

Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

2026_Дорош І._ФІТ_ІТТС_ІСТ-22-1

Автор

Дорош І.М.

Науковий керівник / Експерт

Заміховська О.Л.

ІД документу

334342210

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

підрозділ

Каф. ІТТС

ЗВІТ

Дата звіту

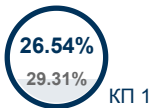
6/16/2026

Дата редагування

6/16/2026

Обсяг знайдених подібностей

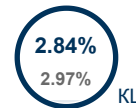
Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



КП 1

15066

Кількість слів



КЦ

120630

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		3
Інтервали		2
Мікропробіли		7
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		498

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

#	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	http://4ua.co.ua/manufacture/tb3ad68b4c43a88421316c37_2.html	81 (0.54 %)

2	SUMDU/out2019/Melnyk_electric_drive.pdf 7/20/2019 Sumy State University (SUMDU)	72 (0.48 %)
3	Мукомела 12/2/2025 West Ukrainian National University (West Ukrainian National University)	51 (0.34 %)
4	Мукомела 12/2/2025 West Ukrainian National University (West Ukrainian National University)	46 (0.31 %)
5	Мукомела 12/2/2025 West Ukrainian National University (West Ukrainian National University)	46 (0.31 %)
6	2026_Гера_В.В._ФІТ_ІТТС_СІ-22-1 6/10/2026 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	44 (0.29 %)
7	Мукомела 12/2/2025 West Ukrainian National University (West Ukrainian National University)	43 (0.29 %)
8	http://refeteka.ru/r-181364.html	41 (0.27 %)
9	http://4ua.co.ua/manufacture/tb3ad68b4c43a88421316c37_2.html	40 (0.27 %)
10	http://4ua.co.ua/manufacture/tb3ad68b4c43a88421316c37_2.html	40 (0.27 %)

Домашня база даних (1.7 %)



#	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	2026_Гера_В.В._ФІТ_ІТТС_СІ-22-1 6/10/2026 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	238 (17) (1.58 %)
2	2026_Король_В.О._ФІТ_ІТТС_СІ-22-1 6/10/2026 Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (Каф. ІТТС)	18 (1) (0.12 %)

Програма обміну базами даних (14.89 %)



#	ЗАГОЛОВОК	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
3	Мукомела 12/2/2025 West Ukrainian National University (West Ukrainian National University)	1168 (85) (7.75 %)
4	Shylivkyi_I_KTm-61.doc 12/28/2023 Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University (кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій)	388 (34) (2.58 %)
5	SUMDU/out2019/Melnyk_electric_drive.pdf 7/20/2019 Sumy State University (SUMDU)	168 (11) (1.12 %)
6	2024_mag_Osadchyy Volodymyr Ivanovych EC_23_2zm_magistr 3/6/2025	146 (14) (0.97 %)

7	КП Ульянов репозитарій 12/18/2025 Poltava Professional College, National University of Food Technologies (Poltava Professional College, National University of Food Technologies)	139 (12) (0.92 %)
8	Дисертація Насиров С.В. 11/20/2025 V. N. Karazin Kharkiv National University (ККНУ) (УІПА - Бібліотека)	137 (12) (0.91 %)
9	Копына Taras_KAm_61.doc 12/16/2020 Ternopil Ivan Pul'uj National Technical University (кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв)	44 (2) (0.29 %)
10	bitstream_7f3ec000-b9d6-462d-ab63-8de81a28d8b7 12/8/2024 National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" students papers (National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" students papers)	17 (1) (0.11 %)
11	Дослідження впливу властивостей електромеханічної системи з пружними зв'язками на пускові режими роботи електричного приводу 12/24/2019 Kryvyi Rih National University (Кафедра автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті)	13 (1) (0.09 %)
12	ВКР_Чумак(1) 5/30/2025 State University of Trade and Economics (Кафедра комп'ютерних наук та інформаційних систем)	12 (1) (0.08 %)
13	NUPH/ЯСС_Недашківський А.С..pdf 5/7/2019 National University of Pharmacy (NUPH)	6 (1) (0.04 %)
14	2023_81410008_Chukhrai_Vitalii_Ihorovych_193585 10/26/2024 National University "Lviv Politechnika" (National University Lviv Politechnika)	5 (1) (0.03 %)
15	IndMachulyanOV.docx 11/23/2023 Metinvest Politechnic (Metinvest Politechnic)	1 (1) (0.01 %)

Інтернет (12.72 %)



#	ДЖЕРЕЛО URL	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
16	http://4ua.co.ua/manufacture/tb3ad68b4c43a88421316c37_2.html	1305 (76) (8.66 %)
17	http://refeteka.ru/r-181364.html	319 (17) (2.12 %)
18	https://www.freepapers.ru/37/modeljuvannya-ta-proektuvannya-ks-standarti/227226.1553319.list3.html	74 (7) (0.49 %)
19	https://www.kazedu.kz/referat/172317/22	72 (3) (0.48 %)
20	https://repo.nung.edu.ua/bitstreams/1d0fe955-b53d-4bbc-bf86-611e7dcb6659/download	65 (6) (0.43 %)
21	http://www.za4et.net.ru/referat/pgpopm	16 (2) (0.11 %)
22	https://imuk.pnzgu.ru/files/imuk.pnzgu.ru/imuk_3_29_.pdf	15 (2) (0.1 %)
23	https://dspace.vspu.edu.ua/items/f7b256dc-379c-4109-a1c5-9c6a5e359f4f	13 (1) (0.09 %)
24	http://ito.vspu.net/ENK/2016-2017/Hordiychyk_Case_2016/navch.mat/Lekcia_6.pdf	11 (2) (0.07 %)

25	https://ekhsuir.kspu.edu/items/f148af38-cca2-4c5e-ae43-76ee63d9c48a	10 (1) (0.07 %)
26	https://ukrbukva.net/page.4.92079-Ispol-zovanie-CASE-tehnologiy-dlya-sozdaniya-sistem-upravleniya-elektronnogo-dokumentooborota.html	10 (1) (0.07 %)
27	http://ni.biz.ua/3/3_20/3_20501_metod-funktsionalnogo-modelirovaniya-SADT-IDEF.html	6 (1) (0.04 %)

Список прийнятих фрагментів

#	ЗМІСТ	КІЛЬКІСТЬ ОДНАКОВИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
https://repo.nung.edu.ua/bitstreams/1d0fe955-b53...		41 (0.27%)
1	Міністерство освіти і науки України Івано-Франківський національний технічний ...	13 (0.09%)
2	Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і...	17 (0.11%)
3	5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) 1	11 (0.07%)
2026_Гера_В.В._ФІТ_ІТТС_CI-22-1		221 (1.47%)
1	Факультет інформаційних технологій Кафедра інформаційно-телекомунікаційних тех...	9 (0.06%)
2	Освітня програма - «Системна інженерія-Інтернет речей» Спеціальність G7 «Автом...	44 (0.29%)
3	ініціали та прізвище) Івано - Франківськ 2026 Івано-Франківський націонал...	26 (0.17%)
4	«Автоматизія, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»1. Тема бакал...	37 (0.25%)
5	затверджена наказом по університету No 163 7 від	7 (0.05%)
6	2026 року) Керівник роботи к.т.н., доцент возний андрій володимирович закінчен...	13 (0.09%)
7	Періодична науково-технічна, сигнальна та оглядова інформація по темі дипломно...	14 (0.09%)
8	листів - 1). 6. Дата видачі завдання 04.05.2026 Керівник, к.т.н., доцент а в в...	21 (0.14%)
9	15.05 -22.05. 2026 р. 2	5 (0.03%)
10	18.05 -25.05. 2026 р 3	5 (0.03%)
11	23.05 -31.05. 2026 р. 4	5 (0.03%)
12	28.05-04.06. 2026 р. 6 Оформлення пояснювальної записки 31.05 -08.06.2026 7 ...	15 (0.1%)
13	підпис) Керівник роботи, к.т.н., доцент	7 (0.05%)
14	на 3 сторінках. Тема бакалаврської роботи: «Розроблення	7 (0.05%)
15	Предметом дослідження є технічні засоби побудови	6 (0.04%)
Мукомела		107 (0.71%)
1	компресорну установку, її склад, призначення окремих вузлів	7 (0.05%)
2	розробка структурної схеми конструктивних та технологічних елементів механізму...	10 (0.07%)
3	конструктивна схема поршневого компресора подана на рисунку 1.1 Рисунок 1.1	7 (0.05%)

4	1.3 Контрольно-вимірювальні прилади Для візуального спостереження робочого ста...	23 (0.15%)
5	CALS-методології.Концепція та стандарти CALS визначають	7 (0.05%)
6	Розгляд віброакустичних характеристик отриманої моделі У машинах такого типу в...	14 (0.09%)
7	Розрахунок швидкості зіткнення та часу появи ударних імпульсів для кожного Рис...	30 (0.2%)
8	клапани компанії EMERSON Process Management. можливість використання клапанами...	9 (0.06%)
https://ekhsuir.kspu.edu/items/f148af38-cca2-4c5...		10 (0.07%)
1	робота складається з вступу, двох розділів, висновків, списку використаних дже...	10 (0.07%)
Копына Taras_KAm_61.doc		33 (0.22%)
1	множник, що характеризує реакцію зв'язку а; Т - кінетична енергія механічної с...	33 (0.22%)
2023_81410008_Chukhrai_Vitalii_Ihorovych_193585		5 (0.03%)
1	Харків: ХНАМГ, 2006. - 185 с	5 (0.03%)

20 Міністерство освіти і науки України
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
1 Факультет інформаційних технологій
Кафедра інформаційно-телекомунікаційних технологій і систем

Дорош Іван Михайлович
УДК 681.518.3:621.51

БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

Тема: «Розроблення інформаційно-вимірювальної системи для дослідження роботи компресорної установки»

1 Освітня програма - «Системна інженерія-Інтернет речей»
Спеціальність G7 «Автоматизія, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

20 Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:

Здобувач освітнього ступеня _____ І.М. Дорош
(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник _____ Заміховська О.Л., к.т.н., доцент (підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника) Дopusчено до захисту

Івано - Франківськ

2026

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Факультет інформаційних технологій

Кафедра Інформаційно- телекомунікаційних технологій і систем

Спеціальність G7 1 «Автоматизія, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

ОПП «Системна інженерія-Інтернет речей» ЗАТВЕРДЖУЮ В.о.зав. кафедри ІТТС к.т.н., доц. О.Л. Заміховська « » травня 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА ВИКОНАННЯ БАКАЛАВРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТОВІ

Дорош Іан Михайлович

1. Тема бакалаврської роботи: «Розроблення інформаційно-вимірювальної системи для дослідження роботи компресорної установки» (затверджена наказом по університету No 256/7 від 29.05. 2026 року) Керівник роботи к.т.н., доцент

Заміховська Олена Леонідівна

2. Термін здачі студентом закінченої роботи 08 червня 2026 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи). 1 Періодична науково-технічна, сигнальна та оглядова інформація по темі дипломного проекту,

технічна документація на компресорну установку.

21 4. Зміст розрахунково - пояснювальної записки (пер.елік питань, що підлягають розробці)

Вступ. Загальні відомості про 3 компресорну установку, її склад, призначення окремих вузлів. Розробка інформаційно-вимірювальної системи контролю для дослідження роботи компресорної установки. Структура системи контролю і управління. Створення логічної моделі системи управління компресорної установки. Синтез системи управління приводу компресорної установки. Аналіз і розробка структурної схеми конструктивних і технологічних елементів механізму руху поршневого компресора. Вибір структури контролера і його складую. Моделювання алгоритму управління в програмному пакеті математичного моделювання MATLAB.

20 5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Конструктивна схема поршневого компресора. Графіки регулювання напору і подачі компресорної установки при зміні характеристик мережі. Графіки регулювання подачі компресорної установки зміною частоти обертання (листів - 1).
2. Функціональна схема регулювання частоти обертання електродвигуна компресора з використанням частотного перетворювача Micromaster440. Функціональна хема системи управління компресорною установкою (листів - 1).
3. Структурно-функціональна діаграма механізму руху і зрівноваження компресорної установки (листів - 1).
4. Структурна схема другого контура регулювання. Структурна схема третього контура регулювання. Графік перехідного процесу (листів - 1).
5. Структурна схема САУ компресора (листів - 1).
6. Резервовий контролер і несучі панелі. Один сегмент польової шини H1 1 (листів - 1). 6. Дата видачі завдання 28.05.2026 року

Керівник, к.т.н., доцент

Олена ЗАМІХОВСЬКА

(підпис) Завдання прийняв студент-бакалавр

Іван ДОРОШ

(підпис) КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН No 20 Назва етапів

бакалаврської роботи Термін виконання етапів роботи Примітка

- 1 Вступ. Загальні відомості про компресорну установку, її склад, призначення окремих вузлів 1 15.05 -22.05. 2026 р.
- 2 Розробка інформаційно-вимірювальної системи контролю для дослідження роботи компресорної установки. 1 18.05 -25.05. 2026 р
- 3 Структура системи контролю і управління. Створення логічної моделі системи управління компресорної установки. 1 23.05 -31.05. 2026 р.
- 4 Синтез системи управління приводу компресорної установки. Аналіз 3 розробка структурної схеми конструктивних і технологічних елементів механізму руху поршневого компресора 25.05 -01.06.2026 р.
- 5 Вибір структури контролера і його складую. Моделювання алгоритму управління в програмному пакеті математичного моделювання MATLAB. 1 28.05-04.06. 2026 р.
- 6 Оформлення пояснювальної записки 31.05 -08.06.2026
- 7 Оформлення графічного матеріалу 01.06 - 15.06.2026

Студент-бакалавр

Іван ДОРОШ

1 (підпис)

Керівник роботи, к.т.н., доцент

Олена ЗАМІХОВСЬКА

(підпис)

РЕФЕРАТ

Бакалаврська 25 робота складається з вступу, двох розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 99 сторінках і містить 34 рисунки, 3 таблиці, список використаних джерел з 18 найменувань на 2 сторінках та одного додатку 1 на 3 сторінках.

Тема бакалаврської роботи: «Розроблення інформаційно-вимірювальної системи контролю для дослідження роботи компресорної установки».

1 Предметом дослідження є технічні засоби побудови інформаційно-вимірювальної системи для дослідження роботи компресорної установки

1 Метою бакалаврської роботи є дослідження ефективності роботи роботи компресорної установки 1 в стендових умовах шляхом розробки інформаційно-вимірювальної систем контролю її параметрів. Результати бакалаврської роботи: на основі проведеного аналізу особливостей компресорної установки з точки зору об'єкту контролю і управління:

1. розроблена структура системи контролю і управління компресорною установкою;
2. проведено визначення основних завдань синтезу системи управління компресорною установкою;

3. проаналізовані особливості характеристик систем управління компресорною установкою.

Розроблено логічну модель системи управління компресорною установкою в процесі створення якої:

1. проведено моделювання алгоритму управління в програмному пакеті математичного моделювання MATLAB;

2. синтезовано систему управління приводу компресорної установки та проведено вибір структури контролера і його складу.

Ключові слова: компресорна установка, система, логічна модель, алгоритм, математичне моделювання, контролер, технічні засоби.

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of an introduction, two chapters, conclusions, a list of sources used. The work is presented on 99 pages and contains 34 figures, 3 tables, a list of sources used with 18 names on 2 pages and one appendix on 3 pages.

The theme of the bachelor work: "Development of the information-measuring control system for the study of the operation of the compressor installation". The subject of the study is the technical means of constructing an information-measuring system for the study of the operation of the compressor installation. The purpose of the bachelor's work is to study the efficiency of the operation of the compressor plant in the stand conditions by developing an information and measurement system for monitoring its parameters. Results of the bachelor work: on the basis of the analysis of the features of the compressor installation in terms of the object of control and management, the structure of the control and management system of the compressor installation is developed, the determination of the main tasks of the synthesis of the control system by the compressor installation, features of the control systems of the compressor installation are analyzed. The logical model of the control system of the compressor installation in the process of creation of which is developed:

- simulation of the control algorithm in MATLAB mathematical model software package;
- the control system of the drive of the compressor installation was synthesized and the structure of the controller and its components were selected.

Keywords: compressor unit, system, logical model, algorithm, mathematical modeling, controller, technical means.

ЗМІСТ

C.

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОМПРЕСОРНУ УСТАНОВКУ, ЇЇ СКЛАД ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ	11
1.1 Конструкція і принцип роботи компресорної установки	11
1.2 Основні види приводу компресорної установки	12
2 РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ І УПРАВЛІННЯ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ	27
2.1 Структура системи контролю і управління	27
2.2 Надійність системи протиаварійного автоматичного захисту	31
2.3 Визначення основних завдань синтезу системи управління КУ	32
2.4 Тимчасові параметри управління	33
2.5 Особливості характеристик систем управління	38
2.6 Створення логічної моделі системи управління компресорної установки	47
2.7 Апаратна і програмна реалізація системи управління компресорною установкою	65
2.8 Програмна реалізація забезпечення для контролю і управління	90
ВИСНОВКИ	94
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	95
ДОДАТОК А ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЛОКУ ВВЕДЕННЯ/ВИВОДУ	97

ПЕРЕЛІК ОСНОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АСК - автоматична система контролю
РАСУ - розподілена автоматизована система контролю
ІВС - інформаційно-вимірювальна система
ОПС - оперативна служба
АСУ ТП - автоматизована система управління технологічними процесами
САУ - система автоматизованого управління
ПАЗ - протиаварійний автоматичний захист
ДБЖ - джерело безперебійного живлення
КВПІА - контрольно-вимірювальні прилади і апаратура
ККД - коефіцієнт корисної дії
ЦАП - цифро-аналоговий перетворювач
АЦП - аналого-цифровий перетворювач
КЕ - конструктивні елементи

ТЕ - технологічні елементи
ПК - поршневий компресор
КУ - компресорна установка
СУПК - система управління поршневого компресора
ЦПГ - циліндро-поршнева група
ПФ - передавальна функція

ВСТУП

Компресорні машини належать до ключових виробів машинобудівної галузі та широко використовуються в різноманітних секторах економіки: хімічній та нафтовій промисловості, газовій справі, машинобудуванні, транспорті, металургії, геології, будівництві, агропромисловому секторі, а також у таких сучасних напрямках, як космічні технології, робототехніка, виробництво штучного палива тощо. Основним елементом будь-якої холодильної чи криогенної системи є компресор - саме від якості та стабільності його функціонування залежать як ККД, так і ресурс усього обладнання.

На сьогодні в Україні та державах найближчого зарубіжжя в експлуатації перебуває понад 500 тисяч промислових компресорів, які у сукупності з вентиляторами та насосами забезпечують споживання приблизно п'ятої частини всієї електроенергії, що виробляється в країні. У сфері виробництва та технічного обслуговування компресорів зайнято більше мільйона працівників. З огляду на це питання підвищення технічного рівня компресорного та холодильного обладнання, зокрема зростання його ефективності й надійності, набуває важливого народногосподарського значення та є пріоритетом діяльності численних науково-дослідних, конструкторських і технологічних установ, а також підприємств галузі холодильного і компресорного машинобудування [1,2,3].

Провідними напрямками розвитку дослідно-конструкторських та науково-дослідних робіт зокрема є:

1. Подальша розробка і впровадження моноблочних і блокових компресорних установок з максимальною мірою заводської готовності і установок повітряноохолоджуваних, у тому числі встановлюваних на відкритих майданчиках.
2. Проведення робіт по вдосконаленню компресорів шляхом організації робочого процесу і конструкцій машин на основі фундаментальних експериментальних і теоретичних досліджень, математичних моделей і підсистем САПР, створення комплексних математичних моделей окремих типів машин, що описують робочі процеси з урахуванням міцності і надійності конструкцій і металоємності. Створення і впровадження норм розрахунку, оптимізованих програм експериментальних досліджень, стандартів на методи випробувань компресорів і їх елементів.
3. Дослідження і розробка заходів щодо зменшення шуму і вібрацій компресорного устаткування, по підвищенню його надійності, безпеки і екологічності.
4. Розробка і створення стандартних і пересувних автоматизованих вимірювальних комплексів для проведення випробувань компресорів відповідно до типових методик при одночасній обробці досвідчених даних з використанням ЕОМ. Розробка і впровадження типових схем і програм вимірів, пов'язаних з відповідними датчиками, перетворювачами сигналів, програмами обробки і аналізу досвідчених даних в ході випробувань і інші.

Більшість компресорного та холодильного парку обладнання, що використовується в Україні, має значний ступінь морального та фізичного старіння, що зумовлює необхідність його часткової заміни або комплексного оновлення. Саме тому сьогодні особливої актуальності набувають питання ремонту та модернізації такого устаткування, насамперед одиниць із тривалим терміном служби. Замовники при цьому, як правило, висувають вимоги щодо зміни окремих робочих характеристик компресорів або установок загалом, паралельно підвищуючи стандарти надійності, безпеки, економічності та екологічності їх експлуатації.

Компресорні установки становлять невід'ємну частину більшості промислових і цивільних об'єктів - хімічних, нафтопереробних, газових, автомобільних, науково-дослідних тощо. Ключова функція такої установки - безперервне забезпечення об'єкта газовою сумішшю із визначеними наперед параметрами. Відповідно, будь-яка відмова установки неминує спричиняє зупинку всього комплексу або щонайменше його істотної частини, завдаючи значних економічних збитків. Зниження витрат на обслуговування, збільшення міжремонтного ресурсу та спрощення діагностики несправностей у поєднанні з підвищенням надійності дають вагомий підстави говорити про суттєві переваги від запровадження сучасних систем управління замість модернізації наявних стаціонарних станцій.

Водночас компресорна установка потребує постійного контролю з боку технічного персоналу служби експлуатації та передбачає підтримання нормативних показників роботи основних вузлів у встановлених межах. Однак надмірне навантаження, якому піддається обладнання, негативно позначається на загальному ресурсі його роботи та скорочує міжремонтні інтервали експлуатації установки.

У зв'язку з викладеним, розроблення інформаційно-вимірювальної системи контролю для дослідження роботи компресорної установки в стендових умовах є актуальною задачею і темою подальшої бакалаврської роботи.

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ ПРО КОМПРЕСОРНУ УСТАНОВКУ, ЇЇ СКЛАД ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ

1.1 Конструкція і принцип роботи компресорної установки.

До конструкції стаціонарної компресорної установки входять такі основні елементи: поршневий компресор із крейцкопфом, електродвигун, а також системи охолодження, змащення, автоматичного керування та захисту.

Компресор являє собою поршневу крейцкопфну машину з опозитним або кутовим розміщенням циліндрів. В основу конструкції покладено стандартизовані параметричні ряди діаметрів циліндрів, які застосовуються заводом-виробником [4,5,6]. Базовим для параметричних рядів є опозитне компонування 4М та кутові схеми 5П і 2П, хоча також зустрічаються зустрічні компонування та спеціально розроблені системи для орієнтованого виробництва типу 5ПЦ і 5РЦ. До складу компресора входять такі головні вузли: база, циліндри, система охолодження та привід. База є зварно-литою конструкцією, що складається з уніфікованих вузлів кривошипно-шатунного механізму - зокрема колінчастого вала, шатуну та крейцкопфа - а також рами, блоку мастила механізму руху та багатоплунжерного насоса, що забезпечує подачу мастила до циліндрів і ущільнювачів штоків. В установках без мастила функцію подачі виконує багатоплунжерний насос (мастильна станція) відсмоктувального типу.

Рама виконана у вигляді чавунної литої, коробчастої конструкції з внутрішніми ребрами жорсткості. У верхній частині рами передбачено люки з щільно підігнаними кришками, що забезпечують доступ до деталей механізму руху. Нижня частина рами слугує резервуаром для мастила та оснащена покажчиками його рівня. Для монтажу циліндрів компресора на рамі передбачені спеціальні приливи, а в отворах поперечних ребер

встановлено чавунні гільзи крейцкопфів - направляючі елементи для крейцкопфів. У разі зносу гільзи можуть бути повернуті або замінені новими.

Колінчастий вал: сталевий штампований, з кривошипами для установки шатунів, спирається на роликові підшипники (для кутових баз колінчастий вал виконується одинкривошипним, для урівноваження на вал встановлюються противаги). На одному кінці колінчастого валу встановлений ротор електродвигуна (з'єднання шпона), а в закріпленому на торці валу фланці виконаний квадратний отвір для забезпечення провертання валу компресора за допомогою руків'я перед запуском. (Руків'я входить в комплект ЗВП). На іншому кінці валу кріпиться шестерня для передачі обертання валу масляного насоса блоку мастила [7].

Крейцкопф: чавунні або алюмінієві литі або штамповані, виготовляються у згоді з повзунами. Крейцкопф сполучений з штоком заставною гайкою і контргайкою, стопорними болтами, що законтрили. З шатунами крейцкопф з'єднується за допомогою пальця.

Пальці крейцкопфів: сталеві, при зборці запресовуються в крейцкопф і стопоряться пружинними кільцями.

Шатуни: сталеві штамповані двотаврового перерізу. Шатун має кривошипну голівку з відокремленою кришкою і нероз'ємну голівку крейцкопфа.

Роз'ємні вкладиші кривошипної голівки з антифрикційним шаром з алюмінієвого сплаву. У голівку крейцкопфа запресована бронзова втулка.

Мастило пальця крейцкопфа здійснюється через отвір шатуна.

Кришка кривошипної голівки шатуна з'єднується із стержнем шатуна, двома шатуновими болтами легованої сталі і гайками. На голівці кожного шатунового болта вказується його початкова довжина, необхідна для оцінки залишкового подовження болта за час експлуатації.

Циліндри: залежно від конструктивної схеми компресорної машини можуть виконуватися як одно-, дво- або триступеневі, із простою або подвійною дією, а також із наявністю зрівноважувальної порожнини або без неї.

В одноступеневих компресорах використовуються циліндри подвійної дії з однаковим діаметром по всіх секціях [7,8]

У двоступеневих машинах встановлюються циліндри подвійної дії, що відрізняються між собою діаметром - відповідно до різниці тиску на кожному ступені стиснення.

У триступеневих компресорах ⁷ циліндр першого ступеня працює за принципом подвійної дії, тоді як циліндри другого та третього ступенів конструктивно об'єднані в єдиному блоці з диференціальним поршнем і зрівноважувальною порожниною, розташованою між ступенями. У чотириступеневих конструкціях застосовуються два окремі циліндри, кожен з яких оснащений диференціальним поршнем та зрівноважувальною порожниною між відповідними ступенями стиснення.

У п'ятиступінчастих в одному ряду встановлений циліндр з двома, а в іншому з трьома східцями стискування, при цьому поршень першого ступеня подвійної дії.

У шестиступінчастих компресорах встановлено два циліндри, кожен з трьома східцями стискування, циліндри першої і другої східців - чавунні литі з сорочками, що охолоджують.

Циліндри ступенів багатоступеневих компресорів виготовляються з різних матеріалів залежно від типу робочого газу та величини кінцевого тиску. Більшість із них оснащені змінними робочими гільзами з спеціального зносостійкого чавуну, ущільнення яких по діаметру забезпечується гумовими кільцями, а по торцю - паронітовими прокладками.

Клапани (всмоктувальні та нагнітальні) є самодіючими пластинчастими - кільцевими, прямоочними або стрічковими. Їх фіксація в гніздах здійснюється за допомогою натискних склянок і стопорних болтів або натискних шпильок із ковпачковими гайками. ⁷ На ступенях високого тиску встановлюються комбіновані клапани, що поєднують у собі всмоктувальні та нагнітальні елементи в одному вузлі.

⁷ Ущільнення циліндрів, люків, клапанних кришок і фланцевих з'єднань досягається використанням паронітових прокладок, тоді як на ступенях високого тиску застосовуються прокладки з м'якої відпаленої міді.

Поршні виготовляються з чавуну, алюмінієвих сплавів або сталі. В одно- та двоступеневих компресорах використовуються дискові поршні подвійної дії, а в багатоступеневих - диференціальні.

Поршневі кільця виконуються з чавуну. В ⁷ компресорах без змащення циліндрів застосовуються кільця з композиційних самозмащувальних матеріалів.

Штоки виготовляються з вуглецевої сталі та мають поверхнєве ущільнення.

Стандартна ³ конструктивна схема поршневого компресора наведена на рис. 1.1 [8].

¹⁷ **Рисунок 1.1** – Стандартна схема виконання поршневого компресора:

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

1.2 Основні види приводу компресорної установки

Привід ³ компресора здійснюється від електродвигуна, ротор якого безпосередньо ⁷ насаджується на вал компресора, тоді як статор жорстко закріплюється на рамі агрегату. Залежно від типу середовища, що стискається - атмосферного повітря чи різноманітних газів - використовуються відповідні типи електродвигунів [7,8]:

1) Повітряні компресори на базі ¹⁷ М

1. двошвидкісного асинхронного електродвигуна А2К 85/24-8/16 160/75 кВт, 750/375 про/мін (синхр.), 380 В, 50 Гц. Пуск двигуна здійснюється при повній напрузі мережі при розвантаженому компресорі.

Перехід із стану спокою ⁴ на частоту обертання 6 с-1 (360 про/мін) - ступінчастим перемиканням обмотки статора.

Електродвигун розрахований на два послідовні пуски з холодного стану або один пуск із розігрітого стану при частоті обертання 6,17 с-а (370 об/хв). Допустима кількість пусків не перевищує п'яти на годину з обов'язковим інтервалом між ними не менше 12 хвилин. Річний ресурс пусків обмежений показником 10 000. Кількість перемикань частоти обертання не повинна перевищувати 20 разів на годину, при цьому мінімальний інтервал між перемиканнями має становити не менше 3 хвилин.

Повітряні компресори на базі 5П комплектуються:

1. синхронним безщітковим електродвигуном ¹⁷ ССДКМ 15-21-12 потужністю 200 кВт, 500 об/хв, 380 В, 50 Гц.

2. асинхронним електродвигуном АСК 560-12 потужністю 200 кВт, 500 об/хв, 380 В, 50 Гц.

Повітряні компресори на базі 2П оснащуються асинхронним електродвигуном АВ2-101-8 потужністю 75 кВт, 735 об/хв, 380 В, 50 Гц.

Газові компресори на базі 4М, 5П, 2П та 5ГЦ комплектуються електродвигунами у вибухозахищеному продувному виконанні ¹⁷ ExpITS».

(H4TS-П) з аналогічними технічними характеристиками. Усі електродвигуни постачаються разом із пусковою апаратурою.

Умовні позначення компресорів

Маркування компресорів відображає їх основні технічні характеристики та параметри.

Для компресорів на опозитній базі 4М:

1. цифра «2» перед літерами «ВМ», «ГМ» або «НП» означає дворядне виконання;
2. літери «ВМ», «ГМ», «НП» вказують на призначення компресора - стиснення повітря, водню або невибухонебезпечного газу в опозитному виконанні;
3. цифра «4» після цих літер позначає номінальне навантаження на шток у тс;
4. дріб після цифри «4» відображає продуктивність у м³/хв (чисельник) та кінцевий абсолютний тиск нагнітання у кгс/см² (знаменник); для підвищувальних компресорів у знаменнику зазначаються тиски всмоктування та нагнітання;
5. літера «С» вказує на виконання без змащення циліндрів із відносною вологістю стисненого газу не менше 30%;
6. позначення «М1», «М2» відповідають порядковому номеру модернізації.

Літера «С» перед «ГМ» або «НП» означає, що відносна вологість стисненого газу не перевищує 30%.

Приклад: 2СНМ4-24/9 СМ2 УХЛ4 - дворядна компресорна установка опозитного типу для стиснення нейтрального газу з відносною вологістю менше 30%, із зусиллям на штоку 4 тс, продуктивністю 24 м³/хв та кінцевим абсолютним тиском 9 кгс/см², без змащення циліндрів і ущільнювачів, модернізована. Кліматичне виконання УХЛ4 згідно з ГОСТ 15150-69.

Для компресорів на кутових базах 5П і 2П:

1. літери «ВП» або «ГП» вказують на призначення для стиснення повітря («В») або газу («Г») у прямокутній схемі («П»);
2. цифри «2» і «5» перед «ВП» позначають номінальне навантаження на шток у тс;
3. дріб після «ВП» або «ГП» відображає продуктивність у м³/хв і надлишковий кінцевий тиск у кгс/см²;
4. перша цифра вказує порядковий номер модифікації.

1. Система змащення компресорів

Змащення здійснюється двома незалежними контурами:

1. циркуляційною системою низького тиску для подачі мастила до механізму бази;
2. системою високого тиску для подачі мастила безпосередньо в циліндри.

Система низького тиску: мастило заливається в нижню частину рами, звідки через сітчастий фільтр грубого очищення шестеренним насосом подається до блоку мастила, далі через напірну трубу - у внутрішній канал колінчастого вала з розподілом на поверхні кривошипних шийок і шатунів. Для запобігання витіканню мастила з рами на підшипниках колінчастого вала встановлено ущільнювачі. Заливання мастила здійснюється через кришку люка, рівень контролюється стрижневим маслопоказником, злив - через зливний кран.

Система високого тиску: привід багатоплунжерного насоса здійснюється від провідного валика шестеренного насоса блоку мастила. Проїшовши через плунжерний насос, мастило надходить до отворів у кришках і гільзах циліндрів та рівномірно розподіляється по поверхнях тертя. Контроль подачі здійснюється через оглядове вікно насоса. Для механізму руху використовуються мастила марок И-50А та МС-20; для циліндрів і ущільнювачів К-12, К-19 або МС-20 залежно від марки компресора. У компресорах без змащення циліндрів система подачі мастила в циліндри не передбачена, лубрикатори відсутні. Поршні таких машин оснащені опорними та розрізними кільцями з самозмащувальних композиційних матеріалів на основі фторопласту з різними наповнювачами. Для стиснення повітря та вологих газів застосовуються кільця з фторопласту 4К20; при тиску до 0,8 МПа допускається матеріал АФГ-80С; для роботи з осушеними газами - фторопласт із графітом і дисульфідом молібдену АФГМ або ГФЗ-5м. Для виключення потрапляння мастила з рами в робочу порожнину кожен циліндр оснащується маслоснімним пристроєм, маслосбивачем і маслоснімними кільцями.

2. Система охолодження

Охолодження компресорів - водяне. Стандартно компресори постачаються з відкритою системою охолодження зі зливом води через зливні воронки з розривом струменя. За умови використання закритої системи охолодження експлуатація повинна відповідати вимогам відповідних нормативних документів: для повітряних компресорів - «Правил влаштування і безпечної експлуатації стаціонарних компресорних установок», для газових - ПБ 09-297-03. Якість охолоджувальної води має відповідати вимогам зазначених правил.

3. Система автоматики

Система автоматики призначена для керування роботою компресорної установки, захисту обладнання та контролю робочих параметрів. У взаємодії з електроприводом вона забезпечує аварійне відключення установки із зупинкою двигуна в таких випадках для газових компресорів:

1. падіння тиску охолоджувальної води;
2. короткі замикання або пошкодження в системі електроприводу та керування;
3. зниження тиску мастила в циркуляційному контурі;
4. відхилення тиску газу від допустимих значень на лінії всмоктування;
5. перевищення допустимого тиску газу після кожного ступеня стиснення;
6. припинення продування корпусу електродвигуна повітрям;
7. перевищення допустимого тиску газу в корпусі компресора.

Аварійне відключення супроводжується світловою та звуковою сигналізацією. У газових компресорах передбачена дистанційна пневматична передача показань контрольованих параметрів на прилади релейної шафи на відстань до 200 м. Залежно від модифікації системи автоматики можуть відрізнятися функціональними можливостями та елементною базою - релейною, мікроелектронною або мікропроцесорною. Технічні параметри роботи компресорної установки наведені в табл. 1.1, а в табл. 1.2 - коротка характеристика її технологічного устаткування. Перелік блокувань і сигналізації компресорної установки наведені в табл. 1.3. Контрольно-вимірювальні прилади для безпосереднього візуального спостереження за робочим станом компресорної установки в контрольних точках встановлено дисплеї, що відображають поточні значення вимірюваних параметрів [9,10]:

1. датчики тиску оснащені рідкокристалічними панелями, на яких виводяться показники, що перебувають під контролем операторського персоналу;
2. місцеві терморезистивні датчики за запитом замовника можуть додатково комплектуватися дисплеями та функціональними панелями керування;
3. датчики вібрації та система моніторингу стану вала компресора не мають вбудованих засобів відображення параметрів, однак оснащені світловими індикаторами для візуального відстеження контрольованих показників.

2 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ

Розподілена автоматизована система управління (PCY) технологічним процесом компресорної установки є сукупність технічних засобів, призначених для моніторингу і управління технологічним процесом. Базовим технічним засобом цієї системи управління є багатоконтурний контролер DeltaV серії M5+ [10,11].

Верхній рівень цієї PCY є операторською станцією на основі персонального комп'ютера з програмним забезпеченням DeltaV.

До ключових функцій операторської станції належать: контроль технологічних параметрів у реальному часі, дистанційне керування установкою, запис та накопичення історії змін важливих технологічних показників, організація системи попереджувальної сигналізації, реєстрація команд оператора та сигналів тривоги у журналі подій, відображення динаміки параметрів у графічному вигляді, формування технологічної звітності, а також виконання низки додаткових сервісних функцій.

2.1 Структура системи контролю і управління

Інформаційно-вимірювальна система контролю і управління компресорною установкою IBC-KY призначена для виконання наступних завдань:

1. автоматизованого контролю і управління в реальному масштабі часу технологічним процесом стискування і транспортування газу, а також підтримка його на регламентованому рівні;
2. збезпечення високого рівня безпеки технологічного процесу;
3. постійність аналізу динаміки зміни параметрів у бік критичних значень і прогнозування можливих аварійних ситуацій;
4. проведення операцій безаварійного пуску, останову і усіх необхідних для цього перемикачів;

1. дій засобів управління і проєктованих автоматизованих захистів, аварійних ситуацій, що припиняють розвиток;

2. система управління реалізовує безперервний контроль за станом і режимами роботи технологічного устаткування і агрегатів, попереджувальну і аварійну сигналізацію при відхиленні режимних параметрів від регламентованих норм і установок, дистанційне керування старанними механізмами, протиаварійний захист технологічного устаткування і об'єктів, розрахунок техніко-економічних показників, архівацію інформації, формування і друк технологічних протоколів, аварійних повідомлень і окремих документів.

IBC-KY компресорної установки представлена як ієрархічна система оперативного контролю і управління, розташована в центральній операторській.

Ієрархічна структура АСУ ТП забезпечує наступні рівні управління [12,13]:

1. рівень оперативно-виробничої служби (ОПС) - верхній рівень АСУ ТП;
2. рівень системи автоматизованого управління (CAU) технологічними об'єктами - нижній рівень АСУ ТП;

Рівень оперативно-виробничих служб:

Рівень оперативно-виробничих служб призначений для:

1. формування людини - машинного інтерфейсу;
2. рестрації і візуалізації стану технологічних об'єктів;
3. управління в реальному масштабі часу;
4. сигналізація відхилення параметрів технологічного процесу від регламентних попереджувальних і передаварійних меж;
5. дистанційне керування старанними механізмами і електроприводами агрегатів;
6. реєстрації в базі даних, архівації подій і зміни значень технологічних параметрів;
7. формування і друк технологічних зведень, облікових і звітних документів.

На цьому рівні оперативно-технологічним персоналом, з використанням апаратно-програмних засобів АСУ ТП, здійснюється оперативний контроль за поточним станом і режимами роботи основних і допоміжних технологічних процесів, а також видача установок по регулюванню технологічних параметрів.

Рівень системи автоматизованого управління

Технологічними засобами цього рівня здійснюється автоматичний контроль і управління процесами, підтримка заданих режимів роботи, аварійний захист устаткування; і обмін інформацією з вищестоящим рівнем.

На даній рівні забезпечується реалізація наступних функцій [13]:

1. вимір технологічних параметрів;
2. автоматичне управління режимами роботи технологічного устаткування;
3. управління старанними механізмами;
4. контроль безпеки і аварійний захист технологічного устаткування.

IBC-KY включає функціонально виділену систему протиаварійного автоматичного захисту (ПАЗ). Система ПАЗ забезпечує розпізнавання аварійної ситуації (вихід за аварійні межі технологічних параметрів) і автоматичне переведення технологічного устаткування в безпечний стан.

Відробіток алгоритмів ПАЗ супроводжується формуванням і видачею оперативно-технологічному персоналу світлової і звукової сигналізації.

Основна схема, що реалізовує цей алгоритм представлена на рис. 2.1

Рисунок 2.1 – Логічна схема блоку сигналізації і дозволу на пуск компресора

Функціонально виділена система ПАЗ знаходиться в стані очікування на будь-якому етапі пуску, роботи і зупинки компресора, внаслідок чого, переведення системи на безпечний режим здійснюється незалежно від стану системи за умови наявності критичного порогу, основні параметри якої зведені в таблицю 1.3. Зважаючи на складність і велику динаміку технологічного процесу велика увага приділяється надійності системи.

2.2 Надійність системи протипожежного автоматичного захисту

Надійність системи ПАЗ забезпечується

1. апаратним резервуванням (дублюванням);
2. тимчасовою і функціональною надмірністю;
3. наявністю систем діагностики і самодіагностики;
4. охоронними порогами переходу системи.

Для забезпечення безперебійної роботи устаткування АСУ ТП електропостачання виробляється через джерело безперебійного живлення (ДБЖ). ДБЖ забезпечує функціонування системи до перемикачів фідера живлення або на якийсь час необхідне для переведення технологічного

об'єкту в безпечний стан [13].

Застосування іскробезпечних бар'єрів захисту при роботі сучасних систем АСУ ТП, що працюють на об'єктах з вибухонебезпечними середовищами і побудованих на електронних засобах контролю і виміру, є необхідною умовою, оскільки: при обривах в ланцюгах вимірів ⁴ сигналів 4-20мА рівень напруги в ланцюзі датчика буде рівним напрузі джерела живлення, що витіюватиме виникненням пожежі. Тому для іскробезпечних бар'єрів встановлюється поріг спрацювання рівним 24В. При перевищенні рівня 24В напруги джерела живлення виникає струм витоку в діапазоні 0-4мА, що дає помилковий сигнал цілісності ланцюга.

Для запобігання цьому в систему, контролюючи обрив в ланцюзі датчиків сигналів 4 – 20мА, напругу джерела живлення ланцюга датчика встановлювати нижче за поріг захисту спрацювання іскробезпечних бар'єрів захисту на 0,2-0,3В або встановлювати послідовно в ланцюг джерела живлення діод. Вибір діода і схема підключення може бути реалізований, виходячи з рис. 2.2.

Рисунок 2.2 - Схема контролю обриву ланцюга давачів

САУ КУ повинна задовольняти вимогам безпеки, охорона праці і виробничої санітарії.

Електроустаткування САУ КУ повинне відповідати вимогам "Правил пристрою електроустановок", "Правил техніки безпеки при експлуатації електроустановок до 1000В".

Устаткування САУ КУ повинне мати спеціальні болти для підключення до системи заземлення (див. п.п. 7.2). Заземлюючі болти повинні мати маркувальний знак.

2.3 Визначення основних завдань синтезу системи управління компресорною установкою

Відповідно до параметрів режиму роботи, вказаних в таблиці 1.1, виділимо основні завдання управління КУ [14]. Для спрощення логічної схеми системи управління увесь цикл роботи був розбитий на функціональні модулі, в кожному з яких виконуються свої операції і реєструються нормативні значення технологічних параметрів. Увесь цикл роботи зводиться до дотримання режимів перемикання між модулями. Розглянемо кожний з них окремо.

1. Алгоритм пуску компресора:

Запуск компресора 5ГЦ відбувається шляхом подачі електроживлення на електродвигун. Відповідно, алгоритм «Пуску компресора» охоплює виконання всього комплексу підготовчих операцій, перевірку передпускових параметрів і умов, а також передачу на «верхній рівень» системи керування компресорною установкою сигналу про готовність агрегату до роботи - «Компресор до пуску готовий».

У разі якщо хоча б один із контрольованих параметрів або умов не відповідає передпусковим вимогам, формування зазначеного сигналу не допускається. Сигнал готовності компресора до пуску має генеруватися системою КВПіА у вигляді «сухого контакту», що передається на «верхній рівень», з одночасним відображенням на екрані комп'ютера повідомлення «Компресор до пуску готовий» замість попереднього напису «Підготовка компресора до пуску».

1.1 Сигнал "Компресор до пуску готовий" повинен формуватися при виконанні наступних передпускових вимог:

¹⁷ 1.1 Тиск газу на вході в стійку управління (РТ1), надлиш. не менше 6,2 кгс/см²; 1.1.2 Тиск масла в напірному колекторі (ВР108), надлиш. не менше 1,5 кгс/см²; 1.1.3 Температура масла в напірному колекторі (ВК2), не більш 450С; 1.2 В процесі підготовки компресора до пуску система КВПіА повинна виробляти пуск основного маслососа при виконанні наступних умов :

При не виконанні хоч би однієї з цих умов система КВПіА не повинна дозволити пуск маслососа (блокувати пуск маслососа) і повинна виводити на дисплей оператора сигнал ³ Заборона пуску маслососа по РТ4 менше 1,5 кгс/см². Вибір основного насоса здійснюється шляхом прорахування часу напрацювання кожного з насосів і включення потоку, перемикальним ланцюгом управління маслососами (вибір здійснюється тільки при непрацюючих маслососах).

При включенні маслососа на мнемосхемі повинна спалахувати світлова індикація про його включення.

⁵ 1.5 Момент початку пуску компресора фіксується по сигналу з САУ компресорної установки у вигляді "сухого контакту" або по досягненню частоти обертання ротора значення 300 про/хв. В процесі пуску система КВПіА повинна контролювати параметри відповідно до таблиці 1.1 із записом їх в пам'ять на жорсткий диск комп'ютера і вказівкою часу пуску. Нормальний пуск (без застосування системи тиристора управління ел. приводом) здійснюється протягом 8 - 30 секунд, з моменту початку пуску і до виходу на номінальний режим за частотою обертання ротора. На цей час уставки на спрацювання попереджувальної сигналізації і аварійного захисту повинні програмно подвоюватися по наступних параметрах:

¹⁷ 1. радіальне вібропереміщення шийки ротора (S1В, S.1Г, S2В, S.2Г);

¹⁷ 2. осеве зрушення (QS.1, QS.2); 1.5 Закінчення пуску компресора і вихід його на номінальний режим роботи фіксується системою КВПіА по досягненню частоти обертання ротора (n) значення 8412 об/хв. Після закінчення пуску на дисплей оператора повинен виводитися напис "Робота компресора".

1.5 При зриві пуску, коли зафіксований початок пуску по досягненню частоти обертання ротора значення 300 об/хв, а фіксації закінчення пуску по досягненню частоти обертання ротора значення 8412 об/хв не відбувається, можливі два варіанти розвитку подій: 1. частота обертання ротора досягла значення 0 - 10 об/хв. Це означає, що сталася зупинка компресорної установки і система КВПіА повинна відреагувати по алгоритму аварійного останову;

⁵ 2. частота обертання ротора "зависла" між значеннями 0 і 8412 об/хв. Система КВПіА повинна працювати по алгоритму "Пуск компресора", тобто чекати фіксації закінчення пуску або аварійного останову.

Висновок: з аналізу алгоритму виходить, що успішний початок роботи залежить як від міжмодульних параметрів, так і характеристик самої системи (в основному, системи охолодження і пускових елементів двигуна).

2. Алгоритм нормальної роботи компресора

Під час штатної роботи компресора система КВПіА здійснює безперервний моніторинг параметрів, наведених у таблиці 1.1 до чинних алгоритмів, та забезпечує можливість відображення поточного значення будь-якого з них на дисплеї - як у вигляді індивідуального або групового графіка, так і у табличному форматі поточних значень - за відповідною командою оператора.

Через кожні 8 (12) годин роботи компресора система КВПіА повинна автоматично записати значення контрольованих параметрів в пам'ять на жорсткий диск комп'ютера.

В процесі роботи компресора система управління повинна виробляти включення резервного маслососа у разі зниження тиску масла в ⁴ напірному колекторі (ВР108) до значення 1,4 кгс/см² надлиш. і виключення його досягнувши тиску ВР108 значення 2,0 кгс/см².

Сигналом для включення резервного маслоснасоса може бути і відключення основного маслоснасоса (наприклад: спрацював захист ел. приводу маслоснасоса по перевантаженню). В цьому випадку повинен відразу включитися резервний насос.

Включення резервного маслоснасоса повинне відбуватися по можливості швидше для того, щоб не встиг спрацювати аварійний захист по тиску масла в напірному колекторі.

У момент спрацювання захисту в операторному приміщенні автоматично активується світлова та звукова сигналізація. У випадку одночасного або послідовного спрацювання сигналізації за кількома параметрами кожна з них фіксується окремим рядком у журналі подій. Після повернення значення параметра до допустимих меж світловий та звуковий сигнали автоматично деактивуються.

3. Алгоритм нормального останову компресора

Нормальний останов компресора, як і пуск, виробляється незалежно від стану компресора і системи управління відключенням ел. живлення приводу.

Початок нормального останову може бути зафіксований по сигналу з САУ компресорної установки у вигляді "сухого контакту" або по зменшенню частоти обертання ротора (n) на 10% від номінального значення, тобто по досягненню значення 7570 об/хв. При фіксації початку процесу нормального останову мають бути подвоєні уставки на спрацювання передаварійної сигналізації і аварійного захисту по вібраційних параметрах компресора : радіальному вібропереміщенню шийок ротора (S1B, S 1Г, S2B, S 2Г) і осьовому зрушенню (OS1 OS2. В процесі нормального останову система управління повинна контролювати усі параметри відповідно до таблиці 1.1 із записом їх в пам'ять на жорсткий диск комп'ютера з вказівкою часу останову. Запис значень параметрів в пам'ять повинен припинятися по досягненню нульової частоти обертання ротора (0-10 об/хв). З 5 хвилинною затримкою після припинення обертання ротора повинен автоматично відключитися працюючий (основний або резервний) маслоснасос.

Процес останову компресора може вважатися закінченим, якщо маслоснасос відключений, тиск масла в напірному колекторі (BP108) дорівнює 0 - 0,05 кгс/см² 4. Алгоритм аварійного останову компресора

Аварійний останов компресора може вироблятися з двох причин:

1. по параметрах, що не входять до складу системи управління компресора (параметри компресора не виходять за межі норми);
2. по одному або декількох параметрах компресора, що входять в систему управління компресора, значення яких вийшли за межі аварійних уставок (захист).

Аварійний останов з першої причини виробляється в точній відповідності з алгоритмом нормального останову.

У разі спрацювання аварійного захисту за будь-яким параметром компресора система управління повинна видати на "верхній рівень" (у САУ установки) сигнал у вигляді "сухого контакту" на аварійний останов компресора (на відключення живлення ел. приводу), включити світлову і звукову сигналізацію в операторному приміщенні

У іншому аварійний останов виробляється по алгоритму нормального останову з доповненням при записі параметрів в пам'ять причини останову (з вказівкою параметра, по якій спрацював захист).

2.4 Часові параметри управління

Система управління повинна постійно контролювати свій власний стан і працездатність окремих елементів : датчиків, вторинних приладів, блоків живлення і так далі і при необхідності видавати на дисплей оператора відповідну інформацію [13,14].

Алгоритм самодіагностики системи управління розробляється у відповідності функціональними нормами, тимчасовими характеристиками і з міркування безпеки. Частота опитування датчиків повинна складати:

1. для віброапаратури серії TX 3654 - 10 000 разів в секунду;
2. для давачів тиску Rosemount - не менше 12 разів в секунду;
3. для давачів температури - не менше 1 разу в секунду;

Оновлення значень параметрів на дисплеї, у таблиці параметрів та на групових графіках відбувається з періодичністю один раз на секунду. У разі відмови будь-якого з датчиків на дисплеї оператора у правому нижньому куті має автоматично відобразитися табличне повідомлення про несправність відповідного датчика, а також активуватися попереджувальна світлова та звукова сигналізація.

2.5 Особливості характеристик систем управління

Основним напрямом в регулюванні потоку систем подібного типу є ієрархічна завершеність, або обґрунтованість поєднання устаткування. Цей принцип дозволяє нехтувати значеннями чинників, що робить значну дію на систему. Основні критерії принципу зводяться до розробки системи пуску і підтримки параметрів [9,10]:

1. Регулювання нагнітатів шляхом зміни частоти обертання. Механізм регулювання тиску (напору) і подачі компресора при зміні характеристик мережі показаний на рис. 2.3. Для забезпечення регулювання напору та його стабілізації на рівні заданого значення H_3 при довільній зміні характеристик мережі в діапазоні від 1 до 3 (рис. 2.3, а) виконується вимірювання тиску в магістралі, після чого регулятор тиску автоматично змінює частоту обертання компресора в діапазоні від ω_1 до ω_2 таким чином, щоб тиск підтримувався на постійному рівні.

При цьому характеристики компресора змінюються в межах від 1' до 3', а витрата відповідно варіюється від QA до QC. Точки А, В та С на характеристиках компресора 1', 2' і 3' є робочими точками, що відповідають різним гідравлічним опорам магістралі згідно з характеристиками мережі 1, 2 і 3. У разі зміни заданого значення H_3 характеристики та робочі параметри компресора змінюватимуться відповідним чином.

Рисунок 2.3 – Графіки регулювання напору і подачі компресорної установки при зміні характеристик мережі

Компресорні агрегати, як правило, об'єднуються в єдині компресорні станції, де кілька компресорів працюють паралельно на спільну мережу. Принцип регулювання подачі компресорної станції шляхом зміни частоти обертання компресорів із різними характеристиками наочно представлений на рис. 2.4.

Рисунок 2.4 – Графіки регулювання подачі компресорної установки зміною частоти обертання

Якщо два компресори із сумарною характеристикою 2 працюють на мережу з характеристикою 1 у робочій точці А з продуктивністю QA і виникає потреба знизити її до QA', це може бути реалізовано двома способами: одночасним зменшенням частоти обертання обох компресорів - їх індивідуальні характеристики 3 і 4 формують нову сумарну характеристику 2' - або більш суттєвим зниженням частоти обертання лише одного з них, що відображається характеристикою 5. Регулювання продуктивності шляхом одночасної зміни частоти обертання двох компресорів за

своїми показниками є рівноцінним регулюванню частоти обертання одного компресора в режимі індивідуальної роботи.

З позиції енергетичної ефективності найвигіднішим є одночасне коригування частоти обертання всіх паралельно працюючих агрегатів. Однак така схема потребує значних капітальних вкладень на оснащення кожного агрегату регульованим електроприводом. З огляду на це для компресорних станцій достатньо мати лише один регульований агрегат, здійснюючи глибше регулювання подачі шляхом почергового відключення окремих компресорів.

Ряд вживаних компресорів, не вимагає регулювання швидкості: переважна більшість заводських компресорних установок та ін. Тому для них використовують асинхронні або синхронні (зазвичай при потужностях понад 300 кВт) двигуни змінного струму, управління якими здійснюється магнітними або безконтактними пускателями (при малих потужностях), стандартними або спеціальними пусковими станціями. Для асинхронних і синхронних двигунів такі станції передбачають прямий, реакторний і автотрансформаторний способи пуску.

2. Спільна робота нагнітачів

До складу технологічних схем подачі, як правило, входить декілька нагнітачів. Спільна робота нагнітачів в більшості випадків викликана наступними причинами:

1. один нагнітач не може забезпечити необхідну подачу або тиск, а заміна його іншим, потужнішим, неможлива;
2. в процесі експлуатації відповідно до вимог технологічного процесу виникають ⁴режими, пов'язані з тривалою зміною витрати і опору мережі (зміна режиму здійснюється ⁴відключенням одного з нагнітачів);
3. вимагається ⁴забезпечити надійність роботи усієї системи в цілому;
4. архітектурно-планувальні рішення будівель призводять до створення складних розгалужених мереж, для регулювання яких з найбільшою ефективністю вимагається установка декількох нагнітачів.

Підключення нагнітачів до спільної роботи може здійснюватися за паралельною, послідовною або змішаною (комбінованою) схемою.

3. Паралельне включення нагнітачів

Паралельне включення двох і більшого числа нагнітачів рекомендується тоді, коли вимагається збільшення подачі, а відповідне збільшення частоти обертання робочого колеса або розмірів нагнітача неможливе із-за надмірного посилення шуму, конструктивних або архітектурно-планувальних причин.

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

На рис. 2.6 до мережі підключено нагнітачі з однаковими характеристиками. З метою спрощення аналізу опором індивідуальних ділянок мережі (ділянки 1-2) нехтують. У такому випадку, як і при будь-якій іншій схемі спільного підключення, першочерговим завданням є визначення режиму роботи не лише всієї системи загалом, а й кожного окремого нагнітача зокрема. ³Функціональна залежність тиску нагнітача від його подачі є складною і здебільшого задається графічно у вигляді характеристики $P=f(L)$, тому найбільш зручним і поширеним методом аналізу залишається графічний. Як правило, використовують метод побудови сумарної характеристики нагнітачів.

Рисунок 2.5 - Схеми паралельного включення нагнітачів [8].

Тиски, що створюються кожним нагнітачем в точках 1 і 2, однакові, а загальна подача дорівнює сумі подач окремих нагнітачів. Звідси слідує правило побудови сумарної характеристики паралельно включених нагнітачів: при однаковому тиску треба скласти подачі.

Побудова сумарної характеристики тиску проілюстрована на рис. 2.6. Значення подачі окремого нагнітача по осі абсцис підсумовуються для кожного фіксованого значення тиску. При підключенні ³нагнітачів до мережі з характеристикою $(1+1)$ робочий режим визначається точкою A. Сумарна подача нагнітачів при цьому дорівнює $LA(1+1)$, а сумарний тиск - $P1(1+1)$, причому $P1(1+1) = PA(1+1)$, тобто тиск, що розвивається кожним нагнітачем у спільному режимі роботи, відповідає загальному тиску системи. ³Подача кожного нагнітача становить половину від сумарної та може ³бути визначена графічно за положенням точки A: $L1(1+1) = 0,5 \cdot LA(1+1) = LA$, ККД обох нагнітачів відповідає ККД кожного з них окремо і визначається перетином ординати, що проходить через точку A, з характеристикою ККД нагнітача. Перетин цієї ж ординати з характеристикою потужності дозволяє визначити споживану потужність кожного нагнітача. Загальні ³витрати потужності системи дорівнюють сумі потужностей окремих агрегатів: $NA(1+1) = 2 \cdot N1(1+1)$.

Рисунок 2.6 - Графіки побудови сумарної характеристики тиску [7]

- ³При відключенні одного з нагнітачів характеристика мережі $(P(L))$ стає крутіше внаслідок зменшення площі поперечного перерізу для проходження повітря між точками 1 і 2. Робоча ⁴точка переходить з положення A в положення A!. При цьому ¹⁷параметрами роботи нагнітача стають $L1(1) \text{ \> } L1(1+1)$, $P1(1) \text{ \< } P1(1+1)$ і $N1(1) \text{ \> } N1(1+1)$. Це призводить до перегрівання обмоток електродвигуна. Тому при відключенні одного з нагнітачів його індивідуальну ділянку необхідно перекрити клапаном (щоб виключити даремне перетікання газу ¹⁷по ньому із-за різниці тисків $P2 - P1$), а в мережу нагнітача, що залишився в роботі, ввести додатковий тиск (РШ так, щоб робоча точка перемістилася в положення A". При цьому витрати потужності складають ⁴ $N1(1+1)$, і перегрівання електродвигуна не відбувається.
- Побудова сумарної характеристики нагнітачів з різними характеристиками в принципі не відрізняється від попередньої побудови.

При паралельній роботі нагнітачів з різними характеристиками представляється доцільним визначати середній ККД нагнітачів:

$$(2.1)$$

З формули (2.1) виходить, що потужніші нагнітачі повинні працювати з максимальним ККД, а регулювати витрату в системі доцільніше менш потужним нагнітачем.

Розглянутий вище метод побудови сумарної характеристики нагнітачів можна застосовувати при будь-якому числі ⁴нагнітачів.

4. Послідовне включення нагнітачів Послідовне включення двох або більшого числа нагнітачів застосовується тоді, коли тиск, що створюється одним нагнітачем, недостатній для подолання опору мережі. При послідовному включенні одна і та ж кількість газу послідовно переміщається усіма нагнітачами, а тиск, необхідний для подолання опору усієї мережі, дорівнює сумі тисків, що створюються кожним нагнітачем. Оскільки кінетична енергія, повідомлена потоку першим нагнітачем, не втрачається на удар, ³то загальний статичний тиск більше суми статичних тисків окремих нагнітачів. Наприклад, три однакових послідовно включених нагнітача створюють повний тиск $3P1(1+1+1)$. Якщо нагнітач включити послідовно з потужнішим, то його подача може збільшитися до значень, набагато більших, ніж його власна максимальна подача. При цьому він стане опором для потужнішого нагнітача, тобто при збереженні напрямку подачі ($L \text{ \> } 0$) різницю тисків з обох боків нагнітача змінить ¹⁷знак.

Робота нагнітача можлива при $L \text{ \> } 0$ і $P \text{ \> } 0$ (I квадрант), при $L \text{ \< } 0$ і $P \text{ \> } 0$ (II квадрант), при $L \text{ \> } 0$ і $P \text{ \< } 0$ (IV квадрант).

Робота нагнітача в III квадранті неможлива, оскільки потік не може піти у зворотному напрямку через нагнітач ($L < 0$) при тиску перед нагнітачем більшому, ніж за ним.

Зазвичай характеристику знімають тільки в I квадранті, тобто при нормальній роботі нагнітача, тим більше що для зняття характеристики в II і IV квадрантах вимагається спеціальне устаткування.

5. Система управління компресором з перетворювачем частоти

Одним із найбільш сучасних методів регулювання є застосування перетворювачів частоти, які забезпечують плавне керування частотою обертання електродвигуна компресора та підтримання стабільного тиску в системі при змінних витратах газу. За малих витрат електродвигун працює на зниженій швидкості, достатній лише для підтримання номінального тиску, що дозволяє уникнути зайвих енергетичних втрат. У разі зростання витрати газу перетворювач збільшує частоту обертання двигуна, підвищуючи продуктивність компресора при збереженні заданого рівня тиску.

На рис. 2.7 представлена функціональна схема керування електродвигуном компресора із застосуванням перетворювача частоти Micromaster440 виробництва компанії «Siemens» [15]. На вхід системи надходять сигнал завдання тиску та сигнал фактичного тиску від датчика, встановленого в контурі зворотного зв'язку. Різниця між фактичним заданим значеннями тиску перетворюється ПІД-регулятором на сигнал завдання частоти для перетворювача. Під дією цього сигналу перетворювач коригує частоту обертання електродвигуна компресора, прагнучи звести відхилення між заданим і реальним значеннями тиску до нуля.

Рисунок 2.7 – Функціональна схема регулювання частоти обертання електродвигуна компресора з використанням частотного перетворювача Micromaster440

Наведена схема є модульною та слугує основою для розробки поточного проєкту, в якому буде реалізовано алгоритм керування. Сучасні перетворювачі частоти дають змогу створювати системи керування без залучення додаткових апаратних засобів, оскільки містять вбудовані програмні функції, що забезпечують реалізацію вузла порівняння та ПІД-регулятора. Однак у складних системах регулювання підтримання тиску засобами лише простої реєстрації не забезпечує необхідної точності та ефективності. У зв'язку з цим даний спосіб регулювання, як правило, поєднують із мікропроцесорною системою керування.

Рисунок 2.8 - Функціональна схема системи управління компресорною установкою

Система керування (рис. 2.8) побудована на базі мікропроцесорного блоку та перетворювача частоти, що забезпечує регулювання подачі компресора шляхом зміни частоти його обертання. Функції належності вхідних і вихідних сигналів, а також правила прийняття рішень формуються на основі програми, розробленої та завантаженої в контролер системи, який здійснює безперервний моніторинг перебігу технологічного процесу.

Значення тиску P визначається відповідним датчиком, сигнал якого через дванадцятирозрядний АЦП надходить до мікропроцесорної системи керування у вигляді цілого числа в діапазоні від 0 до 4000.

Для підвищення якості керування процесом у системі застосовується динаміко-математичне моделювання, що включає складні методи аналізу стану середовища. Система також оперує непрямыми змінними, які беруть участь у розрахунках, зокрема швидкістю зміни тиску vP , що відображає динаміку протікання процесу та визначає особливості внутрішнього представлення змінних регулювання.

Для керування швидкістю електроприводу компресора за допомогою перетворювача частоти використовується сигнал завдання швидкості ω , що надходить з виходу ЦАП мікропроцесорної системи керування. Формування керуючого сигналу забезпечує зміну частоти обертання ω , яка визначається цілим числом. У лінгвістичних змінних зміна частоти обертання може бути представлена кількома рівнями залежно від ступеня регулювання та складності динаміки процесу.

На основі принципів роботи та регулювання формуються основні правила функціонування системи. Для аналізу всіх можливих станів умов складається зведена таблиця, у якій стовпці відповідають умовам одного параметра, рядки - умовам іншого, а на їх перетинах зазначаються відповідні висновки.

Таким чином, застосування частотно-регульованого приводу додатково забезпечує такі переваги:

1. зниження зносу комутаційної апаратури завдяки відсутності значних пускових струмів під час увімкнення електродвигуна компресора;
2. оптимізація тиску в пневматичній мережі, що сприяє зменшенню витоків стисненого повітря;
3. збільшення ресурсу електродвигуна внаслідок зниження навантаження та виключення важких пускових режимів.

2.6. Створення логічної моделі системи управління компресорною установкою

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

Поршневий компресор належить до категорії складних технічних систем, загальна кількість конструктивних і технологічних елементів якої може сягати від 104 до 106 одиниць. Одним із підходів до проєктування складних конструктивних схем є впровадження сучасних інформаційних технологій, зокрема CALS-методології. Концепція та стандарти CALS визначають сукупність правил і регламентів, на основі яких організовується взаємодія між учасниками процесу [16]. Використання новітніх інформаційних технологій неминуче зумовлює перегляд усталених принципів і методів проєктування. Сьогодні вже недостатньо отримати лише геометричну або математичну модель виробу разом із комплектом креслень - у процесі моделювання необхідно формувати динамічні просторові моделі, що відображають повну структуру виробу та його взаємодію з обладнанням. Створення вичерпної електронної моделі виробу є головним завданням CALS-технології. Відповідно до базових принципів цього підходу, розроблення будь-якої складної системи має розпочинатися зі структурно-функціонального аналізу та моделювання як системи в цілому, так і кожної з її підсистем окремо. Для цього застосовується сімейство методологій моделювання IDEF, що дозволяє досліджувати структуру, параметри та характеристики об'єктів моделювання. Наразі стек методологій IDEF охоплює такі складові:

- 24 IDEF0 - методологія функціонального моделювання, що використовує наочну графічну мову для відображення структури, процесів і функцій системи у вигляді взаємопов'язаних функціональних блоків, а також потоків інформації та матеріальних об'єктів;
- 18 першим етапом дослідження будь-якої системи; IDEF1 - застосовується для побудови інформаційної моделі, що відображає структуру та зміст інформаційних потоків усередині системи, необхідних для підтримки її функцій;
- 27 IDEF1X - методологія побудови реляційних структур типу «сутність - зв'язок», що використовується для моделювання реляційних баз даних,

пов'язаних із досліджуваною системою;

IDEF2 - методологія динамічного моделювання, що дозволяє створювати моделі поведінки системи, її функцій, інформації та ресурсів у часовій динаміці;

IDEF3 - методологія моделювання процесів, призначена для формування сценаріїв та опису послідовності операцій у межах кожного процесу; IDEF 4 - методологія об'єктно-орієнтованого проектування та аналізу, що дозволяє наочно відображати структуру об'єктів і принципи їх взаємодії для аналізу й оптимізації складних систем;

IDEF5 - методологія визначення онтологій складних систем за допомогою словника термінів і правил, що дозволяє формувати достовірні твердження про стан системи в певний момент часу та на їх основі прогнозувати подальший розвиток і здійснювати оптимізацію;

IDEF9 - методологія моделювання вимог до системи.

Фундаментальною вимогою системного підходу при дослідженні будь-якого об'єкта є розгляд системи як єдиного цілого - тобто як одного функціонального блоку («чорного ящика») з визначеними входами та виходами. Контекст моделі окреслює межі модельованого процесу та описує його зв'язки із зовнішнім середовищем і суміжними процесами, визначаючи модель як частину більшої системи. Контекст IDEF0-моделі включає визначення єдиного суб'єкта моделювання, його повний і точний опис - мету моделі - сформований з єдиної точки зору. Згідно з методологією IDEF0, контекст системи представляється контекстною діаграмою, тоді як діаграми нижніх рівнів деталізують окремі аспекти системи.

Рисунок 2.9 – Контекстна діаграма механізму руху і зрівноваження компресорної установки

Рисунок 2.10 – Структурно-функціональна діаграма механізму руху і зрівноваження компресорної установки

Контекстна діаграма механізму руху та зрівноваження поршневого компресора наведена на рис. 2.9, а структурно-функціональна діаграма механізму руху та зрівноваження компресорної установки представлена на рис. 2.10.

В основі методології IDEF0 лежить процес декомпозиції, що базується на об'єктно-орієнтованому підході до розгляду об'єкта проектування як сукупності взаємопов'язаних елементів. Отримана в ході аналізу інформація подається у вигляді ієрархічної структури в графічному форматі діаграми дерева вузлів.

Відповідно до принципів об'єктно-орієнтованого підходу, процес проектування передбачає глибоку декомпозицію структури виробу до рівня конструктивних і технологічних елементів з їх подальшою ідентифікацією на основі єдиної системи умовних позначень. У зв'язку з цим пропонується розглянути структурну схему механізму руху та зрівноваження поршневого компресора як системи, в якій виокремлено основні функціональні, конструкторські та технологічні елементи, що входять до її складу.

Рисунок 2.11 – Верхні рівні (0-й - 2-й) діаграми вузлів

На найвищому, нульовому рівні ієрархії (рис. 2.1) розміщено саму систему керування компресорною установкою, що розглядається як метасистема. У її складі виділено три підсистеми першого рівня: кривошипно-шатунний механізм, циліндропоршнева група та механізм зрівноваження. У ході подальшої декомпозиції кожна з підсистем першого рівня, у свою чергу, розглядається як самостійна система нижчого рівня, і так далі за ієрархією (рис. 2.12).

Послідовна декомпозиція підсистем усіх рівнів дозволила сформувати діаграму, що є структурною схемою об'єкта моделювання, в якій відображено основні конструктивні та технологічні елементи, а також їх характеристики. Розроблена схема враховує характерні конструктивні особливості об'єкта та достатньо повно описує модельовану систему аж до рівня окремих конструктивних і технологічних елементів.

Рисунок 2.12 – Підсистема четвертого рівня. На підставі проведеного аналізу отриманої діаграми були отримані наступні результати:

- створений перелік основних техніко-економічних характеристик, які відбивають різноманітність можливих варіантів виконання цього об'єкту;
- визначені і розроблені бази цих стандартизованих і уніфікованих деталей, необхідні для проектування IBC КУ;
- складений перелік даних, використовуваних як початкові, при виконанні проектувальних і перевірочних розрахунків;
- визначений перелік необхідних математичних моделей KE і TE для розробки САПР СУПК.

Розгляд віброакустичних характеристик отриманої моделі у машинах даного типу внаслідок зворотно-поступального руху поршня викликає нестационарний характер динамічних навантажень, що відрізняється значно складнішим вібраційним станом порівняно з роторними машинами [10].

Це зумовлює появу додаткових джерел вібрації:

- незрівноважені сили інерції обертючих мас F_r та поступально рухомих мас F_S ;
- момент сил інерції M_i від обертючих і поступально рухомих мас;
- перекидальний момент $M_{опр}$;
- крутильні коливання колінчастого вала;
- пульсації тиску газу в циліндрах і міжступеневих комунікаціях;

удари елементів механізму руху, циліндропоршневої групи та клапанів. Однією з характерних особливостей діагностування поршневих машин є те, що коливання, спричинені дефектами, накладаються на загальний вібраційний фон від незрівноваженості мас. Це обумовлює необхідність застосування двох підходів до аналізу:

- дослідження коливань компресора як єдиної системи, що виникають унаслідок його незрівноваженості;
- аналіз вібрації окремих вузлів компресора, спричиненої наявними дефектами.

Іншою характерною рисою поршневих машин є робота вузлів механізму руху в умовах циклічно змінних навантажень, що призводить до виникнення ударних взаємодій. Розрахунок швидкості зіткнення та моментів появи ударних імпульсів для кожного спряження дозволяє ідентифікувати їх у віброакустичному сигналі. За результатами динамічного аналізу механізму руху поршневого компресора з урахуванням зазорів у рухомих з'єднаннях було отримано:

$$(2.2)$$

де a - множник, що характеризує реакцію зв'язку a ; T - кінетична енергія механічної системи (механізму руху компресора), Q_j -

відповідно узагальнена реактивна і активна сили; f_a - рівняння зв'язку а контактного руху деталей; R - число узагальнених координат.

Рисунок 2.13 - Схема компресора з контрольними точками вимірювання вібрації: 1-6 - контрольні точки; 1 - фундамент; 2 -

електродвигун; 3 - станина компресора. При цьому як узагальнені координати розглядався відносний рух деталей спряжений у полі зазору та кут повороту колін вала. Зазори враховувалися у вузлах «поршень - циліндр», «башмак крейцкопфа - напрямна», а також у крейцкопфному та шатунному підшипниках ковзання. Введення до рівнянь руху реактивної складової дозволило описати повний цикл віброударного режиму роботи механізму за допомогою єдиної системи залежностей. З метою виокремлення інформативних діагностичних ознак в амплітудному спектрі на основі результатів моделювання було визначено основний характер взаємодії функціональних вузлів.

(2.3) - Моделювання алгоритму управління в програмному пакеті математичного моделювання

MATHLAB

Ось перефразований текст:

Для проведення розрахункового аналізу було розроблено математичні моделі різних схем циклів зріджування - одноступеневих і двоступеневих. Моделі реалізовані в діапазоні тисків і температур газу на вході до установки зріджування природного газу: до 3,5-5,5 МПа та 233-288 К відповідно.

Моделювання динаміки механізму руху компресора з урахуванням зазорів дає змогу визначити силові параметри у вузлах, необхідні для розрахунку статичної та втомної міцності. На сьогодні такі розрахунки виконуються відповідно до розглянутих методик, де нормальні та дотичні складові реакцій визначаються методом кінетостатики. Однак, як свідчать теоретичні дослідження, цей підхід є коректним лише в першому наближенні. Максимальні значення сил у моменти ударів можуть більш ніж удвічі перевищувати відповідні значення реакцій у механізмі без урахування зазорів. Крім того, як показано на рис. 2.13, в умовах контактного руху деталей спостерігаються модульовані високочастотні коливання з циклічним характером навантаження вузла, при яких величина реакції періодично змінюється від максимального до мінімального значення. Частота таких коливань визначається швидкістю обертання колінчастого вала, величинами зазорів у всіх спряженнях механізму, режимом тертя тощо. Встановлено, що високочастотні коливання виникають унаслідок того, що взаємний рух деталей відбувається не рівномірно, а «ривками» - через вплив зазорів у підшипниках.

З метою досягнення максимально оптимальних характеристик компресорної установки в період адаптації допускається нехтування вібраціями вищих порядків, оскільки малі за амплітудою складові збігаються за частотою з номінальним режимом роботи двигуна в усталеному стані.

Характеристика настановних ланок пов'язана з числом, приведеним до загального рівня взаємодії відносно опори. Тому загальну формулу зв'язку вхідних вузлів компресора та вихідних параметрів проходження в трубопроводі запишемо таким чином:

$$; \quad (2.4)$$

При врахуванні наявності в системі засобів стабілізації, які реалізується у вигляді контура регулювання як швидкості, так і струму якоря двигуна, можна нехтувати динамічними коефіцієнтами опору газу в трубопроводі і удароподібні сигнали на виході.

- Синтез системи управління приводу компресорної установки. Складемо структурні схеми початкової системи. Визначимо передавальні функції ланок. Таблиця 2.1 - Визначення передавальної функції ланок

Ланка	Назва ланки	Передавальна функція
17	Формула	Розрахунок
Компресор	$W_K(p) =$	$W_K(p) =$
Ланка ланцюга якоря	$W(p) =$	$W_{\Sigma}(p) =$
Механічна частина двигуна	$W(p) =$	$W_M(S) =$
Перетворювач	$W(p) =$	$W_P(S) = W_{ICX} = W_P \cdot W_{\Sigma} \cdot W_M \cdot W_K =$
		$=$
		(2.5)

Перевіримо початкову систему на стійкість, тобто отримаємо графік перехідного процесу (рис. 2.14):

Рисунок 2.14 - графік перехідного процесу

рис. 2.14 видно, що перехідний процес є таким, що розходиться, отже початкова система нестійка і вимагає регулювання. Перший контур регулювання

Рис. 2.15 - Структурна схема першого контура регулювання

$$T = 0.1/8 = 0.012 \quad (2.6)$$

Знайдемо початкову ПФ 1 контура $W_{ICX1}(p) = W_P \cdot W_{\Sigma} \cdot K_T$ (2.7)

$$W_{ICX1}(p) = 0.012 = \quad (2.8)$$

Налаштовуватимемо внутрішній контур на технічний оптимум. При налаштуванні на технічний оптимум бажана передавальна функція має вигляд $W_{ж1} =$ (2.9)

З іншого боку $W_{ж1}(p) = W_{пер1}(p) \cdot W_{исх1}(p)$, отже

$$W_{пер1} = \quad (2.10)$$
$$W_{пер1}(p) = \quad (2.11)$$

Виконаємо перевірку. Знайдемо бажану ПФ замкнутої системи (2.12)

Знайдемо ПФ замкнутого першого контура

$$\Phi_1(S) = \quad (2.13)$$

8 Для подальших розрахунків приймемо

$$\Phi_1(S) \approx \quad (2.14)$$

8 Розрахунки виконані вірно: $\Phi_1(S) = \Phi_{Ж1}(S)$. Другий контур регулювання
Введемо другий контур регулювання

Рисунок 2.16 - Структурна схема другого контура регулювання

$$D_0 = 27.8/8 = 3.5 \quad (2.15)$$

$$(2.16)$$

8 Бажана передавальна функція 2 контури має вигляд $W_{ж2} = \quad (2.17)$

$$W_{ж2} = \quad (2.18)$$

$$W_{рег2} \quad (2.19)$$

8 Знайдемо бажану ПФ замкнутої системи:
(2.20)

Знайдемо ПФ замкнутого першого контура:

$$\Phi_2(p) = \quad (2.21)$$

$$\Phi_2 \approx \quad (2.22)$$

5 Третій контур регулювання

Введемо третій контур регулювання:

Рисунок 2.17 – Структурна схема третього контура регулювання.

$$K_D = 8/60 = 0.14 \quad (2.23)$$
$$(2.24)$$

5 Бажана передавальна функція третього контура регулювання має вигляд $W_{ж2}(p) = \quad (2.25)$

$$W_{ж2}(S) = \quad (2.26)$$

$$W_{РЕГ3} \quad (2.27)$$

Знайдемо бажану ПФ замкнутої системи:

$$(2.28)$$

3 Знайдемо ПФ замкнутого першого контура:

$$\Phi_2(p) = \quad (2.29)$$

Знайдемо ПФ замкнутої і розімкненої системи:

$$W_{роз} = \Phi_3^* \quad (2.30)$$

$$\quad (2.31)$$

Перевіримо систему на стійкість, тобто отримаємо графік перехідного процесу (рис. 2.18):

Рисунок 2.18 - Графік перехідного процесу

З рис. 2.18 випливає, що тривалість перехідного процесу становить 0,3 с, що підтверджує відповідність розрахованого регулятора вимогам системи та її стійкість.

Оскільки контролер, що застосовується в системі керування технологічним процесом, функціонує в дискретному режимі, регулятори також мають бути представлені у дискретній формі - зокрема через Z-перетворення тощо.

Існує ряд методів синтезу цифрових регуляторів, що базуються на теорії Z-перетворення та просторів станів. Ці методи потребують громіздких математичних перетворень і застосовуються переважно в системах керування з підвищеними вимогами до точності.

Розглянемо простіший підхід, що полягає в попередньому синтезі неперервних регуляторів відомими методами теорії автоматичного регулювання для неперервних систем із подальшим переходом до цифрового регулятора, еквівалентного синтезованому аналоговому.

Задача переведення аналогових регуляторів у цифрову форму розв'язується як задача апроксимації передавальної функції аналогового регулятора дискретною передавальною функцією цифрового регулятора. В інженерній практиці найбільшого поширення набула

апроксимація на основі білінійного перетворення, відома також як апроксимація Тустіна. Відповідно до цієї апроксимації:

$$; , \quad (2.32)$$

де T - інтервал дискретизації за часом

Однак застосування даного методу є коректним лише за умови, що інтервал дискретизації за часом T для цифрової системи є значно меншим за найменшу постійну часу системи керування T_m . Відповідно до теореми Котельникова - Шеннона, неперервний сигнал може бути достатньо точно відновлений із сукупності його дискретних значень за умови, що:

$$T \leq 0,5 T_m \quad (2.33)$$

На практиці необхідно мати більший коефіцієнт запасу $T (0,1 - 0,2) T_m$. (2.34)

Визначення періоду дискретизації (T) здійснюється як величина, обернена до частоти контролера, проте доцільніше орієнтуватися на частоту АЦП, яка в даному випадку становить 48 кГц (48000 Гц). Вибір частоти АЦП як базової обумовлений тим, що швидкість обробки інформації визначається передусім швидкістю аналого-цифрового перетворювача.

$$, \quad (2.35)$$

Перевіримо дотримання умови (теорема Котельникова - Шеннона)

$$T \leq 0,5 T_m \quad (2.36)$$

$$0,00001 \leq 0,5 \cdot 0,02, \quad (2.37)$$

$$0,00001 \leq 0,01, \quad (2.38)$$

Умова виконується, що підтверджує правильність вибору періоду дискретизації. Виконаємо перетворення отриманих регуляторів у дискретну форму. Синтез цифрових регуляторів здійснюється засобами програмного середовища MatLab.

$$W_{per1}(p) = \quad (2.39)$$

$$W_{per1}(z) = \quad (2.40)$$

$$W_{per1}(p) = , \quad (2.41)$$

$$W_{per1}(z) = , \quad (2.42)$$

$$W_{per3}(p) \quad (2.43)$$

- Апаратна і програмна реалізація системи управління компресорною установкою

Апаратна реалізація системи керування. Реалізація апаратної частини здійснюється відповідно до вимог до системи керування, основні принципи яких викладено в пп. 2.3, 2.4, а також з урахуванням особливостей технологічного процесу, описаних у першому розділі. Компанії, що спеціалізуються на проектуванні, монтажі та налагодженні систем автоматичного керування промислових об'єктів нафтогазової галузі, зокрема газоперекачувальної, володіють значним досвідом розроблення систем відповідного рівня складності. З огляду на це найбільш раціональним є звернення до вже апробованих рішень як щодо побудови самої системи керування, так і щодо застосовуваного обладнання. Багато компаній при проектуванні складних об'єктів використовують методології, основний принцип яких описано в п. 2.6.3. Таким чином, даний підхід дозволяє ефективніше використовувати наявні ресурси.

Виходячи із загальних принципів доцільності, передбачається, що всі компоненти системи мають належну сумісність, відповідають основним вимогам до якості та виконання, є економічно обґрунтованими і мають необхідні сертифікати відповідності СЕС. Архітектура системи автоматичного керування передбачає можливість розширення та модернізації зі збереженням або підвищенням встановлених вимог. Бажаною є також наявність у системі контурів діагностики та самодіагностики обладнання. Важливим чинником залишається наявність блоків захисту від перешкод різної природи - як електромагнітних, так і механічних.

2.7.1 Вибір платформи системи управління

Ось перефразований текст:

Система керування, що відповідає зазначеним вимогам, має або бути відкритою та здатною до інтеграції стороннього програмного забезпечення, або постачатися як готовий комплект програмних і апаратних засобів керування. Зупинимося на другому варіанті, оскільки він передбачає низку суттєвих переваг:

- повний комплект технічної та програмної документації на встановлювані компоненти;
- відсутність необхідності додаткового придбання програмного забезпечення, оскільки структура і якість системи автоматичного керування передбачає розроблення засобів керування, що чітко виконують свої функції;
- наявність центру технічної підтримки та інформаційного супроводу;
- широка база реалізованих принципів і рішень для різних систем.

Однією з таких систем є повнофункціональна розподілена система керування технологічним процесом DeltaV. Польові пристрої Foundation Fieldbus, контролери та робочі станції функціонують спільно в єдиній системі, забезпечуючи керування на кожному відповідному рівні ієрархії. Ці системи набули широкого застосування та здобули надійну репутацію завдяки достатній різноманітності встановлюваних модулів, що дозволяє на їх основі створювати практично будь-які складні системи керування.

Разом з тим коректне планування системи DeltaV потребує чіткого формулювання вимог до інтерфейсу програмного забезпечення керування процесом та встановлення цього програмного забезпечення на належним чином налаштованій робочій станції.

Системи DeltaV ефективно використовуються для керування мережами різних масштабів і мають можливості гнучкого планування та масштабування мережевої інфраструктури з метою максимальної відповідності вимогам керування технологічним процесом.

Мінімальний склад компонентів системи DeltaV представлено на рис. 2.19, де відображено кількість робочих станцій і контролерів з усім необхідним обладнанням, що має входити до системи.

Рисунок 2.19 – Мінімальний комплект системи DeltaV. До складу даного комплексу компонентів входять: 1. мережа керування, що забезпечує обмін даними між робочими станціями та контролерами; 2. робоча станція з графічним інтерфейсом користувача; 3. контролер, що виконує функції керування та організовує обмін даними між підсистемою введення-виведення і мережею керування; 4. підсистема введення-виведення, призначена для обробки інформації від польових пристроїв; 5. системний блок живлення DeltaV; 6. груповий блок живлення для польових пристроїв, підключених до системи DeltaV; 7. несучі панелі, що монтуються на DIN-рейки та забезпечують розподіл живлення й обмін даними між контролером і платами введення-виведення.

2.7.2 Вибір мережі управління

Мережа керування являє собою ізольовану мережу Ethernet, що забезпечує обмін даними між контролером і робочою станцією. Для підключення комунікаційних ліній використовуються концентратори та комутатори Ethernet. При проектуванні топології мережі враховуються такі ключові аспекти:

1. мережа керування може об'єднувати до 120 вузлів;
 2. мережа керування системи DeltaV має функціонувати як виділена мережа з метою забезпечення надійності та високої продуктивності - підключення до неї сторонніх пристроїв або мереж не допускається;
 3. обмін даними із зовнішніми пристроями та мережами, що не входять до складу DeltaV, має здійснюватися виключно через інтеграційні станції.
- З-поміж представлених топологій мережі керування як найбільш відповідна до поставлених вимог обрана симплесна мережа керування резервованими контролерами, схема якої наведена на рис. 2.20.

Рисунок 2.20 – Симплесна мережа управління і резервовані контроллери

Незважаючи на те, що резервованій контролер задіює два порти концентратора, він вважається одним вузлом мережі.

У разі необхідності збільшення відстані між вузлами можуть застосовуватися такі способи:

4. перетворювачі середовища передачі даних;
 5. каскадні концентратори;
 6. концентратори зі стековим з'єднанням;
 7. оптоволоконні дистанційні розширювачі.
8. Розглянемо детальніше один із зазначених способів.

Перетворювачі середовища передачі даних

Перетворювачі середовища передачі даних призначені для переходу від мідного кабелю 10BaseT до оптоволоконного і навпаки. Як правило, пара перетворювачів підключається між портом концентратора та робочою станцією або контролером, а між ними прокладається оптоволоконний кабель завдовжки від кількох сотень до кількох тисяч метрів. Завдяки цьому, кожна робоча станція або контролер у мережі керування може підключатися до концентратора через перетворювачі середовища, що суттєво збільшує допустиму відстань між вузлами. Перетворювачі середовища передачі даних, що використовуються в системі DeltaV, повинні відповідати стандарту IEEE 802.3 (Ethernet) та специфікації 10Base-FL для оптоволоконного кабелю, а також мати щонайменше один роз'єм 10BaseT для мідного кабелю і одну пару роз'ємів типу ST для оптоволоконного. Для кожної оптоволоконної лінії необхідно два перетворювачі: один - для переходу з мідного кабелю на оптоволоконний, інший - для зворотного переходу. Перетворювачі середовища передачі даних випускаються широким колом виробників і забезпечують передачу сигналу на відстань від кількох сотень метрів до 15 кілометрів. Серед виробників подібного обладнання - компанії Black Box, Hirschmann, Transition Networks та інші.

2.7.3 Вибір структури контроллера і його складу. Як зображено на рис. 2.20, у системі застосовується резервованій контролер, що підвищує загальну надійність її функціонування. Конструктивно резервованій контролер складається з двох плат. Контролер виконує функції керування та здійснює управління обміном даними між підсистемою введення-виведення і мережею керування. Залежно від потреб, контролер може бути налаштований для виконання таких функцій: збирання даних, обчислення, дискретне послідовне керування, неперервне керування (регулювання) або керування періодичними процесами на основі рецептур.

На рис. 2.21 зображено резервованій контролер, встановлений на двослотових несучих панелях.

Рисунок 2.21 – Резервованій контроллер і панелі, що несуть

2.7.4 Вибір устаткування контроллера

У системі DeltaV застосовуються контроллери M3, M5 та M5 Плюс. Слід враховувати, що за наявності більше трьох контролерів кожен наступний додає менший приріст продуктивності порівняно з попереднім. Кожний модуль контроллера встановлюється у правий роз'єм двослотової несучої панелі джерел живлення, тому для кожного резервованого контроллера передбачається дві такі панелі. Для реалізації розробленої системи обрано контролер M5-Плюс як такий, що має найвищу сумісність із програмним пакетом Професійний Плюс. Ліцензування контролерів

Обов'язковою умовою повноцінного функціонування системи DeltaV є її ліцензування в масштабі всієї системи. З цієї метою підраховується загальна кількість тегів параметрів пристроїв (ТПУ), що використовуватимуться для моніторингу процесів, та окремо - для керування ними. ТПУ моніторингу виконує функції перегляду, архівування, масштабування та генерації сигналів тривоги. Будь-який ТПУ, що виконує інші функції, відноситься до категорії ТПУ керування.

Теги лише для відображення (ТДО) ліцензуванню не підлягають, не розглядаються як ТПУ і не враховуються при підрахунку їх загальної кількості. Кількість ТДО обмежується функціональними можливостями продуктів DeltaV. У системі DeltaV теги ТДО проходять через

контролер DeltaV та інтеграційну станцію, не задіюючи жодних модулів або функціональних блоків керування чи сигналізації, проте можуть відображатися, фіксуватися в трендах і зберігатися в архіві на робочих станціях.

Підсистема введення/виведення DeltaV може включати інтерфейсні блоки для традиційного аналогового та дискретного введення-виведення, модулів HART, послідовного інтерфейсу, польової шини FOUNDATION, а також шин AS-i і Profibus DP. До контролера можна підключити до 64 інтерфейсів у будь-якому поєднанні за умови, що загальна кількість ТПУ не перевищує 500. Система DeltaV також може комплектуватися іскробезпечною підсистемою введення-виведення для підключення польового обладнання у вибухонебезпечних зонах.

Блоки традиційного аналогового введення-виведення. Система DeltaV підтримує уніфіковані аналогові сигнали 4-20 мА, 1-5 В, мілівольтні, омичні, а також стандартні вхідні сигнали термодатчиків і термоопорів. Цей стандарт підключення є найбільш прийнятним, оскільки переважна більшість аналогових датчиків працює саме в діапазоні 4-20 мА. Блоки послідовного інтерфейсу. Кожна плата послідовного інтерфейсу має два порти, кожен з яких підтримує до 16 наборів даних. Набір даних являє собою безперервну область до 100 регістрів або реле в ПЛК. За налаштування порту в режимі RS-485 можливе шлейфове підключення пристроїв. Шістнадцять наборів даних можуть розподілятися між будь-якою кількістю пристроїв від 1 до 16 залежно від обсягу та структури даних. У даному випадку порт призначений для зчитування інформації, що зберігається в ПЛК, а також для організації місцевого пульта спостереження з функціями тестування. Блоки польової шини FOUNDATION. Інтелектуальна несуча панель H1 є двослотовою панеллю, що встановлюється безпосередньо поруч із польовими пристроями. Панель у поєднанні з платами дискретного входу та виходу забезпечує перетворення звичайних дискретних сигналів у сигнал польової шини FOUNDATION, що дозволяє передавати дискретні та аналогові сигнали в одному сегменті польової шини. Це сприяє скороченню кількості необхідних сегментів і зниженню споживаної потужності. Несуча панель H1 підключається до сегмента польової шини як стандартний польовий пристрій, а живлення до неї та встановлених плат підводиться від зовнішнього джерела. Панель кріпиться на DIN-рейці (виключно T-рейці), стіні або щиті. Табаритні розміри несучої панелі H1 наведені на рис. 2.22.

Рисунок 2.22 – Конструктивна схема несучої панелі H1. Плати H1 польової шини FOUNDATION встановлюються на стандартній восьмислотовій несучій панелі DeltaV. Кожен модуль Fieldbus H1 забезпечує підключення двох сегментів польової шини, кожен з яких підтримує до 16 пристроїв. У розробленій системі застосовується один модуль H1 з повним завантаженням обох сегментів. Вимоги, що висувалися в процесі розроблення, значною мірою відповідають характеристикам обраного обладнання, оскільки всі наведені нижче положення були дотримані в повному обсязі:

1. До однієї інтерфейсної плати H1 може підключатися не більше двох сегментів польової шини.
2. На кожному сегменті польової шини допускається підключення до 16 пристроїв - датчиків, клапанів тощо.
3. Кожен сегмент потребує окремого стабілізатора напруги для живлення підключених пристроїв. Як показано на рис. 2.22, стабілізатор отримує постійну напругу 24 В, ізолює її та подає на сегмент польової шини. Вхідна напруга 24 В зазвичай надходить з виходу групового блоку живлення, що забезпечує живлення традиційних приладів і польових пристроїв введення-виведення.
4. Сумарна довжина всіх кабелів сегмента H1 не повинна перевищувати 1,9 км.
5. Максимальна довжина відгалужувального кабелю між пристроєм і клемною коробкою становить 120 м.
6. Кожен кінець магістрального кабелю польової шини має бути закінчений термінатором. Лівий кінець магістрального кабелю термінується внутрішнім термінатором регулятора живлення. 7. Для монтажу магістрального та відгалужувального кабелів використовуються стандартні кабелі типу A (Belden 3076F), штирьові конектори VE6957 та гніздові конектори VE6958.
8. Усі незадіяні роз'єми клемних коробок мають бути закриті заглушками VE6955.
9. На кожному польовому пристрої необхідно встановити адаптер кабельного введення VE6959, який вкручується у 1/2-дюймовий NPT-введення приладу та перетворює його в клемник на штирьовий конектор для підключення гніздового конектора VE6958 кабелю польової шини.
10. Іскробезпечна система на базі польової шини включає восьмиканальний аналоговий вхід 4-20 мА, восьмиканальний аналоговий вихід 4-20 мА, шістнадцятканальний дискретний вхід, чотиріканальний дискретний вихід, а також іскробезпечне джерело живлення. Ізолятор локальної шини відокремлює іскробезпечну підсистему введення-виведення від контролера та системного джерела живлення.

Рисунок 2.23 – Один сегмент польової шини H1

У загальному випадку система набирає вигляду, представленого на рис. 2.24.

Рисунок 2.24 – Структурна схема IBC компресора

Основні характеристики встановлюваних модулів вказано в Додатку А.

2.7.5 Вибір давачів польової шини FOUNDATION

Датчики тиску серії SMART FAMILY Модель 3051 виробництва компанії Rosemount Inc. задають новий рівень у галузі вимірювання тиску [17]. Ці сучасні перетворювачі поєднують високі експлуатаційні характеристики, універсальність платформи Corplanar та орієнтованість на перспективні технології. Технічні параметри Моделі 3051 забезпечують необхідну точність і стабільність вимірювань у переважній більшості умов застосування.

Модель 3051 впроваджує новий підхід до оцінки якості датчиків тиску через комплексний показник, що об'єднує еталонну точність, вплив температури та лінійного тиску. Це дозволяє здійснювати вибір датчика на основі реальних експлуатаційних характеристик, а не лише еталонної точності.

Вибір датчиків саме цієї серії обумовлений такими чинниками:

1. стабільність характеристик протягом усього терміну служби;
2. знижена варіабельність показань (збільшений час відгуку);
3. технологічна зручність модернізації та заміни;
4. гнучкість платформи Corplanar;
5. широкий спектр вихідних сигналів;
6. рідкокристалічний індикатор;
7. місцеве налаштування нуля та діапазону вимірювання;

8. захист від перехідних процесів; 9. тривалий термін експлуатації.

Усі датчики, призначені для вимірювання тиску, належать до цієї серії, оскільки номенклатура моделей, що випускаються, повністю відповідає вимогам розробленої системи.

Датчик диференційного тиску Модель 3051C (встановлюється на трубопроводі між входом і виходом компресора):

1. висока точність виконання: 0,075%, діапазон перекалібрування 100:1;

2. диференційний тиск: калібровані діапазони від 0,5 дюйма вод. ст. до 2000 psi;

3. надлишковий тиск: калібровані діапазони від 2,5 дюйма вод. ст. до 4000 psig;

4. вимірювання абсолютного тиску: калібровані діапазони від 0,167 psia до 4000 psia;

5. матеріали ізоляторів технологічного середовища: нержавіюча сталь, Hastelloy C, Monel, Тантал (лише типи CD та CG), а також Monel із злотим покриттям;

6. компактна, міцна та легка конструкція, що спрощує монтаж.

Розбірна схема датчика наведена на рис. 2.25.

Рисунок 2.25 – Типовий давач 3051 3 в розбірному стані

Датчик надлишкового та абсолютного тиску Модель 3051T (встановлюється на трубопроводі входу та виходу газу):

7. висока точність вимірювання: 0,075%;

8. абсолютний тиск: калібровані діапазони від 0,3 дюйма вод. ст. до 10 000 psia;

9. надлишковий тиск: калібровані діапазони від 0,3 дюйма вод. ст. до 10 000 psig;

10. матеріали ізоляторів технологічного середовища: нержавіюча сталь та Hastelloy C;

11. конструкція з одним ізолятором;

12. силіконова або інертна заповнювальна рідина;

13. наявність технологічного з'єднання за стандартом DIN із сумісністю з автоклавам. Монтажна та розмірна схеми наведені на рис. 2.26.

Рисунок 2.26 – Монтажна і розмірна схема датчика 3051T

Датчик тиску Модель 3051S (застосовується на трубопроводі для аналізу тиску води, масла та повітря):

14. єдиний у своєму класі економічний інтелектуальний датчик тиску;

15. висока точність вимірювання: 0,075%;

16. можливість вимірювання диференційного, надлишкового та абсолютного тиску;

17. повний набір функціональних елементів моделі 3051C, включаючи цифровий індикатор;

18. живлення від джерела постійного струму напругою 6-12 В;

19. споживана потужність від 18 до 36 мВт, що суттєво менше порівняно з типовими датчиками з виходом 4-20 мА (200 мВт);

20. вибірні вихідні сигнали: 0,8-3,2 В та 1-5 В;

21. сенсорний модуль ідентичний стандартній моделі 3051C з виходом 4-20 мА;

22. калібровані діапазони від 2,5 дюйма вод. ст. до 2000 psi;

23. малогабаритна конструкція з фланцем Coplanar забезпечує мінімізацію температурного впливу;

24. широкий вибір матеріалів для мембранних систем і технологічних з'єднань;

25. ущільнювачі відповідають санітарному стандарту 3-A;

26. висока здатність перебудови діапазону знижує витрати на складування запасних частин;

27. вимірювання диференційного та надлишкового тиску;

28. виконання S1 - з однією виносною мембраною;

29. виконання S2 - з двома виносними мембранами.

Загальний вигляд датчика Моделі 3051S наведено на рис. 2.27.

Рисунок 2.27 – Датчик моделі 3051S в загальному вигляді

Пірометричний датчик температури серії M18 (застосовується для контролю температури повітря в корпусі двигуна):

30. діапазон вимірювання температур: 0-300 °C;

31. робоча довжина хвилі: 8-14 нм;

32. гістерезис: 5%;

33. повторюваність вимірювань: 1 °C;

34. час відгуку вихідного сигналу: 25 мс;

35. час готовності до роботи після вмикання: 1,5 с;

36. індикація: два світлодіоди;

37. час прогрівання: 5 хв;

38. ступінь захисту: IP67;

39. кліматичне виконання: ТЗ (-20...+ 70 °C);

40. матеріал корпусу: нержавіюча сталь. Розмірна схема наведена на рис. 2.28.

Рисунок 2.28 – Розмірна схема давача M 18

4. Широкий асортимент аналогових датчиків надає значні можливості для підбору обладнання з необхідними технічними характеристиками. Ключовими критеріями при виборі засобів вимірювання були:

41. широкий функціональний набір можливостей;

42. підвищена термоелектрична стабільність та тривалий робочий ресурс;

43. низький показник теплової інерції;

44. додатковий захист термоелектродів від впливу робочого середовища;
 45. можливість індикації стану та вимірюваних величин;
 46. наявність функцій діагностики та самодіагностики об'єкта;
 47. вибухозахищене виконання.
- Температурний перетворювач TCMY-274 з уніфікованим вихідним сигналом (встановлюється безпосередньо в точці вимірювання температури мастила компресора та охолоджувальної води):
48. вихідний сигнал: 4-20 мА;
 49. діапазон перетворення: 0-180 °C;
 50. гранична основна зведена похибка: 0,25; 0,5;
 51. залежність вихідного сигналу від температури: лінійна;
 52. максимальна температура застосування: 800 °C;
 53. маркування вибухозахисту: 1ExdIICT6, вид захисту - вибухонепроникна оболонка «d»;
 54. показник теплової інерції: 40 с;
 55. термін служби: не менше 5 років;
 56. міжповітряний інтервал: 1 рік;
 57. кліматичне виконання: Т6 (від -20 °C до +45 °C).
- Габаритні та приєднувальні розміри датчика наведені на рис. 2.29.

Рисунок 2.29 – Температурний перетворювач TCMY - 274 з уніфікованим вихідним сигналом з габаритними розмірами

- Термоелектричний перетворювач TXA 241 (призначений для контролю температури опорного підшипника):
58. кількість чутливих елементів: 1;
 59. тип чутливого елемента: термопарний кабель КТМС;
 60. клас допуску: 2;
 61. діапазон вимірювання температур: -40...+200 °C;
 62. робочий спай: ізольований;
 63. періодичність повірки: один раз на рік;
 64. кліматичне виконання: Т3 (максимальна температура навколишнього середовища +85 °C);
 65. термін служби: не менше 3 років. Габаритні та приєднувальні розміри датчика наведені на рис. 2.30.

Рисунок 2.30 – Термоелектричний перетворювач TXA - 241 з габаритними розмірами

- Датчик вібрації серії TX 5634 (призначений для діагностики стану двигуна):
66. діапазон частот: 2 Гц-10 кГц (прискорення), 2 Гц-1 кГц (швидкість);
 67. принцип вимірювання: п'єзоелектричний;
 68. лінійність: $\pm 1\%$;
 69. температура навколишнього середовища: -25...+80 °C;
 70. аналоговий вихід: 4-20 мА;
 71. матеріал корпусу: нержавіюча сталь;
 72. ступінь захисту: IP67;
 73. маркування вибухозахисту: EEX ia I;
 74. максимально допустима вібрація: 50g;
 75. діапазони вимірювання: 1, 2, 5, 10, 20 g (прискорення); 10, 20, 25, 50, 100 мм/с (швидкість);
 76. резонансна частота: 18 кГц (номінальне значення).
- Загальний вигляд датчика наведено на рис. 2.31.

Рисунок 2.31 – Датчик вібрації серії TX 5634 в загальному вигляді

- Вимірювач осьового зсуву ротора ТС - 201 А в комплекті з датчиком типу КТ - 136С (аналіз стану двигуна) Система моніторингу осьового зміщення є одним із ключових елементів комплексу заходів із захисту компресорних машин. Інші несправності також можуть спричинити серйозні наслідки, однак погіршення стану або відмова опорного підшипника здатні виникати при мінімальних попередніх ознаках і за надзвичайно короткий проміжок часу, що може призвести до повного руйнування машини. Тому першочергово необхідні надійні технічні засоби для вимірювання осьового зміщення з обов'язковим дотриманням вимог щодо коректності встановлення відповідних систем захисту.

Основні технічні характеристики системи:

1. діапазон вимірювання осьового зміщення ротора: від -2,0 до +1,5 мм;
2. гранична абсолютна похибка вимірювання зазору: $\pm (0 + 0,07 \cdot Z)$ мкм;
3. діапазон вихідного струму: 4-20 мА;
4. час виходу на робочий режим: не більше 5 хв;
5. середній час безвідмовної роботи: не менше 10 000 годин;
6. середній термін служби: не менше 8 років;
7. середній час відновлення працездатності: не більше 2 годин;
8. температура навколишнього повітря: +10...+55 °C;
9. відносна вологість повітря при температурі 35 °C (без конденсації): 93,3%.

Функціональний блок MICROMASTER 430 Перетворювачі частоти дедалі активніше витісняють механічні засоби регулювання швидкості обертання електродвигунів, забезпечуючи простіше налаштування та менші витрати на технічне обслуговування. Компанія «Сіменс» займається виробництвом перетворювачів частоти вже кілька десятиліть.

16. Перетворювачі частоти четвертого покоління, що з'явилися на ринку, відрізняються розширеним робочим температурним діапазоном, збільшеним діапазоном потужностей, доступною ціною, універсальністю основних опцій та можливістю гнучкого налаштування практично всіх параметрів.

3. Одним із таких є MICROMASTER 430 з такими основними характеристиками:

16. 1. діапазон потужностей: 7,5- 250 кВт, 400 В, 3AC;
 2. діапазон напруги: 380-480 В $\pm 10\%$;
 3. вхідна частота: 47-63 Гц;
 4. коефіцієнт потужності: $\cos \phi \geq 0,7$;
 5. пусковий струм: не перевищує номінального;
 6. ККД: 97%;
 7. робоча температура: $-10...+ 40\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 8. температура зберігання: $-40...+ 70\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 9. допустима відносна вологість: 95%;
 10. ступінь захисту: IP20 / NEMA 1;
 11. вихідна частота: 0-650 Гц;
 12. роздільна здатність вихідної частоти: 0,01 Гц;
 13. перевантажувальна здатність: 110% від номінального струму протягом 60 с; 140% від номінального струму протягом 3 с (кожні 300 с);
 14. способи регулювання: за потокозчепленням (FCC), лінійний (U/f), квадратичний (U/f²), режим енергозбереження, довільне налаштування;
 15. цифрові входи: 6 (18 функцій);
 16. 16. аналоговий вхід: 0-10 В, 0-20 мА, $-10/+ 10\text{ В}$ біполярний, роздільна здатність 10 біт;
 17. релейний вихід: 30 В DC / 2 А, 240 В AC / 0,8 А, параметрований;
 18. інтерфейс RS485: наявний;
 19. способи гальмування: рекуперативне, динамічне, комбіноване;
 20. швидке обмеження струму: наявне;
 21. функції захисту: від зниження напруги, перенапруги, перевантаження, замикання на землю, короткого замикання, блокування двигуна, перегрівання двигуна та перегрівання перетворювача;
 22. регулятор: вбудований ПІД-регулятор із вбудованим джерелом живлення 24 В для датчика;
 23. нормативна відповідність: дозвіл Держміськтехнагляду.
- Принципова схема регулювання наведена на рис. 2.32.

Рисунок 2.32 - Структурна схема перетворювача частоти з проміжним контуром постійного струму.

Запірна арматура системи керування

Трубопровідна арматура - вентиля, зворотні клапани тощо - являє собою пристрої, призначені для регулювання потоків газу в трубопроводах, розмежування окремих ділянок трубопровідної системи, а також підключення та відключення технологічних установок, апаратів і ємностей.

До характерних умов експлуатації запірної арматури на компресорних установках належать: високий тиск газу, що транспортується (до 7,5 МПа), відносно висока температура газу на виході компресорної станції ($60-130\text{ }^{\circ}\text{C}$), а також наявність у складі газу механічних домішок і компонентів, що спричиняють корозію та ерозію металу.

До запірної арматури висуваються такі основні вимоги: забезпечення герметичного відключення окремих ділянок газопроводу, апаратів і ємностей від технологічних трубопроводів з тривалим збереженням герметичності, висока надійність, корозійна стійкість та вибухобезпечність.

На компресорних установках застосовується арматура різних типів, однак для розробленої системи обрано клапани компанії EMERSON Process Management. Підтримка комунікаційних протоколів Fieldbus дозволяє інтегрувати ці клапани до складу розробленої системи автоматизації.

Клапан конструкції GX

Регулювальний клапан конструкції GX призначений для керування потоком середовища - регулювання або відсікання. Він являє собою одностільний клапан з висхідним напрямком потоку, угвинчуваним сідлом та одним із трьох типів тріму: з направляючою шток, з направляючим сідлом або з розвантаженим плунжером. Привід - пневматичний (MIM) із кількома пружинами. Для кожного типорозміру клапана передбачено виконання з нерозвантаженим плунжером, що виключає утворення «мертвих зон» із полімеризацією робочого середовища. Повнопрохідний трім та трім з обмеженою пропускною здатністю можуть мати як лінійну, так і рівновідсоткову характеристику потоку.

Вибір цього обладнання обумовлений такими чинниками:

16. 1. стабільність потоку через прохідний тракт клапана;
2. повний спектр матеріалів, включаючи спеціальні сплави;
3. виконання з високою пропускною здатністю;
4. висока уніфікація деталей для всіх типорозмірів;
5. заміний комплект внутрішніх деталей (трім);
6. можливість реверсування приводу безпосередньо в польових умовах;
7. простота технічного обслуговування. Загальний вигляд клапанів даного класу наведено на рис. 2.33.

Рисунок 2.33 – Зовнішній вигляд регулюючого клапану конструкції GX

16. програмна реалізація забезпечення для контролю і управління

Програмне забезпечення керування DeltaV

16. Програмне забезпечення для контролю та керування DeltaV підтримує розроблення стратегій керування з використанням мов, що відповідають стандарту IEC 61131-3, а також функціональних блоків FOUNDATION Fieldbus. Компонування та модифікація стратегій

здійснюється в графічному режимі, що робить процес розроблення інтуїтивно зрозумілим і дозволяє навіть початківцям швидко досягати потрібних результатів. Мови керування IEC 61131-3 охоплюють діаграми функціональних блоків (ДФБ), діаграми функціональних послідовностей (ДФП) та структурований текст (СТ), що забезпечує реалізацію систем практично будь-якого рівня складності. Діаграми функціональних блоків (ДФБ) застосовуються в DeltaV для реалізації безперервних обчислень, моніторингу процесу та стратегій керування. Окремі блоки на діаграмі з'єднуються графічними зв'язками, якими передаються один або кілька блоків даних. Весь обмін даними в системі DeltaV виконується автоматично. Функціональні блоки DeltaV реалізовані відповідно до стандарту FOUNDATION Fieldbus, проте розширені для забезпечення більшої гнучкості при розробленні стратегій керування. Сумісні зі стандартом польової шини функціональні блоки уможливають реалізацію розподіленого керування безпосередньо у польових приладах.

Структурований текст (СТ) дозволяє створювати програми складних обчислень із використанням широкого набору алгебраїчних і тригонометричних функцій та операторів, а також формувати складні логічні вирази із застосуванням умовних та ітераційних структур. Збирання даних. Відображення, побудова трендів, генерація сигналів тривоги та використання зовнішніх даних здійснюється так само, як і з власними даними введення-виведення DeltaV. Усі застосунок DeltaV мають однаковий доступ як до внутрішніх, так і до зовнішніх даних. Механізм сповіщення про виняткові ситуації в реальному часі передає дані до відповідного системного застосунку, а глобальна база даних конфігурації спрощує керування цими даними та їх використання.

Розроблення алгоритмів. Система DeltaV оперує параметрами у функціональних блоках, модулях, конфігурації введення-виведення та діагностичних функціях. Параметри надають користувачу значення змінних, що є константами різних застосунків і можуть їх описувати. Це дозволяє конфігурувати логіку в блоці або модулі, зчитувати та записувати дані за конкретними адресами введення-виведення, а також діагностувати несправності системи.

У системі DeltaV реалізовано модульний принцип побудови стратегій керування. Керуючі модулі є унікальними іменованими одиницями керування, основним компонентом яких є функціональний блок. Кожен функціональний блок містить керуючий алгоритм - наприклад, ПІД, аналоговий вхід або аналоговий вихід. Алгоритми вдосконаленого керування процесом, зокрема регулювання з використанням нечіткої логіки, також реалізовані у вигляді функціональних блоків. Послідовне поєднання кількох функціональних блоків утворює керуючий модуль. Принципи дії керуючих модулів компресорної установки ґрунтуються на алгоритмах, описаних у п. 2.3.

Окрім основного алгоритму функціонування, необхідно розробити чіткий механізм подій і сигналів тривоги, відповідно до якого здійснюватиметься керування та підтримання процесу на заданому рівні.

Подія - це суттєва зміна стану в ході виконання керуючого процесу, яка може бути зареєстрована або використана для інформування оператора. Система DeltaV дозволяє встановлювати уставки (граничні значення) сигналів тривоги для функціональних блоків і керуючих модулів з метою формування звукової або візуальної індикації для оператора. Система підтримує та реєструє значну кількість типів системних і визначених користувачем подій у Журналі подій. Сигнали тривоги є особливим різновидом подій, що відображаються оператору в інтерфейсі оператора.

DeltaV підтримує як стандартні (попередньо визначені) сигнали тривоги, так і сигнали, налаштовані користувачем. Останні підтримуються на рівні як функціональних блоків, так і модулів (за винятком модулів апаратів і модулів фазової логіки). Сигнали тривоги користувача посилаються на наявні параметри або визначені користувачем вирази, а їх налаштування виконується простим вибором із переліку варіантів. Основні події в системі пов'язані зі станом параметрів керування величин: робочий діапазон, стан об'єкта регулювання, результати самодіагностики, критичні межі та аварійні ситуації. Межі аварійних сигналів формуються на підставі нормативних даних регламенту всього комплексу гідроочищення. Перелік блокувань і сигналізацій, що відповідає цьому регламенту, наведено в табл. 1.3. Кожен сигнал тривоги передбачає взаємодію кількох параметрів, що визначають логіку активації попередження та подальшого переведення системи в інший стан. Важливо зазначити, що при спрацюванні блокування за певним параметром система фіксує цю подію та надає оператору можливість або квітнути її, або занести до архіву процесу для подальшого аналізу. Крім основного алгоритму функціонування система включає допоміжні підпрограми, що реалізують стандартні процедури:

1. часові параметри опитування датчиків;
2. регулятори температури;
3. регулятори тиску;
4. підключення резервного обладнання залежно від поточного стану процесу;
5. самодіагностика мережі та обладнання, перемикання живильних мереж;
6. керування приводним двигуном компресора з передачею сигналу на керуючий блок.

12. ВИСНОВКИ У ході виконання бакалаврської роботи було отримано такі наукові та практичні результати:

1. Узагальнено теоретичні відомості щодо будови, принципу дії та функціонального призначення основних вузлів компресорної установки.
2. Проаналізовано конструктивні особливості компресорної установки як технічного об'єкта автоматичного контролю та управління.
3. Досліджено основні типи приводів компресорного обладнання та сучасні системи автоматизації, призначені для оперативного керування, аварійного захисту та моніторингу технологічних параметрів компресорних машин.
4. Розроблено структурну схему автоматизованої системи контролю та управління компресорною установкою.
5. Визначено та формалізовано основні завдання синтезу системи автоматичного управління компресорною установкою.
6. Досліджено статичні та динамічні характеристики систем управління компресорним обладнанням з метою обґрунтування вимог до якості регулювання.

7. Розроблено логічну та математичну модель системи управління компресорною установкою, в рамках чого:

1. здійснено комп'ютерне моделювання алгоритмів управління в середовищі математичного моделювання MATLAB (Simulink);
2. синтезовано систему управління приводом компресорної установки, обґрунтовано вибір структури та компонентного складу програмно-апаратного контролера.

Отримані в роботі результати можуть бути використані для модернізації існуючих або проектування нових систем автоматизації компресорних станцій, що сприятиме підвищенню їхньої надійності, безпеки та енергоефективності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чириков К.Ю., Мірошник П. В. Використання СПГ в народному господарстві. //Сірок. ХМ- 6. - М.: ЦИНТИ химнефтемаш. - 1991.
2. Бармин И.В., Чечулин Ю.К., Купис И.Д. Зріджений природний газ - альтернативний енергоносіє і доступне паливо. //Холодильна справа. -

1996. - No3

3. Грезин А.Г., Громов А.В., Мельникова Н.С. та ін. Використання зрідженого природного газу як енергоносія - завдання державної ваги. // Холодильна техніка. - 1999. - No9.
4. Краківський Б.Д., Полів О. М., Чкурнув В. Н. Вибір схеми зріджування природного газу. //Холодильна техніка. - 1999. - No9.
5. V.D. Vidineev, B.A. Ivanov, N.A. Alexandrov, B.T. Marinuk. Analysis and optimuzation of natural gas liquefaction. Ninth international conference on LNG, vol.1 of2., Nice, France, Octobre 17-20, 1989.
6. Сафин А.Х. Тенденції в техніко-економічній структурі виробництва і розвитку компресорного устаткування. - Компресорна техніка і пневматика. 2002. No2. С. 4-9.
7. Пластинин П. И. Поршневі компресори. Том.1. Теорія і розрахунок / 2-е видавництво перероблене і доп. - М.: Колос, 2000. - 456с.
8. Захаренко С. Е., Анисимов С. А., Дмитриевский В. А. та ін. Поршневі компресори. - М.:Л. Машгиз, 1961.- 455с.
9. Гриб В. В., Сафонов Б.П., Жуков Р. В. Динаміка механізму руху поршневого компресора з урахуванням проміжків в рухливих з'єднаннях. - Вісник машинобудування. 2002. No4. С. 3-7.
10. Береснев В. Н. Деякі результати досліджень віброхарактеристик поршневого компресора // Машини і апарати холодильної техніки і кондиціонування повітря. - Л., 1978. No3. С. 164-171.
11. 1KJ2005X1-MQ1. Модуль контролера Emerson DeltaV M5
https://www.5gplc.com/products/kj2005x1-mq1-emerson-deltav-m5-controller-module?srsltid=AfmBOoqOWBCVRXYtMXVh0XFFA2y0GPbM_PH1O0JyrbjzP5mxcpltrRp
12. Посібник з лекцій з дисципліни «Автоматизовані системи керування технологічними процесами» / Укладач : Карташов В.В. - Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017 - 149 с
13. А.О. Бобух. Автоматизовані системи керування технологічними процесами: Навч. посібник. **Харків: ХНАМГ, 2006. - 185 с.**
14. Системи АСУ ТП, АСУП, SCADA и АСДУ.
http://www.tekhar.com/Production/ASU_TP/index_ASUTP_u.htm
15. Частотні перетворювачі Siemens MicroMaster 440.
https://chastotnik.ua/preobrasovateli/seriya=micromaster_440?srsltid=AfmBOoolYOaHWmKJZuiVhjSIJazWK6vLoHDyGYDHbvmR062kWs33q9wi
16. Оксана Гонсьор. Впровадження CALS-технологій в системи управління якістю на підприємствах агропромислового комплексу.-2013 <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2017/jun/3664/honsoroy.pdf>
17. Датчики давления модели 3051/ Протоколы FOUNDATION FIELDBUS и HART®. http://www.ape.od.ua/userfiles/4__pdf_3051_PDS_RevFA_R2_012.pdf
18. Датчики вибрации TX5634/TX5635/TX5636/TX5637/TX5638/TX5639.
<https://promtex.ru/datchiki-vibracii-th5634-th5635-th5636-th5637-th5638-th5639>

ДОДАТОК А

ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЛОКУ ВВЕДЕННЯ/ВИВОДУ

Засоби традиційного введення-виводу (у/в) є модульною підсистемою, що забезпечує різноманітність варіантів при установці. Її конструкція передбачає установку поблизу від польових пристроїв. Підсистема традиційного в/в обладнана ключами захисту функціональної сумісності і підключення польових пристроїв, які гарантують, що плата в/в може бути включена тільки в сумісний з нею клемний блок. Модульність, ключі захисту, підтримка принципу включи і працюй роблять плати традиційного введення-виводу розумним вибором для нашої системи управління технологічним процесом.

До складу підсистеми традиційного введення-виводу входять:

1. Панель (монтується на рейці DIN), що несе, на яку встановлюються усі компоненти, що здійснюють уведення-виведення.
 2. Групове джерело живлення польових пристроїв з вихідною напругою 24 В.
 3. Інтерфейс в/в, що складається з плати в/в і клемного блоку.
 4. Різні плати аналогового і дискретного в/в, однакові, що мають, зовнішній корпус і роз'єми і що легко встановлюються на панель, що несе.
 5. Різні клемні блоки, які встановлюються на панель, що несе, і до яких може бути підключена проводка до установки плат в/ст.
- Усі плати в/в поміщені в однакові корпуси, які вставляються в панель інтерфейсів, що несе, в/ст.. На корпусі чітко вказаний тип плати, що міститься в ній. За допомогою добре помітних світлодіодів, розташованих у верхній частині плати в/в, можна відразу бачити індикацію подачі живлення, помилки і статусу для кожного з 8 каналів плати.

Для нашого випадку виробляється установка:

1. Двох сегментів панелі Н1 (шини FOUNDATION);
2. Двох восьмиканальних плат аналогового введення з підтримкою HART протоколу;
3. Блок послідовного інтерфейсу (чотири порти);
4. Два резервовані контроллери;

5. Системний транзитний і групою джерела живлення;

6. Комутаційні засоби (загальна довжина 400 м);

Загальні зовнішні умови для усіх інтерфейсів в/в:

Температура зберігання : від - 40 до 85 °С (від - 40 до 185 °F);

Робоча температура: від 0 до 60 °С (від 32 до 140 °F)

Відносна вологість: від 5 до 95%, без конденсації;

Забруднення повітря :

1. ISA - S71.04-1985, Клас G3 забруднень повітря;

2. Захисне покриття;

Рівень захисту **IP 20, NEMA 12.**

Сертифікація для небезпечних зон:

1. Клас 1, Розділ 2, Групи A, B, C, D; T4;

2. CENELEC Зона 2 IIC T4;

Ударне навантаження: 1/2 синусоїди 10 g протягом 11 мс;

Вібрація:

1. Вібрація з повним розмахом ¹⁹ мм для частот від 5 до 16 Гц;

2. 0.0.5 g для частот від 16 до 150 Гц;

Розміри:

1. Висота 10,7 см (4,2 дюйми);

2. Ширина 4,1 см (1,6 дюйма);

3. Товщина 10,5 см (4,1 дюйми).

Для тих польових пристроїв, які розташовані у вибухобезпечних зонах, або для дискретних польових пристроїв, яким вимагається більший струм,

чим що максимальний витримується платою, надається груповий клемний ¹⁹ блок з 10, 16 або 24-контактами для з'єднання з ромежучотчными панелями. Низькорівневі сигнали проводяться по стрічковому кабелю 0,093 мм2 (28 по AWG . Американському сортаменту дротів) або круглому вимірювальному кабелю. Для польових пристроїв, що вимагають зовнішнього живлення, може поставлятися клемний блок в/в, призначений для 4-дротяних пристроїв. Такий клемний блок в/у використовується разом з платою аналогового введення 4-20 мА.

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема бакалаврської роботи: «Розроблення інформаційно-вимірювальної системи контролю для дослідження роботи компресорної установки»

Обсяг пояснювальної записки: 100 аркушів

Перелік графічного матеріалу:

КРБ - .00.00.000E1 – Конструктивна схема поршневого компресора.

КРБ - .00.00.001 – Графіки регулювання напору і подачі компресорної установки при зміні характеристик мережі. Графіки регулювання подачі компресорної установки зміною частоти обертання.

КРБ - .00.00.000E2 – Функціональна схема регулювання частоти обертання електродвигуна компресора з використанням частотного перетворювача Micromaster440. Функціональна хема системи управління компресорною установкою.

КРБ - .00.00.000E3 – Структурно-функціональна діаграма механізму руху і зрівноваження компресорної установки. Структурна схема першого контура регулювання.

КРБ - .00.00.000E4 – Структурна схема другого контура регулювання. Структурна схема третього контура регулювання. Графік перехідного процесу

КРБ - .00.00.000E5 – Структурна схема САУ компресора

КРБ - .00.00.000E6 – Резервований контроллер і несучі панелі. Один сегмент польової шини H1

Дата завершення бакалаврської роботи

12.06.2026 р.

Студент-бакалавр

Іван ДОРОШ