на діаграмі (рис. 4.6) мають ті самі назви, що й клас, який вони представляють.

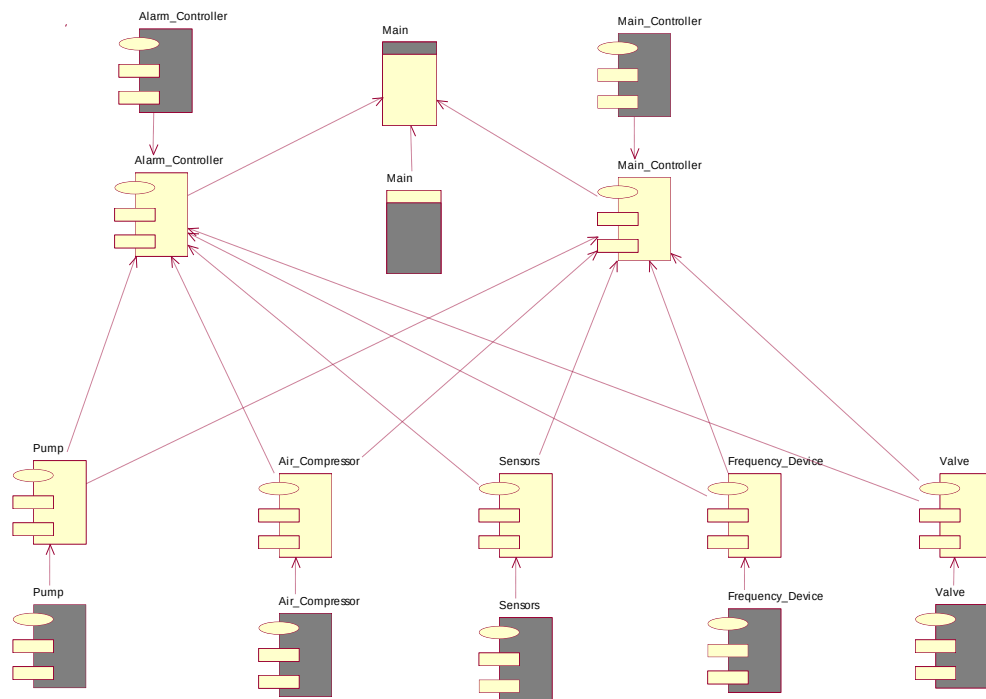


Рис. 4.6 - Діаграма компонентів

При створенні компонентів у специфікації кожного з них вказується мова програмування, на якій цей компонент буде реалізований (у нашому випадку - VC++). Також визначається, які саме класи включаються в компонент (це вказується на вкладці "Realizes" у специфікації компонента).

На діаграмі в кожен компонент включено лише один клас з тим самим ім'ям, що й компонент.

Після визначення реалізації та прототипів функцій, за допомогою інструменту Model Assistant для вказаних класів задаються такі параметри:

Для кожного оператора визначається тип значення, яке він повертає, параметри, що передаються йому, і тіло функції (Default Code Body).

У класі Controller визначається структура params і поля, які містяться в цій структурі. Ці поля представляють задані оператором параметри процесу.

Останнім кроком у створенні програмного коду на Visual C++ є асоціювання компонентів з проектом Microsoft Visual Studio 6.0. Це здійснюється за допомогою інструменту Component Assignment Tool

(знаходиться у меню Tools → Visual C++ → Component Assignment Tool...).

В цьому інструменті властивостях компонентів вказують наявний проект Visual Studio або створюють новий проект, у якому створюються класи, включені в обрані компоненти.

Також за допомогою цього інструменту можна включати класи в компоненти та асоціювати їх з мовою VC++ (якщо це ще не було зроблено) за допомогою методу Drag'n'Drop. Після того, як для всіх компонентів вказано проект, у який вони будуть включені, можна приступити до генерації коду (меню Tools → Visual C++ → Update Code...). Якщо при цьому було виділено клас або компонент, відбудеться оновлення його коду або його створення, якщо він ще не був згенерований.

5. АПАРАТНА ТА ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КОМПРЕСОРНОЮ УСТАНОВКОЮ

5.1 Апаратна реалізація керування КУ

Реалізація апаратної частини відповідає вимогам системи управління, що описані в розділах 2.3, 2.4, та враховує особливості технологічного процесу, наведені в пункті 1.8. Компанії, які спеціалізуються на створенні та налаштуванні систем автоматичного керування для промислових об'єктів у нафтохімічній галузі, здебільшого мають значний досвід у розробці подібних систем. Тому розумно використати готові рішення для побудови системи управління та використання необхідного обладнання. Багато компаній при проектуванні складних об'єктів використовують методології, які описані в пункті 3.1. Цей підхід дозволить ефективніше використовувати наявні ресурси.

Маючи на увазі розумні принципи, ми вважаємо, що всі об'єкти відповідають вимогам щодо якості, виконання і економічної доцільності, а також мають необхідні сертифікати Європейського союзу. Архітектура системи автоматизованого управління (САУ) дозволяє розширення та модернізацію, з урахуванням поточних і майбутніх вимог. Наявність систем діагностики та самодіагностики обладнання є важливою характеристикою. Також враховано блоки захисту від різних видів перешкод, включаючи електромагнітні та механічні.

5.2 Вибір платформи системи керування

Система управління, яка відповідає цим вимогам, може бути або відкритою для інтеграції стороннього програмного забезпечення, або представлена як готовий комплект програмного та апаратного забезпечення. Оберемо другий варіант через його ключові особливості:

- Повний набір технічної та програмної документації для встановлюваних компонентів;

- Необхідність додаткових покупок програмного забезпечення відсутня, оскільки структура та якість системи управління передбачають розробку засобів керування, що ефективно виконують свої функції.

- Інформаційний центр для технічної підтримки користувачів;

- Обширна база реалізованих принципів систем управління.

Однією із систем, що відповідають цим вимогам є - DeltaV, що є повнофункціональною розподіленою системою управління технологічним процесом. У цій системі пристрої FOUNDATION FIELDBUS, контролери та робочі станції співпрацюють, керуючи кожен своїм рівнем функцій.

Ці системи широко використовуються на російському ринку і мають добру репутацію завдяки різноманіттю встановлюваних модулів. Це дозволяє створювати навіть найскладніші системи керування на їх основі.

Але для правильного планування системи DeltaV важливе чітке визначення вимог до інтерфейсу програмного забезпечення для управління процесом та належна конфігурація робочої станції для встановлення цього програмного забезпечення.

Системи DeltaV виявляють ефективність у керуванні мережами різних розмірів. Вони мають гнучкі можливості планування і моделювання розмірів мережі, щоб система належним чином відповідала потребам управління процесом. Мінімальний набір компонентів для системи DeltaV можна побачити на діаграмі (рис. 5.1), де вказано кількість робочих станцій і контролерів разом з необхідним обладнанням, що має бути включено в систему.

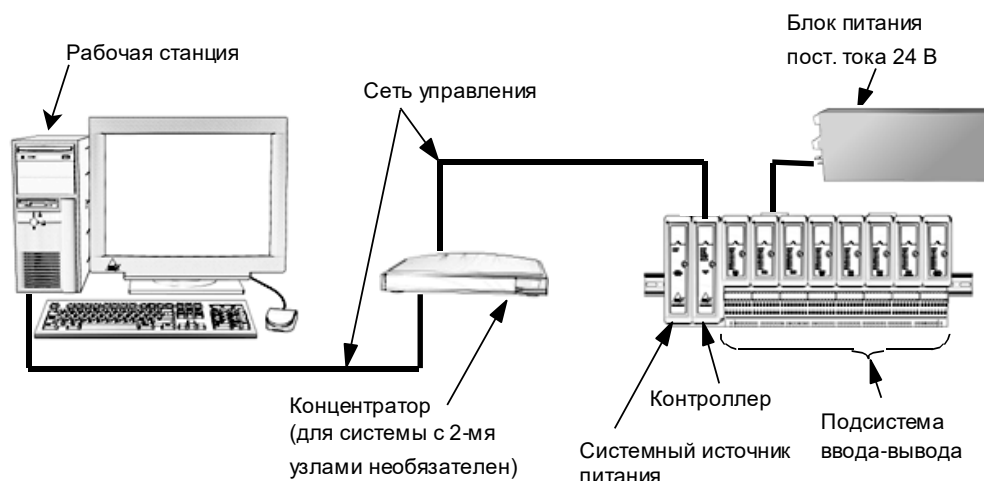


Рис. 5.1 - Мінімальний комплект системи DeltaV

Склад компонентів включає в себе наступне:

- Мережа управління, яка сприяє обміну даними між робочими станціями та контролерами.
- Робочі станції, що надають графічний інтерфейс користувача.
- Контролери, відповідальні за керування та обмін даними між підсистемою введення-виведення та мережею управління.
- Підсистема введення-виведення, що опрацьовує інформацію від польових пристроїв.
- Системне джерело живлення DeltaV.
- Групове джерело живлення для польових пристроїв, які підключені до системи DeltaV.
- Несучі панелі, розміщені на рейках DIN, які забезпечують розподіл живлення та обмін даними між контролерами та платами введення-виведення.

5.3 Вибір мережі керування

Мережа керування являє собою самостійну Ethernet-мережу, яка дозволяє обмін даними між контролером та робочою станцією. Для підключення комунікаційних ліній використовуються пристрої, такі як концентратори та комутатори Ethernet.

Під час створення топології мережі враховуються наступні аспекти:

- Мережа управління може об'єднувати до 120 вузлів.
- Мережа управління DeltaV відокремлена від інших мереж для забезпечення надійності та ефективності. Жодні інші пристрої або мережі не мають підключатися безпосередньо до мережі управління DeltaV.
- Обмін даними з іншими мережами та пристроями, що не входять до DeltaV, проводиться через Інтеграційні станції.

Ми виберемо для нашої потреб симплексну мережу керування з резервними контролерами, що відображено на схемі у рисунку 5.2.

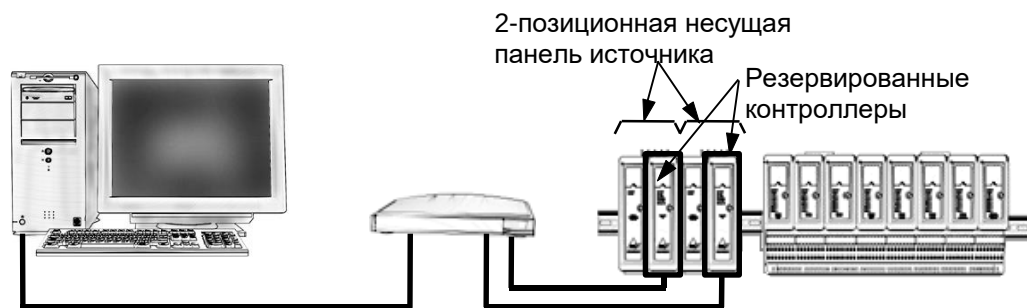


Рис. 5.2 - Симплексна мережа керування та резервовані контролери

Навіть якщо резервний контролер використовує два порти концентратора, його вважають одним вузлом. Для збільшення відстані між вузлами можна використовувати наступні методи:

- Перетворювачі середовища передачі даних.
- Каскадні концентратори.
- Концентратори зі стековим з'єднанням.
- Оптичні дистанційні розширювачі на основі волоконної оптики.

Перетворювачі середовища передачі даних

Перетворювачі середовища передачі даних дозволяють перетворювати сигнали між мідним кабелем 10BaseT та оптоволоконним кабелем та назад. Зазвичай, пару таких перетворювачів розміщують між портом концентратора та робочою станцією або контролером. Оптоволоконний кабель, який з'єднує

обидва перетворювачі, може мати значну довжину - від кількох сотень до навіть тисяч метрів. Кожна робоча станція або контролер в мережі управління може бути під'єднана до концентратора через такі перетворювачі, що дозволяє суттєво збільшити відстань між вузлами. У системі DeltaV використовуються перетворювачі, які відповідають стандарту IEEE 802.3 (Ethernet), відповідають специфікації 10Base-FL для оптоволоконного кабелю і мають щонайменше один роз'єм 10BaseT для мідного кабелю та одну пару роз'ємів типу ST для оптоволоконного кабелю. Для кожного оптоволоконного кабелю потрібні два перетворювачі: один для переходу від мідного кабелю до оптоволоконного та інший - для зворотного переходу до мідного кабелю.

Різні виробники обладнання пропонують перетворювачі середовища передачі даних з різними можливостями щодо відстані передачі сигналу, починаючи від кількох сотень метрів і до 15 кілометрів. Деякі з таких компаній, що спеціалізуються на виробництві подібного обладнання, включають Black Box (www.blackbox.com), Hirschmann (www.hirschmann.de), Transition Networks (www.transition.com) та інші.

5.4 Вибір структури контролера та його складу

На рисунку 5.2 видно, що ми використовуємо резервований контролер, що підвищує загальну надійність роботи системи. Цей контролер складається з двох плат і відповідає за керування та контроль обміну даними між підсистемою вводу-виводу та мережею керування. Його можна налаштувати для виконання різних функцій, таких як збір даних, обчислення, послідовне або дискретне керування, регулювання та управління періодичними процесами або рецептурами.

На рис. 5.3 показано резервований контролер, який встановлено на 2-слотових несучих панелях.

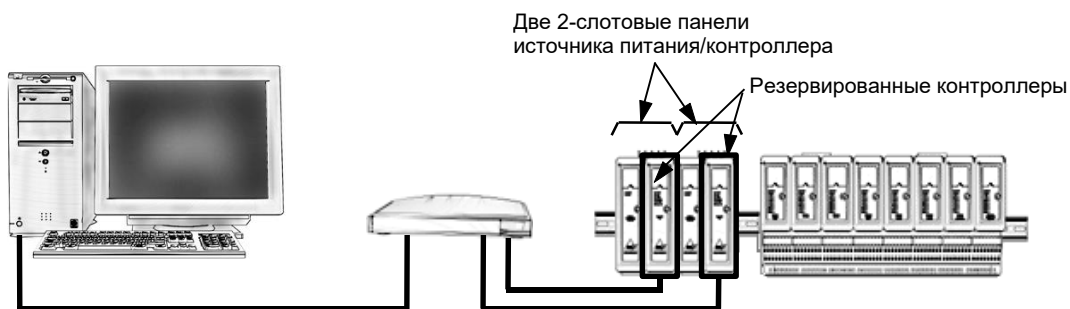


Рис. 5.3 - Резервированный контролер та несучі панелі

Вибір обладнання контролера

У системі DeltaV використовуються контролери M3, M5 і M5 Plus. Є обмеження, яке показує, що розширення системи обмежується тим, що при додаванні більше ніж 3 контролерів кожний наступний контролер забезпечує менший приріст продуктивності, ніж попередній.

Кожен модуль контролера монтується у правий слот 2-слотової несучої панелі джерел живлення контролерів. Отже, для кожного резервованого контролера ми встановлюємо дві такі 2-слотові несучі панелі. Для нашої системи ми обираємо використання контролера M5 Плюс через його вищу сумісність з програмним пакетом Професійний Плюс.

Ліцензування контролерів

Для завершення ліцензування системи DeltaV на рівні всієї системи важливо оцінити загальну кількість ТПП (тегів параметрів пристроїв), які будуть використовуватися для моніторингу та керування процесами. Параметри, які використовуються для перегляду, архівування (запису історії), масштабування та спрацьовування сигналів тривоги, вважаються параметрами, що використовуються для моніторингу. Параметри, які виконують будь-які інші функції, відмінні від вказаних, розглядаються як параметри, використовувані для управління. Оцінка цих категорій ТПП дозволяє визначити необхідний рівень ліцензування для системи DeltaV.

Теги тільки для відображення

Теги тільки для відображення (ТДО) не включаються до числа ТПУ (тегів параметрів пристроїв) при підрахунку ліцензій для системи DeltaV. Їх

функціональний обсяг обмежений можливостями продуктів DeltaV, які детально описані в Додатку А. ТДО пройдуть через контролер DeltaV та інтеграційну станцію для використання в системі. Вони не використовуються для керування або генерації сигналів тривоги, але можуть відображатися, реєструватися в трендах та зберігатися в історії на робочих станціях.

5.5 Підсистема вводу-виводу

Підсистема вводу-виводу DeltaV має можливість включати інтерфейсні блоки для різних типів з'єднань: аналогового та дискретного введення-виведення, модулі HART, послідовний інтерфейс, підтримку польової шини FOUNDATION, а також AS-i і Profibus DP. Кожен з цих інтерфейсів складається з електронної плати вводу-виводу та клемного блоку. До контролера можна підключити до 64 таких інтерфейсів у будь-якій комбінації, якщо загальна кількість ТПУ не перевищує 500. Крім того, в системі DeltaV може бути присутня іскробезпечна підсистема вводу-виводу для з'єднання з польовим обладнанням у вибухонебезпечних зонах. При плануванні нашої системи, розглянемо інтерфейсні блоки, необхідні для її реалізації, такі як блоки традиційного аналогового введення-виведення, послідовного інтерфейсу та підтримки польової шини FOUNDATION.

Блоки традиційного аналогового вводу-виводу

Система DeltaV підтримує різноманітні аналогові сигнали, такі як 4-20 мА, 1-5 В, мілівольтні, опірні сигнали, а також стандартні вхідні сигнали від термопар і термоопор. Це стандартне з'єднання є найбільш підходящим для підключення блоків, оскільки більшість аналогових сенсорів працюють у такому режимі (4-20 мА).

Блоки послідовного інтерфейсу

Кожна плата послідовного інтерфейсу має два порти, кожен з яких може обробляти до 16 наборів даних. Кожен набір даних представляє собою блок регістрів або реле у програмованому логічному контролері (ПЛК) розміром до 100 регістрів. При налаштуванні порту як RS-485, можна

використовувати ланцюжкове підключення пристроїв. 16 наборів даних можуть бути розподілені між пристроями від 1 до 16, в залежності від об'єму та структури даних. У такому випадку порт використовується для зчитування інформації збереженої в ПЛК, а також для створення місцевого пульта спостереження, що виконує функції тестування.

Блоки польової шини FOUNDATION

Інтелектуальна несуча панель Н1 має 2-слотову конфігурацію і встановлюється поруч з польовими пристроями. Ця панель, з обладнаною платою для дискретного входу та виходу, перетворює звичайні дискретні сигнали у сигнали польової шини FOUNDATION. Цей механізм дозволяє передавати дискретні сигнали через той самий сегмент польової шини, де передаються аналогові сигнали. Це сприяє зменшенню кількості сегментів, що потрібно придбати, і відповідно знижує енергоспоживання.

Несуча панель або платформа Н1, подібно до інших пристроїв польової шини, підключається до сегменту польової шини. Живлення для платформи та вбудованих модулів для дискретного введення-виведення постачається з додаткового зовнішнього джерела. Платформа Н1 може бути закріплена на рейці DIN (тільки на Т-рейці), стіні або панелі. На малюнку 5.4 наведено розміри платформи Н1.

Модулі Fieldbus Н1 для системи польової шини FOUNDATION встановлюються на стандартній 8-слотовій несучій панелі DeltaV. Кожен модуль Fieldbus Н1 дозволяє підключати два сегменти польової шини, а на кожному з таких сегментів система може підтримувати до 16 пристроїв. У нашому проекті ми плануємо використовувати один модуль Н1 з повним завантаженням обох сегментів.

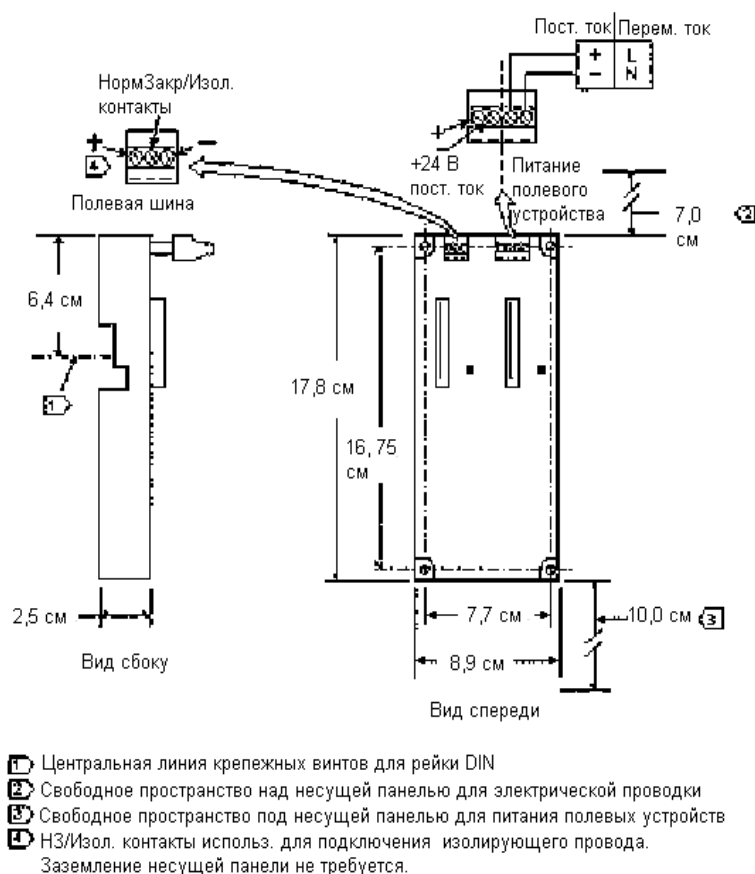


Рис. 5.4 - Несуча панель Н-1

Багато з вимог, які визначені для розробки, узгоджуються з характеристиками нашого обраного обладнання. Перелічені нижче параметри відповідають вказівкам:

1. Кожна інтерфейсна плата Н1 може взаємодіяти з двома сегментами польової шини.

2. На кожному з цих сегментів може бути до 16 пристроїв, таких як датчики чи клапани.

3. Для кожного з цих сегментів необхідний окремий регулятор напруги, що постачає живлення пристроям, які підключені до нього. Зображено на рис. 5.5, цей регулятор отримує 24 В постійного струму, ізолює його та живить сегмент польової шини. Зазвичай напругу 24 В постійного струму для цього регулятора беруть із виходу групового блока живлення, що живить звичайні прилади та польові пристрої введення-виведення.

4. Загальна довжина усіх кабелів на сегменті Н1 не повинна перевищувати 1.9 кілометра.
5. Максимальна довжина кабелю між пристроєм та клемною коробкою складає 120 метрів.
6. Кожен кінець магістрального кабелю польової шини має бути з'єднаний з терміновиком. Лівий кінець магістрального кабелю термінований внутрішнім терміновиком регулятора живлення.
7. Для створення магістрального та відвідного кабелів використовуйте стандартні кабелі типу А (Belden 3076F), штирькові конектори VE6957 і гніздові конектори VE6958.
8. Усі порожні роз'єми клемних коробок повинні бути зачинені заглушками VE6955.
9. На кожному польовому пристрої потрібно встановити адаптер кабельного вводу VE6959. Цей адаптер з'єднується з ½-дюймовим NPT кабельним ввідом пристрою і перетворює клемний з'єднувач пристрою у штирьковий конектор, до якого підключається гніздовий конектор VE6958 кабелю польової шини.
10. Іскробезпечна система, що базується на польовій шині, включає 8-канальний аналоговий ввід 4-20 мА, 8-канальний аналоговий вивід 4-20 мА, 16-канальний дискретний ввід, 4-канальний дискретний вивід та іскробезпечне джерело живлення. Локальна шина ізоляції відділяє іскробезпечну систему вводу-виводу від контролера та системного джерела живлення.

5.6 Вибір джерела живлення

Системне транзитне джерело живлення VE5002 (12Vdc/12Vdc)

Джерело живлення VE5002, яке зображено на рис.5.7, зазвичай використовується в системах DeltaV з кількома контролерами та модулями введення-виведення, де загальне живлення системи надходить від мережі змінного струму 120/240 В. VE5002 приймає 12 В постійного струму і конвертує його в необхідні для системи напруги 12 В, 5 В і 3.3 В для живлення контролера та модулів введення-виведення. Це джерело живлення монтується безпосередньо ліворуч від плати контролера.

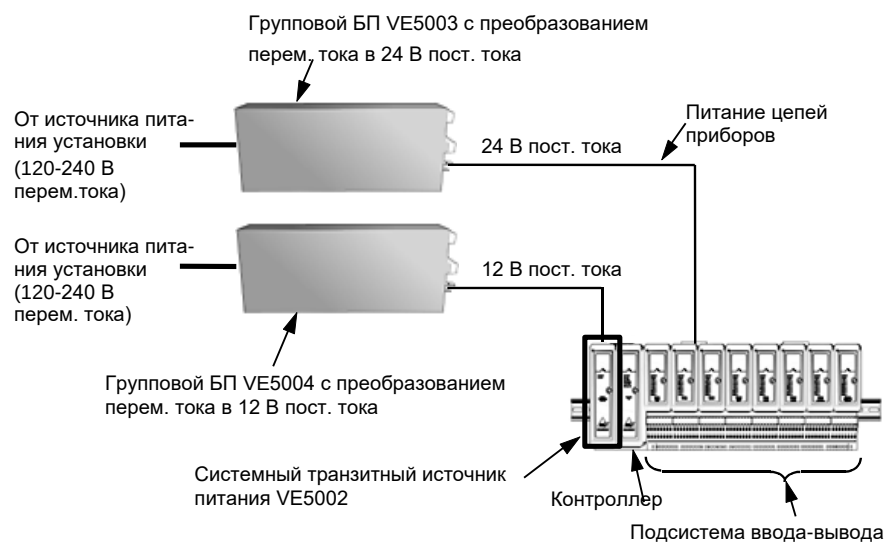


Рис. 5.7 - Системне транзитне джерело живлення VE5002

У нашому випадку, враховуючи наступні фактори:

а) присутність резервного контролера, б) значна кількість плат вводу-виводу, які використовує контролер, в) потреба в резервному живленні системи, нам потрібні додаткові джерела живлення. В якості другого джерела живлення з мережі 120/240 В ми плануємо використовувати групове джерело живлення VE5004 120-240 В/12 В.

Заземлення системи під час використання джерела живлення VE5002

При максимізації продуктивності системи DeltaV, належне заземлення системи стає ключовою. Для ланцюгів змінного та постійного струму потрібно використовувати окремі заземлення, які ведуть до загальної точки заземлення установки. На схемі (рис. 5.8) зображено належне електричне заземлення системи DeltaV, де застосовується системне джерело живлення VE5002.

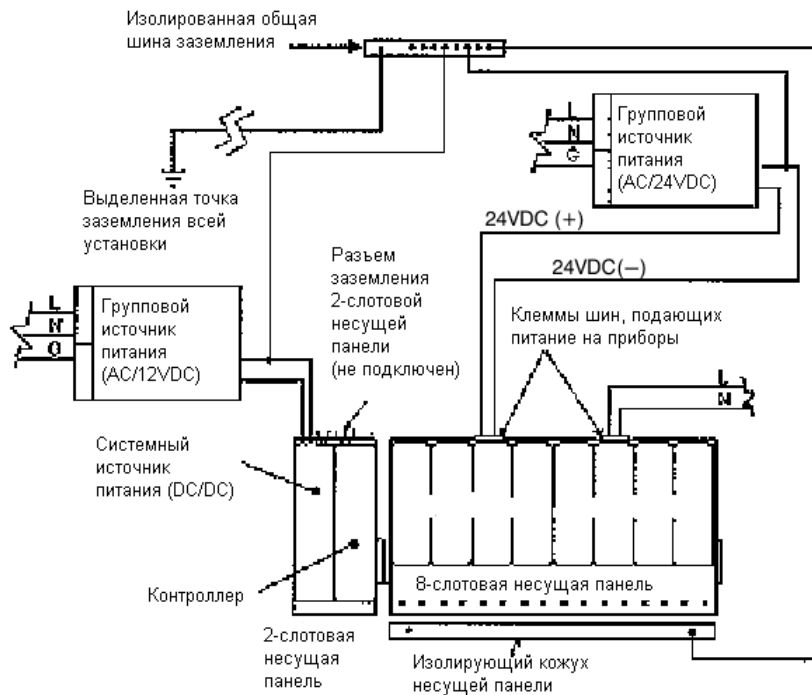


Рис. 5.8 - Електрична схема заземлення системи DeltaV, де використовується транзитне джерело живлення VE5002

Групове джерело живлення VE5004 (120-140 Vac/12 Vdc)

Джерело живлення VE5004 працює з електроживленням 120/230 В змінного струму та видає постійний струм напругою 24 В. Ця напруга живить системне джерело VE5002 або транзитне джерело VE5008. VE5004 забезпечує достатню потужність для живлення 4 наборів контролерів та вводу-виводу, кожен з яких використовує джерело живлення VE5002 (Рис. 5.9).

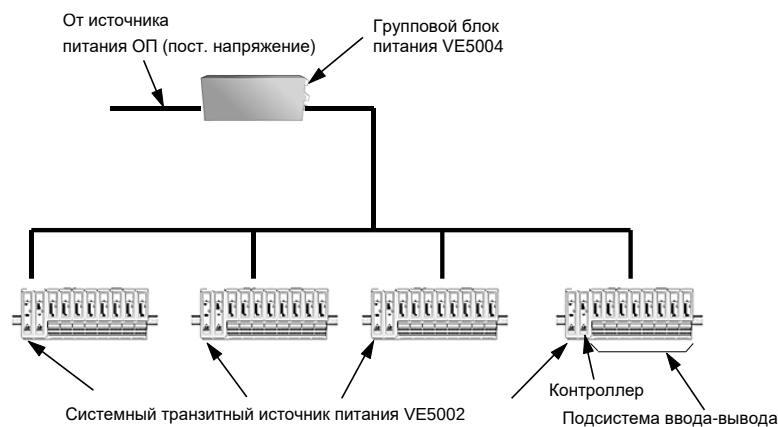


Рис.5.9 - Комбінація джерел живлення VE5004

Резервирования джерел живлення VE5002

Якщо в системі використовуються резервовані контролери, необхідно використовувати другу пару джерел VE5002, що показано на Рис.5.10. Для кожного контролера потрібне окреме транзитне джерело живлення, а використання обох джерел VE5004 унеможливилює зупинку системи через відмову одного джерела живлення. В разі резервованого контролера, друга 2-слотова панель також забезпечує посадкове місце для другого контролера резервної пари (Рис. 5.10).

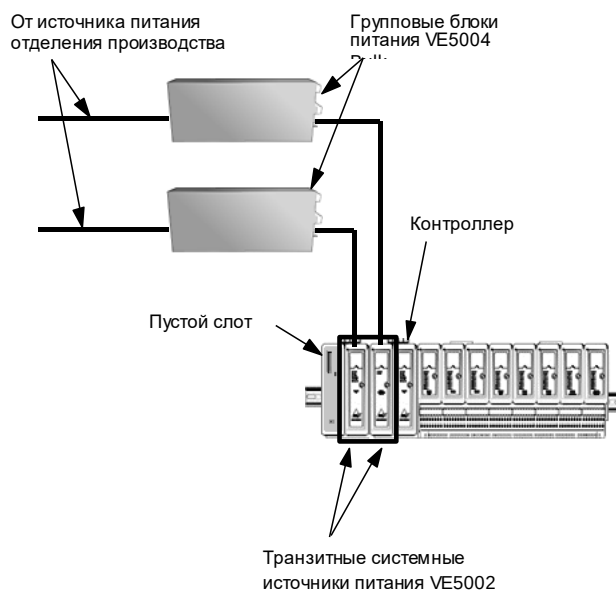


Рис. 5.10 - Резерввання джерел живлення VE5002 для симплексного контролера

Системне іскробезпечне джерело живлення

Для живлення модулів іскробезпечного вводу-виводу необхідне спеціальне іскробезпечне (ІБ) джерело живлення. Це джерело приймає напругу в діапазоні від 18.5 до 36 В постійного струму і конвертує її у напругу 12 В з максимальним струмом 5А.

Первинне джерело живлення, яке живить систему DeltaV, має забезпечувати неперервність енергопостачання, не допускаючи перерв тривалістю понад 20 мілісекунд. Відсутність живлення протягом цього часу може призвести до втрати управління, тимчасової втрати налаштувань системи та важливих даних процесу. Якщо первинна мережа живлення не забезпечує цей стандарт у 20 мілісекунд, рекомендується встановлення Джерел Безперебійного Живлення (ДБЖ).

Для нашої системи ми вирішили використовувати модель ДБЖ VE5006. Це обумовлено такими обставинами:

- У системі використовується поєднання транзитного системного джерела живлення VE5002 та групового блока живлення VE5004.
- Необхідно забезпечити безперебійне живлення на рівні 24 В для польових пристроїв, що підключені до підсистеми введення-виведення DeltaV.

5.7 Функціональний блок MICROMASTER 430

Перетворювачі частоти в останні часи швидко замінюють традиційні механічні методи регулювання обертової швидкості електричних двигунів. Вони пропонують простіше та менш технічно вимагаюче регулювання, що відображається на зменшенні витрат на обслуговування. Компанія "Сіменс" виготовляє перетворювачі частоти протягом багатьох десятиліть.

На ринку недавно з'явилися нові перетворювачі частоти четвертого покоління, які відзначаються рядом значущих покращень. Ці нові моделі пропонують розширення робочого температурного діапазону, розширений діапазон випуску потужностей, доступність за доступною ціною,

універсальність основних опцій та можливість налаштування практично всіх параметрів для більш детального налаштування перетворювача.

Одним з таких перетворювачів є MICROMASTER 430, основні параметри якого наведено нижче:

- Діапазон потужностей: 7,50 кВт – 250,0 кВт 400 В 3 змінного струму;
- Діапазон напруги: 380 - 480 В +/- 10%;
- Вхідна частота: 47,0- 63,0 Гц;
- Коефіцієнт потужності: $\cos \varphi \geq 0,7$;
- Пусковий струм: не більше за номінальний;
- ККД: 97%;
- Діапазон робочих температур: - 10 до +40 °С;
- Температура зберігання: - 40 до +70 °С;
- Допустима відносна вологість повітря: 95%;
- Ступінь захисту: IP20 / NEMA 1;
- Вихідна частота: 0 – 650,0 Гц;
- Дозвіл вихідної частоти: 0,01 Гц;
- Здатність на перевантаження: 110% від $I_{ном}$ протягом 60 с, 140% від $I_{ном}$ протягом 3 с (кожні 300 с.);
- Спосіб регулювання: потокозчеплення (FCC), лінійний (U/f),
- квадратичний режим (U/f²), енергозбереження, довільне налаштування;
- Цифрові вводи: 6 (18 функцій);
- Аналоговий вхід: 0-10,0 В, 0-20,0 мА, -10,0 В / +10,0 В біполярний, роздільна здатність 10 біт;
- Релейний вихід: 30 В постійного струму 2 А, 240 В змінного струму 0,8 А, що параметризується;
- RS485 інтерфейс: є в наявності;
- Спосіб гальмування: динамічне, генераторне, комбіноване;
- Швидке обмеження струму: є в наявності;

- Функції захисту з:

a. зниження напруги;

b. перенапруги;

c. перевантаження;

d. увімкнення на землю;

e. короткого замикання;

f. блокування двигуна;

g. перегріву двигуна;

h. перегріву перетворювача;

- Регулятор: вбудований ПД-регулятор, Вбудоване джерело живлення 24 В для давача ПД-регулятора;

Принципову схему регулювання наведено на Рис. 5.11.

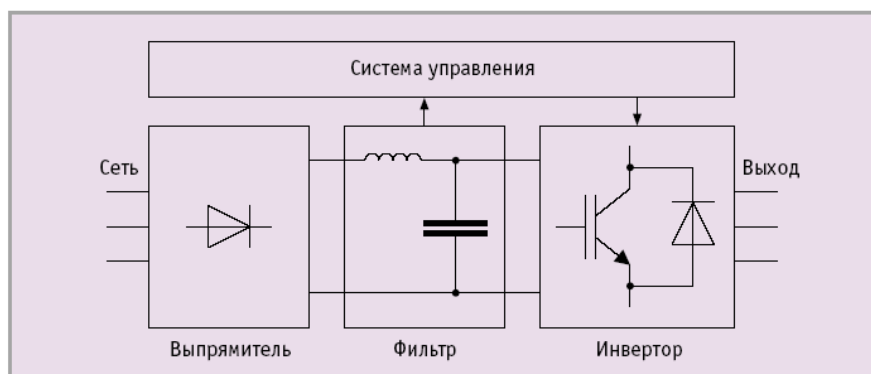


Рис. 5.11 - Структурна схема перетворювача частоти з проміжним контуром постійного струму

5.8 Запірна арматура системи керування

Трубопровідна арматура, така як вентиля та зворотні клапани, призначена для регулювання потоків газу, що переносяться трубопроводами, розділення різних ділянок трубопроводу, управління роботою технологічних установок, приладів і ємностей тощо.

Така арматура відзначається певними особливостями при роботі на компресорних установках (КУ), такими як високий тиск газу, який переноситься (до 7,5 МПа), відносно висока температура газу при виході з

компресорних установок (60-130°C), присутність у газі механічних домішок та компонентів, що можуть викликати корозію та ерозію металевих поверхонь і тому подібне.

Основні вимоги до запірної арматури включають здатність надійно відокремлювати окремі ділянки газових трубопроводів, контейнерів або апаратів від технологічних газових ліній та забезпечувати тривалий час герметичності цього відокремлення. Вона також повинна мати високу надійність, стійкість до корозії та бути безпечною в умовах вибухонебезпечних середовищ.

На компресорних установках застосовують різні типи запірної арматури, але для нашої системи ми плануємо використовувати клапани від EMERSON Process Management. Вони мають можливість використовувати комунікаційні протоколи Fieldbus, що дозволяє їх інтегрувати у системи автоматизації, які ми використовуємо.

5.9 Програмна реалізація для забезпечення контролю та керування

Програмне забезпечення для контролю та керування DeltaV підтримує створення стратегій керування, використовуючи мови, які відповідають стандарту IEC 61131-3, а також функціональні блоки FOUNDATION fieldbus. Розробка і зміна цих стратегій відбувається у графічному інтерфейсі. Цей візуальний метод розробки стратегій надзвичайно інтуїтивний, що дозволяє новачкам швидко досягати результатів. Мови управління IEC 61131-3 включають Діаграми функціональних блоків (ДФБ), Діаграми функціональних послідовностей (ДФП) і структурований текст (СТ), що дозволяє реалізувати системи практично будь-якої складності.

Діаграми функціональних блоків (ДФБ)

Діаграми функціональних блоків у системі DeltaV використовуються для постійних обчислень, контролю процесу і стратегій управління. Різні блоки на цих діаграмах з'єднуються графічними "проводами", по яких передається один або кілька блоків даних. Обмін даними у системі DeltaV відбувається автоматично. Функціональні блоки DeltaV відповідають

стандарту FOUNDATION fieldbus, проте вони розширені і доповнені для більшої гнучкості при розробці стратегій керування. Ці блоки сумісні із стандартом польової шини, що дозволяє реалізувати розподілене керування у польових пристроях.

Структурований текст (СТ)

Стиль програмування у вигляді структурованого тексту в DeltaV дозволяє вам розробляти програми для складних обчислень, використовуючи широкий спектр алгебраїчних, тригонометричних функцій і операторів. Також, ви можете створювати складні логічні вирази за допомогою умовних конструкцій та циклів.

Збір даних

її, такі як відображення, аналіз трендів, спрацьовування тривожних сигналів і використання зовнішніх даних, інтегруються в систему DeltaV як власна інформація. Всі додатки DeltaV мають можливість отримувати доступ до зовнішніх даних, що сприяє використанню їх у внутрішніх процесах. Під час спрацьовування виняткових ситуацій, механізм оповіщення передає дані у відповідний системний додаток. База даних глобальної конфігурації спрощує управління цими даними та їх використання.

Розроблення алгоритмів

Система DeltaV використовує параметри для опису значень змінних у функціональних блоках, модулях, конфігураціях вводу-виводу та діагностичних функціях. Ці параметри визначаються як константи для різних додатків, що дозволяє користувачеві налаштовувати логіку в блоках або модулях, зчитувати або записувати дані за конкретними адресами вводу-виводу або виявляти несправності у системі.

В системі DeltaV використовується модульний принцип під час розробки стратегій керування. Керувальні модулі виступають унікальними іменованими керувальними одиницями в цій системі. Основою керуючого модуля є функціональні блоки, які складаються з різних алгоритмів керування (наприклад, ПД, аналоговий вихід або вхід). У функціональних

блоках також можуть бути реалізовані вдосконалені алгоритми керування, наприклад, застосування нечіткої логіки. З'єднавшись у певній послідовності, декілька функціональних блоків створюють керуючий модуль. Принцип дії керувальних модулів КУ ґрунтується на алгоритмах, описаних у п. 2.3.

Система DeltaV дозволяє налаштовувати межі сигналів тривоги для функціональних блоків і керуючих модулів. Ці налаштування використовуються для відтворення звукових або візуальних сигналів тривоги для оператора.

DeltaV контролює і обробляє широкий спектр системних та користувацьких подій, які реєструються в Журналі Подій. Аларми відносяться до спеціального типу подій, які оператор може спостерігати у Інтерфейсі Оператора.

Ця система підтримує два види алармів: стандартні, які вже існують, і аларми, які користувач може визначити та налаштувати за своїми потребами.

Користувацькі аларми в системі підтримуються як для функціональних блоків, так і для модулів (за винятком модулів апаратів і модулів фазової логіки). Ці аларми спираються на параметри або вирази, які користувач визначає. Налаштування алармів виконується шляхом простого вибору з доступного списку варіантів.

Основні події, що виникають у системі, пов'язані зі станом контрольованих параметрів, таких як робочий діапазон, стан об'єкта регулювання, події самодіагностики, критичні ліміти та аварійні ситуації. Аварійні межі сигналізують про стан відповідно до нормативних даних, які регулюються загальними вимогами для всієї системи очищення води. Таблиця 1.3 містить перелік блокувань і сигналів, що відповідають цим вимогам.

Але кожен сигнал тривоги залежить від взаємодії декількох параметрів, що визначають послідовність подій для активації попередження та перехід системи у спеціальний режим. Схему цієї логіки можна побачити на Рис. 2.1. Імпортантно зауважити, що при спрацюванні блокування за певним

параметром система фіксує його, щоб оператор міг або відмітити сигнал тривоги, або занести його до історії процесу для подальшого аналізу.

Крім основних алгоритмів, система включає невеликі підпрограми для виконання стандартних процедур:

- Опрацювання тимчасових параметрів зчитування датчиків (пункт 2.4);
- Контроль температури за допомогою відповідних регуляторів;
- Регулювання тиску за допомогою відповідних регуляторів;
- Автоматичне вмикання резервного обладнання, в залежності від поточного стану;
- Автодіагностика мережі та обладнання, перемикання джерел живлення;
- Керування рухом компресора за допомогою передачі сигналу до керуючого блоку.

6. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

6.1 Шляхи зниження витрат за рахунок впровадження системи автоматизованої системи керування КУ

Впровадження автоматичної системи керування компресорною установкою в комплексі гідроочищення моторного палива розв'язує такі завдання:

- Повна автоматизація керування компресорною установкою, що звільняє працівників від необхідності участі у роботі з Л-24/6 (установкою гідроочищення моторного палива).
- Зменшення частоти та складності обслуговування.
- Підвищення надійності системи керування.
- Скорочення часу простою, пов'язаного з технологічним обслуговуванням.

Робота Л-24/6, установки для очищення моторного палива, має постійний режим функціонування. Без належної роботи системи управління, функціонування всього комплексу неможливе, і зупинка Л-24/6 протягом доби може призвести до втрат понад 1000000 гривень через втрату виробництва сировини. Тому зменшення необхідності обслуговування системи керування та підвищення її надійності можуть значно знизити збитки, пов'язані з простоями обладнання.

У нафтопереробній галузі велика увага приділяється технічному прогресу, оскільки власники підприємств зацікавлені у підвищенні ефективності використання енергії. Тому весь процес функціонування ґрунтується на високорівневій автоматизованій системі, де кожен елемент має свої встановлені норми й правила для оперативного контролю.

В довгостроковій експлуатації компресорних установок стало очевидним, що аварійні зупинки системи керування, спричинені недостатньою технічною комплектацією, відсутністю самодіагностики та низьким рівнем виявлення відхилень, відбуваються 4-6 разів на рік і

призводять до простою тривалістю від 4 до 24 годин. Швидке відновлення функціонування системи вимагає постійної присутності ремонтного персоналу на місці, що є вкрай витратним, оскільки персонал часто не задіяний через мінімальну кількість годин, витрачених на обслуговування обладнання в рік – менше 400. Покращення обслуговування та використання самодіагностики дозволяють швидко виявляти причини відмов та замінювати несправні компоненти завдяки модульному підходу до системи. Застосування системи раннього виявлення неполадок дозволяє своєчасно їх усувати, не допускаючи зупинки системи через аварії.

Перед впровадженням автоматизованої системи управління операторам доводилося систематично відстежувати роботу установки та вносити корективи у її режим. Виявлення несправностей вимагало присутності спеціалізованого фахівця протягом тривалого часу, а усунення зазвичай займало близько доби. Несправності зазвичай фіксувалися після аварійної зупинки системи управління. Під час роботи системи не було можливості діагностувати проблеми, лише виявляти відхилення від технічних параметрів. Для підтримки установки потрібно було тримати ремонтну бригаду та кількох операторів постійно на місці.

Тепер весь контроль за роботою системи керування управляється з центрального пульта або щита пульта управління, який розташований прямо в об'єкті керування. У разі виникнення попереджувальної ситуації оператора оперативно сповіщають, що дає йому можливість усунути неполадку, про яку система управління вже провела діагностику до виникнення аварійної ситуації. Це дозволяє зменшити кількість персоналу, необхідного для управління та обслуговування системи керування. Для обслуговування декількох систем керування може бути створена одна бригада ремонтників, яка могла б обслуговувати кілька станцій одночасно.

Необхідність постійної присутності хоча б одного оператора на станції для керування компресорною установкою виходила з метою контролювати роботу та обслуговування установки.

Такий підхід сприяє централізованому збору та обробці інформації про роботу станції однією людиною, що підвищує якість прийнятих нею управлінських рішень.

6.2 Техніко-економічні показники ефективності від впровадження нової системи автоматизації КУ

6.2.1 Економія в заробітній платі робітників, вивільняються

У нашому випадку відбувається вивільнення 1 оператора та 6 чоловік обслуговуючого персоналу АСУ (КВП - 2; Наладчики – 2; Електронщики - 2).

Вважаємо, що середньорічна заробітна плата оператора становить 138000грн. (11500грн *12).

Середньорічна заробітна плата КВП – 156000грн. (13000грн.*12).

Середньорічна заробітна плата Електронщика – 234000грн. (19500грн.*12)

Середньорічна заробітна плата Наладчика – 132000грн. (11000грн.*12)

Економію у заробітній платі працівників, які вивільняються в результаті впровадження АСУ ТП, можна визначити за формулою:

$$Z_{\text{осв}} = k_1 k_2 k_3 Z_{\text{ср.р.}} \cdot N_{\text{осв.р.}}; \quad (6.1)$$

де $k_1 k_4$ - коефіцієнти преміальної надбавки відповідно для робітників та інженерно-технічних працівників (ІТП), дорівнюють 1,40;

k_2 - коефіцієнт, який враховує додаткову зарплату, дорівнює 1,20;

k_3 - коефіцієнт відрахувань на соціальне страхування, дорівнює 1,356;

$Z_{\text{ср.р.}}$ - середня річна заробітна плата робітників, що вивільняються;

$N_{\text{осв.р.}}$ - кількість вивільнюваних робітників, 7;

$Z_{\text{осв.опер}} = 1,40 * 1,20 * 1,365 * 39240 * 1 = 89985,167$ грн;

$Z_{\text{осв.кипа}} = 1,40 * 1,20 * 1,365 * 47088 * 2 = 215964,5$ грн;

$Z_{\text{осв.елект}} = 1,40 * 1,20 * 1,365 * 73260 * 2 = 335999,67$ грн;

$$З_{\text{ОСВ.НАЛАД}} = 1,40 * 1,20 * 1,365 * 31392 * 2 = 143976,28 \text{ грн};$$

$$З_{\text{ОСВ.ОБЩ}} = 785925,6 \text{ грн.}$$

Річна економія із заробітної плати становить 785925,6 грн.

6.2.2 Розрахунок вартості обладнання

Вартість обладнання, а також амортизаційні відрахування на вказане обладнання наведено в таблиці 6.1.

6.2.3 Річні витрати на ремонтні роботи

Річні витрати на ремонтні роботи компресорної установки (комплекс технічних засобів) АСУ ТП розраховуються за виразом:

$$C_p = k_c \cdot C_{\text{ТКС}}; \quad (6.2)$$

де k_c - середній коефіцієнт складності ремонтних робіт для даного обладнання %;

$C_{\text{ТКС}}$ - вартість обладнання грн.

$$C_p = 1.5 * 568491 = 8527.45 \text{ грн}$$

Річні витрати на ремонтні роботи КТС становлять 8527,45 грн.

6.2.4 Річні витрати на експлуатацію

Річні витрати на експлуатацію КТС (комплекс технічних засобів) АСУ ТП розраховуються за виразом:

$$C_{\text{АТК}}^{\Gamma} = З_{\text{АТК}} + A_{\text{АТК}} + C_p + C_{\text{э}}^{\Gamma}; \quad (6.3)$$

де $З_{\text{АТК}}$ - річна заробітна плата робітників, які обслуговують КТС АСУ ТП;

Середньорічна заробітна плата оператора становить 39240 грн. (3270 грн * 12).

Середньорічна заробітна плата співробітника малої групи обслуговування (МГО) становить 83725,7 грн. (6977 грн.*12)

Середньорічна заробітна плата Програміста становить 94191,4 грн.
(7849.3грн.*12)

$$З_{АТК} = k_1 k_2 k_3 \cdot З_{ср} \cdot N_{РАБ}; \quad (6.4)$$

$$З_{ОПЕР} = 1,40 \cdot 1,20 \cdot 1,365 \cdot 39240 \cdot 1 = 89985,167 \text{ грн};$$

$$З_{МГО} = 1,40 \cdot 1,20 \cdot 1,365 \cdot 83725.8 \cdot 3 = 576000,0 \text{ грн};$$

$$З_{ПРОГ} = 1,40 \cdot 1,20 \cdot 1,365 \cdot 94191.5 \cdot 1 = 216000,0 \text{ грн};$$

$$З_{АТК.ОБЩ} = 881985,21 \text{ грн.}$$

$A_{АТК}$ - річні амортизаційні відрахування, дорівнюють 56677,52 грн;

C_p - річні витрати на ремонтні роботи КТС, дорівнюють 8527,35 грн;

C_9^I - річні витрати на електроенергію, споживану КТС, дорівнюють 3163008,5 грн.

$$C_{АТК}^I = 881985.2 + 56677.5 + 8527.35 + 3163008.6 = 4110198.66 \text{ грн.}$$

Річні витрати на експлуатацію технічних засобів становлять 4110198,66 грн.

6.2.5 Річні витрати на електроенергію

Річні витрати на електричну енергію, що споживається КТС (комплекс технічних засобів) АСУ ТП, розраховуються за формулою:

$$C_9^I = P_{кмс} \cdot K_{ср} \cdot C_{кВтч} \cdot k \cdot K_{рч}; \quad (6.5)$$

$P_{кмс}$ - максимальна потужність впроваджуваного комплексу дорівнює 1505,4 кВт;

$K_{ср}$ - коефіцієнт, що визначає середню споживану потужність, дорівнює 0,760.

$C_{кВтч}$ - вартість 1 кВт-год електроенергії дорівнює 4,730 грн;

k - коефіцієнт береться залежно від кількості змін роботи лінії, у моєму випадку 2 зміни, дорівнює 1,8;

$K_{рч}$ - кількість робочих годин на рік дорівнює 3840.

$$C_9^I = 1505.3 \cdot 0.76 \cdot 0.4 \cdot 1.8 \cdot 3840 = 3163008.60 \text{ грн.}$$

Річні витрати на електроенергію, яку споживає КУ, становлять 3163008,60 грн.

6.2.6 Річні амортизаційні відрахування на обладнання

Річні амортизаційні відрахування розраховуються за виразом:

$$A_{ATK} = a_{ATK} [(1 + k_{T.M_2}) (C_{KTC})]; \quad (6.6)$$

Розраховуємо амортизаційні відрахування для датчика температури (підшипника):

$$A_{ATK1} = a_{ATK1} [(1 + k_{T.M_2}) (C_{KTC1})] = 0.25 * [(1 + 0.1) * 18600] = 5115,0 \text{ грн}$$

де a_{ATK} - середній коефіцієнт амортизаційних відрахувань;

$k_{T.M_2}$ - коефіцієнт, що враховує витрати на транспортування, монтаж і налагодження обладнання, дорівнює 0,1;

C_{KTC1} - вартість одиниці обладнання, яка дорівнює 18600 грн.

Аналогічно розраховуємо амортизаційні відрахування для кожної окремої одиниці обладнання.

Розрахункові дані для усіх компонентів системи приведені в Таблиці 6.1.

Річні амортизаційні відрахування дорівнюють:

$$A_{ATK} = 0.09 [(1 + 0.1) * 568490] = 56677.522$$

Підтвердження розрахунків можливо перевірити, виходячи із такої формули:

$$A_{ATK} = \sum_n a_{ATKn} [(1 + k_{T.M_2}) * C_{KTCn}] \quad (6.7)$$

де n - позначення одиниці обладнання, згідно з таблицею 6.1

Річні амортизаційні відрахування на встановлене обладнання становлять 56677,52 грн.

6.2.7 Економічний ефект за рахунок зменшення кількості відмов КУ

Середній щорічний час простою установки для очищення палива внаслідок відмови у системі керування традиційного типу складає 52 години. Розроблена система має призводити до простоювання менше, щонайменше на 60%, тобто менше 21 години щорічно. Це означає, що нова система забезпечує додатково 31 годину роботи щорічно завдяки більшій надійності управління.

При умові вартості виробленого палива на рівні 0.034 грн за м³ і середньорічному коефіцієнті завантаження станції у 0.8, можна розрахувати економічну вигоду від підвищення надійності системи управління установкою.

$$E_{п2} = V_{год.п2} * a_{ку} * K_z; \quad (6.8)$$

де, $V_{год.п2}$ - виробіток стисненого повітря за рік компресорною установкою з урахуванням зменшення годин простою:

$$V_{год.п2} = V_{КС} * k * t * 3600 = 11 * 0.8 * (3840 + 21) * 3600 = 122316480,0 \text{ м}^3;$$

$$a = \frac{C_{АТК}^Г}{V_{год}} = \frac{4136688.6}{121651200} = 0.0340 \text{ грн.}; \quad (6.9)$$

$$\text{де, } V_{год} = V_{КС} * k * t * 3600 = 11 * 0.8 * 3840 * 3600 = 121651200,0 \text{ м}^3;$$

$V_{КС}$ - продуктивність компресорної станції, м³/с;

k - коефіцієнт нерівномірності;

t - число робочих годин установки

$$E_{п2} = 122316480 * 0.034 * 0.8 = 3327008.30 \text{ грн.};$$

Річна економія за рахунок зменшення кількості відмов складає 3327008,30 грн.

6.2.8 Економічний ефект за рахунок зменшення терміну ремонтних робіт

Зменшення складності обслуговування призводить до скорочення часу, необхідного для проведення запланованих технічних обслуговувань. Річні роботи з обслуговування тепер займають на 42 години менше, ніж застосування традиційної системи управління. Це стало можливим завдяки

зменшенню обсягу об'єктів, які потребують обслуговування, спрощенню процесу та системі запобігання виникненню аварійного стану установки. Це також допомагає уникнути поломок та зменшити потребу у капітальних ремонтах.

Річна економія за рахунок зменшення обсягу ремонтних робіт розглядається як поява додаткового робочого часу, за якого КУ буде виробляти газ. Визначається за виразом:

$$E_{п1} = V_{ГОД.П1} * a_{KV} * K_z ; \quad (6.10)$$

де, K_z - коефіцієнт середнього річного завантаження КУ 0.8;

$V_{ГОД.П1}$ - вироблення стисненого повітря за рік компресорною установкою з урахуванням скорочення термінів ремонтних робіт, m^3 .

$$V_{ГОД.П1} = V_{КС} * k * t * 3600 = 11 * 0.8 * (3840 + 42) * 3600 = 122981760,0 \text{ м}^3;$$

$$E_{п1} = 122981760 * 0.034 * 0.8 = 3345103.90 \text{ грн.};$$

Економія за рахунок скорочення терміну технічного обслуговування КУ становить 3345103,90 грн на рік.

6.2.9 Річна економія від впровадження АТК

В загальному випадку з урахуванням всіх перелічених вище факторів річна економія від впровадження АТК розраховується за виразом:

$$E_{Г} = E_{п1} + E_{п2} + Z_{осв} - C_{Г}^{АТК}; \quad (6.11)$$

$$E_{Г} = 3345103,90 + 3327008,30 + 785925,50 - 4110198,65 = 3347839,06 \text{ грн.}$$

Річна економія становить 3347839,06 грн.

6.2.10 Річний економічний ефект

Річний економічний ефект від впровадження автоматизованої системи керування визначається за формулою:

$$E = E_{г} - E_{н} K_{КТС}; \quad (6.14)$$

Де E'_n - нормативний коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень для обчислювальної техніки, зворотний відносно терміну окупності ($T_{ок_n} = \frac{1}{E'_n}$). В умовах ринкової економіки та в міру прискорення науково-технічного прогресу, нормативні строки окупності при виробництві сучасної електронно-обчислювальної техніки послідовно знижуються - 4; 3; 2,5 і 2 роки [12]. Це викликано швидким старінням комп'ютерної техніки, тому для різних галузей промисловості $E'_n = 0,33$.

K_{KTC} - капітальні вкладення на проектування й впровадження АСУ ТП, придбання КТС, проектування та впровадження спеціальних технічних засобів і т.д. дорівнюють 1045738 грн.

$$E = 3347839.051 - 0.33 * 810339 = 3080427,180 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект становить 3080427,180 грн.

6.2.11 Капітальні витрати на розроблення та введення в експлуатацію АСУ ТП

Капітальні витрати на розроблення та введення в дію АСУ ТП розраховуються за виразом:

$$K_{KTC} = C_p + (1 + k_{TM_2})(C_{KTC}) + C_{CMO}; \quad (6.15)$$

де C_p - вартість всіх робіт з розроблення проєкту та впровадження АСУ ТП (за договором), дорівнює 150000,0 грн;

C_{CMO} - вартість розроблення спеціального (прикладного) математичного забезпечення (СМО) для керування технологічним процесом, дорівнює 35000,0 грн. (за договором);

$$K_{KTC} = 150000 + (1 + 0.1)(568490) + 35000 = 810339,0 \text{ грн.}$$

Капітальні витрати на розроблення та введення в експлуатацію АСУ ТП становлять 810339,0 грн.

6.2.12 Термін окупності капітальних вкладень

Стосовно проекту АТК для дискретних виробництв, тобто таких, які вимагають великих трудових ресурсів, термін окупності капітальних вкладень розраховується за виразом:

$$T_{ок} = \frac{K_{КТС}}{E_{Г}}; \quad (6.16)$$

$E_{Г}$ - річна економія, дорівнює 3347839,0 грн.

$$T_{ок} = \frac{810339}{3347839,05} = 1,2421$$

Термін окупності капітальних вкладень становить 1,2421 року.

Таблиця 6.1

Найменування	Число одиниць, шт		Вартість одиниці, грн.		Всього, грн.		Термін служби, лет		Норма амотризації, %	Сума амотризації, %	Споживана потужність, кВт	
1	2		3		4		5		6	7	8	
	До	Після	До	Після	До	Після			До	Після	До	Після
Датчик температури (підшипника)		1		18600,0		18600,0	4	25		5115,0		0.0012
Датчик температури (мастила)		1		1440,0		1440,0	8	12.5		198,0		0.002
Датчик температури (двигуна)		1		18600,0		18600,0	4	25		5115,0		0.0012
Контролер(мінсбірка)	1	1	120000,0	340000	120000,0	340000,0	18	5.6	15	20944,0	0.032	0.03
Датчик вібрації		1		1200,0		1200,0	12	8.3		109.55		0.0012
Датчик осьового зсуву		2		3000,0		6000,0	8	12.5		825,0		0.002
Датчик тиску газу	2	2	26860,0	32670,0	53720,0	65340,0	8	12.5	15	8984.25	0.021	0.04
Датчик перепаду тиску	1	1	27340,0	35810,0	27340,0	35810,0	8	12.5	15	4923.876	0.021	0.02
Датчик тиску води		1		8400,0		8400,0	6	16.7		1543.08		0.012
Датчик тиску масла	1	1	7100,0	9200,0	7100,0	9200,0	8	12.5	15	1265,0	0.002	0.012
Датчик тиску масла (резерв)		1		9200,0		9200,0	8	12.5		1265,0		0.012
Датчик тиску повітря		1		9200,0		9200,0	8	12.5		1265,0		0.012
Датчик тиску обдува ЕД	1	1	7100,	9200,0	7100,0	9200,0	8	12.5	15	1265,0	0.002	0.012

Пристрій плавного пуску		1		7100,0		7100,0	16	6.25		488.126		4.8
Електромагнітний засув	3	6	2200,0	2200,0	6600,0	13200,0	7.6	13.16	15	1910.932	18.75	38.4
ВСЬОГО	9	22			221860,0	552490,0				55216.722	18.79	43.3
Комплект ЕД	1	1	160000,0		160000,0		18	5.6			840	840
Комплекс маслonaсосів	1	2	18000,0	16000,0	18000,0	16000,0	12	8.3		1460.8,0	360	382
Холодильна установка	1	1	12000,0		12000,0		8	12.5			240	240
ВСЬОГО	3	4			190000,0	16000,0				1460.8,0	1440	1462
Всього по КУ	12	26			411860,0	568491,0				56677.52	1458.79	1505.3

7. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ КОМПРЕСОРНИХ УСТАНОВОК

Вимоги, для безпечної експлуатації компресорних установок встановлені у відповідності з Правилами влаштування і безпечної експлуатації стаціонарних установок повітропроводів й газопроводів [11].

Причини аварій при експлуатації КУ.

Аварії в компресорних установках можуть бути викликані різними причинами, включаючи неправильний монтаж, погане обслуговування, перегрівання, проблеми із змащуванням, перевищення тиску та інші. Проте, найбільш розповсюдженою причиною аварій у компресорах є підвищення тиску та температури, що призводить до структурних змін у металі, порушення його цілісності та може стати причиною вибуху.

Прилади безпеки, що контролюють роботу КУ.

У компресорі контроль та регулювання тиску стисненого повітря забезпечуються за допомогою запобіжних клапанів та автоматичного регулятора тиску. Ці клапани встановлені на всіх етапах стиснення і автоматично регулюють тиск, перехід в холостий хід відбувається у випадку перевищення допустимого тиску.

Запобіжні клапани автоматично знижують тиск до нормального рівня і виводять надлишок повітря в атмосферу. Робочий тиск повітря, який зазвичай коливається від 3 до 60 атмосфер, регулюється так, щоб не перевищувати допустимі межі більш ніж на 15%. Запобіжні клапани перевіряють під тиском один раз на місяць. Раз на шість місяців усі манометри піддаються перевірці контрольним манометром, який у свою чергу перевіряється один раз на рік.

Вимоги, що ставляться до обслуговування КУ.

Усі працівники, що відповідають за обслуговування компресорних установок, отримують інструкцію з безпечного їхнього використання. Для роботи з компресорними установками приймаються особи, які досягли 18-річного віку, володіють відповідною документацією на право їхньої

експлуатації, мають відповідний стан здоров'я і знання щодо промислової та пожежної безпеки.

Перед розпочатком роботи машиніст повинен переконатися в належному стані установки, перевірити системи змащення та охолодження, а також виконати запуск згідно з інструкцією.

Перед запуском компресора необхідно відкрити вентилі для продування холодильника та повітрозбірника і встановити роздавальний вентиль у положення "Відкрито". Після запуску двигуна слід перевірити роботу компресора на холостому ходу, а потім починати закривати роздавальний вентиль і крани для продування. Після цього через роздавальний вентиль або крани для продування треба налаштувати робочий тиск повітря у повітрозбірнику (ресивері).

При експлуатації компресорних установок персонал, що займається обслуговуванням, веде журнал, в якому фіксується кількість використаного компресорного масла на кожній зміні. Контроль за витратою масла для змащення циліндрів і сальників проводиться регулярно і не повинен перевищувати норму, вказану в заводських інструкціях.

Масло зберігається в спеціальних оцинкованих контейнерах, які позначені як "Чисте компресорне масло" і зберігаються в приміщенні компресорної установки у кількості, яка відповідає тижневим потребам.

Під час роботи з компресорними установками персонал контролює:

- тиск і температуру повітря після кожного етапу стиснення і в холодильних системах;
- стійкість подачі охолоджувальної води в компресори та холодильники;
- тиск, температуру і рівень масла у системі змащення.

Машиністи заносять дані про час запуску і зупинки компресора, причини зупинки, проведені перевірки запобіжних клапанів та манометрів, а також про процес спуску конденсату та масла в журналі роботи. Кожний запис щоденно підписується відповідальною особою за безпечну

експлуатацію компресорної установки. Кожна установка має свою технічну документацію, яка відповідає вимогам Правил і інших стандартів.

Випадки при яких слід негайно зупинити КУ.

Компресорну установку відразу зупиняють у таких ситуаціях:

- Якщо будь-який з манометрів показує тиск, що перевищує допустимі межі.
- Покази манометра системи змащування механізму руху вказують на тиск, нижчий за допустиму нижню межу.
- Неочікувано зупинилася подача води для охолодження.
- Виявлені відчутні стуки, удари в компресорі або двигуні, або будь-які інші несправності, які можуть призвести до аварії.
- Температура стисненого повітря перевищує допустимі норми, зазначені в технічних даних.
- Виявлений запах горіння або диму з компресора чи електродвигуна.
- Виявлено значне збільшення рівня вібрації в компресорі або електродвигуні.

Компресор не може бути запущений в роботу навіть за наявності несправності в одному з приладів безпеки. У випадку перерви у роботі компресорної установки, вона повинна бути негайно зупинена.

Операції, які необхідно виконувати перед початком роботи КУ.

Перед початком роботи обов'язково перевірте стан та надійність кріплення арматури, наявність захисного заземлення та справність контрольно-вимірювальних та сигнальних приладів. Також важливо перевірити, чи присутні та справні пломби на запобіжних клапанах, манометрах та іншій апаратурі, яка має бути запечатана.

Кожен запобіжний клапан компресорної установки повинен бути належним чином налаштований, запечатаний і мати пристрій для примусового відкривання під час роботи. Натяжні гайки пружинних запобіжних клапанів також повинні бути опломбовані. Після регулювання

клапанів, важелі закріплюються, а потім зачиняються металевими кожухами і запечатовуються. Після цього складається відповідний акт.

Вологість повітря, яке засмоктують у компресор, не повинна перевищувати 60%. Перед подачею повітря у циліндри компресора, його необхідно очистити від пилу, бризок масла, водяної пари та інших забруднень. Потрапляння забрудненого повітря у компресор може викликати тертя та утворення статичного струму, що може призвести до виникнення іскор. Для захисту від статичного струму слід встановити заземлення.

ВИСНОВКИ

1. В роботі було проведено детальний аналіз компресорної установки як об'єкта автоматизації. Вибрано найбільш підходящу концепцію розробки системи керування. Реалізовано логічну модель, графіки функціонування якої підтверджують правильність обраних керуючих алгоритмів.

2. Розроблено макет системи управління на основі структурно-інформаційної моделі поведінки об'єкта. Проведено підбір необхідних апаратних засобів для реалізації системи та розроблено принцип функціонування керуючого середовища.

3. Виконано економічний аналіз ефективності створення та впровадження системи, який показав, що її впровадження вигідне та обґрунтоване. Зважаючи на те, що дана САУ має гарну окупність і економічність.

4. Впровадження системи керування дозволить значно підвищити ефективність функціонування комплексу гідроочищення за рахунок оптимального режиму роботи компресорної установки, підвищення продуктивності обладнання та оперативності управління технологічним процесом, зниження споживання енергоресурсів, а також знизити аварійність та збільшити термін служби обладнання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Українська нафтогазова енциклопедія / за загальною редакцією В. С. Іванишина. — Львів : Сполом, 2016. — 603 с.
2. Дьяченко Т.В. Транспортування та збереження зрідженого природного газу: навчальний посібник. — Одеса: Освіта України, 2017. — 106 с.
3. Компресорне устаткування в технологіях видобутку вуглеводнів: монографія / А. Ф. Булат, Г. В. Кирик, Г. А. Бондаренко та ін.; за заг. ред. акад. НАН України А. Ф. Булата. — Суми : Сумський державний університет, 2016. — 305 с.
4. Компресорні станції: підручник / Г. А. Бондаренко, Г. В. Кирик. — Суми : Сумський державний університет, 2016. — 385 с.
5. Компресорні установки: навч. посібник / М.В. Холоменюк — Д.: Національний гірничий університет, 2013. — 51 с.
6. Грудз В. Я. Термогазодинамічні основи створення діагностичної моделі циліндра поршневого компресора / В. Я. Грудз, В. В. Костів, Я. В. Грудз // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. - 2002. - № 2. - С. 22-24.
7. Макогон О. А., Черепньов І. А., Давиденко В. В., Тимофєєв В. Д. Стан та перспективи модернізації опозитних двотактних двохвальних дизелів спеціального і загального призначення. Інженерія природокористування. 2018. № 1 (9). С. 16-23.
8. Брунеткін, О., & Васильєв, М. (2020). РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗРІДЖЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ. *Молодий вчений*, 11 (87), 1-4.
9. Соколов, С.В. Оптимізація системи управління компресорної установки [Текст] / С.В. Соколов, О.М. Соловйов // Інформатика, математика, автоматика: матеріали та програма науково-технічної конференції, м. Суми, 20-25 квітня 2015 р. / Відп. за вип. С.І. Проценко. — Суми : СумДУ, 2015. — С. 148.

10. Прилади та методи віброконтролю і вібродіагностування газоперекачувальних агрегатів та компресорних установок газотранспортної системи України / С.О. Саприкін // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. — 2006. — № 2. — С. 33-38.

11. Електронний ресурс. Безпека праці при експлуатації компресорних станцій <http://surl.li/nyjwf>

12. Електронний ресурс. Автоматизована система управління компресорної установки http://4ua.co.ua/manufacture/tb3ad68b4c43a88421316c37_2.html