

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет  
"Дніпровська політехніка"

Електротехнічний  
(факультет)

Кафедра Електроприводу  
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА  
дипломного проекту (роботи)

бакалавр

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань 14 Електрична інженерія  
(шифр і назва галузі знань)

напрямок підготовки  
(код і назва напрямку підготовки)

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка  
(код і назва спеціальності)

(Електромеханічні системи автоматизації та електропривод)

освітній рівень бакалавр  
(назва освітнього рівня)

кваліфікація  
(код і назва кваліфікації)

на тему: Автоматична система імпульсної очистки фільтрів вакуумних  
приладів з детальною розробкою електропривода компресора

Виконавець:

студент IV курсу, групи 141-16-5

С.К. ШИХОВ

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	Бородай В.А.		
розділів:			
Економічна частина	Тимошенко Л.В.		
Охорона праці	Столбченко О.В.		
Рецензент	Ковальов О.Р.		
Нормоконтроль	Казачковський М.М.		

Дніпро  
2020

**Міністерство освіти і науки України**  
**Національний технічний університет**  
**"Дніпровська політехніка"**

---

---

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри

Електропривода

(повна назва)

М.М. Казачковський

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« 05 » травня 2020 року

**ЗАВДАННЯ**

**на дипломний проект**

бакалавр

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

студенту 141-16-5

(група)

С.К. Шихов

(прізвище та ініціали)

**Тема дипломного проекту** Автоматична система імпульсної очистки фільтрів вакуумних приладів з детальною розробкою електропривода

компресора

затверджена наказом ректора НТУ "ДТ" від 12.05.2020 р. № 258-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
1. Технологічна частина 2. Автоматизований електропривод	Аналіз технологічної установки і формулювання вимог до електропривода. Визначення вхідних даних механізму та розрахунок потужності і вибір комплектного електропривода для асинхронного двигуна.	20.01.2020- 24.02.2020, 25.02.2020 – 23.03.2020
3. Дослідження динаміки електропривода	Обґрунтування вибору системи керування. Вибір і розрахунок структури і регуляторів моделі. Дослідження та аналіз роботи системи електропривода.	24.04.2020-25.05.2020
4. Техніко-економічне обґрунтування проекту	Здійснення розрахунку капітальних та експлуатаційних витрат.	25.05.2020-31.05.2020
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Аналіз шкідливих та небезпечних факторів, що впливають на роботу персоналу. Формулювання рекомендацій, що до усунення небезпеки.	01.06.2020-05.06.2020

Завдання видав

(підпис)

В.А. Бородай

(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

С.К. Шихов

(прізвище, ініціали)

Дата видачі завдання: 03.05.2020

Термін подання дипломного проекту до ДЕК 17.06.2020

# ЗМІСТ

<b>ЗМІСТ</b> .....	3
<b>РЕФЕРАТ</b> .....	4
<b>ВСТУП</b> .....	6
<b>1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b> .....	8
1.1 Система імпульсної очистки фільтрів.....	8
1.2 Аналіз технічних характеристик існуючих компресорів.....	11
1.3 Особливості конструкції поршневого компресора .....	14
1.4 Вимоги до електроприводу .....	17
<b>2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД</b> .....	20
2.1 Технічне завдання на проектування.....	20
2.2 Розрахунок потужності двигуна .....	21
2.3 Перевірка двигуна за перевантажувальною здатністю .....	23
2.4 Вибір комплектного електропривода.....	24
<b>3. ДИНАМІКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА</b> .....	29
3.1 Загальні відомості .....	29
3.2 Математична модель електропривода .....	30
3.3 Розрахунок параметрів системи скалярного управління.....	34
3.4 Моделювання .....	37
<b>4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ</b> .....	41
4.1 Вступ .....	41
4.2 Розрахунок капітальних витрат.....	42
4.3 Розрахунок експлуатаційних витрат .....	45
4.3.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань.....	45
4.3.2 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт .....	47
4.3.3 Розрахунок вартості спожитої електроенергії .....	48
4.4 Висновки .....	48
<b>5. ОХОРОНА ПРАЦІ</b> .....	50
5.1 Описання шкідливих та небезпечних факторів .....	50
5.2 Заходи по усуненню шкідливих факторів.....	51
5.3 Протипожежний захист.....	55
5.4 Розрахунок штучного освітлення виробничих приміщень .....	57
5.5 Висновки .....	62
<b>ВИСНОВКИ</b> .....	64
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> .....	65
<b>ДОДАТОК А</b> .....	68
<b>ДОДАТОК Б</b> .....	69

					ЕП.ПД.20.09.3М.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка стор. 69, рис. 16, табл. 7, джерел використаної літератури 29.

Об'єкт роботи: установка імпульсної очистки фільтрів.

Ціль роботи: модернізація установки шляхом заміни балону з стиснутим повітрям компресором, з вибором потужності двигуна та використанням комплектного електропривода.

Вибрані елементи силового ланцюга: асинхронний електродвигун 4A160M6У3, перетворювач частоти ATV630D15N4. Обрано скалярну систему керування та розраховані її параметри для обраного двигуна.

З використанням спеціалізованого пакета MATLAB досліджена динаміка проектного електропривода в режимах: пуск двигуна, робота на номінальній частоті обертання, зниження частоти обертання на 30% та припинення роботи компресора.

Розраховані капітальні та експлуатаційні витрати на модернізацію установки.

Вивчені небезпечні та шкідливі фактори, що виникають під час роботи з установкою, запропоновані методи їх усунення, приведені відомості щодо протипожежної безпеки та виконаний розрахунок освітлення в лабораторії.

ІМПУЛЬСНА ОЧИСТКА, КОМПРЕСОР, ЕЛЕКТРОПРИВОД  
ЗМІННОГО СТРУМУ, СКАЛЯРНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ,  
ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ЕНЕРГОСБЕРЕЖЕННЯ, БЕЗПЕКА.

					ЕП.ПД.20.09.Р.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

## ABTRACT

Explanatory note p. 69, fig. 16, table 7, references 29.

Object: pneumo-pulse cleaning automatic control system.

Purpose: the installation's modernization by replacing of compressed air tank with piston compressor, selection of electric drive's power and frequency converter.

Selected elements of the power circuit: asynchronous motor 4A160M6U3, frequency converter ATV630D15N4. The scalar control system is selected, and its parameters for the engine are calculated.

Using the specialized MATLAB package, the dynamics of the designed electric drive are learnt in the following modes: the motor's start, the operation at rated speed, the reduction of speed by 30% and shutdown of the compressor.

Capital and operating costs for modernization of the installation are calculated.

The dangerous and harmful factors that occur during the work with the installation are studied, the methods of their elimination are offered, the information on fire safety is given and the calculation of lighting in the laboratory is performed.

**PULSE CLEANING, COMPRESSOR, AC ELECTRIC DRIVE, SCALAR REGULATORY SYSTEM, FREQUENCY CONVERTER, ENERGY SAVING.**

					ЕП.ПД.20.09.Р.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

## ВСТУП

В багатьох галузях промисловості широко використовується різноманітне пневматичне устаткування. Саме тому його ефективність є суттєво важливим фактором, що може вплинути на якість вихідної продукції.

У більшості випадків робота пневматичного устаткування передбачає використання атмосферного повітря як технологічного середовища, природний стан якого, безумовно, має шкідливі домішки. Забрудненість повітря, що проходить через газотурбінні та компресорні установки, призводить до інтенсивного зношування поршневих пар та лопатей турбін, що негативно позначається на компресорному обладнанні. Як варіант, цю проблему усувають шляхом фільтрації, ефективність якої залежить від стану очищувального елемента.

На теперішній час існують різноманітні способи очистки фільтрів. Одним із перспективних автоматичних способів їх відновлення є імпульсний метод, який дозволяє здійснювати таку функцію в поточному режимі. Зрозуміло, що його реалізація дозволить спростити процедуру очистки і забезпечить збільшення терміну між обов'язковим капітальним обслуговуванням системи та знизить вартість робіт по її виконанню.

Протягом стажування на кафедрі Інженерії екологічних та енергетичних процесів Австрійського Монтануніверситету (м. Леобен)<sup>[1]</sup> автором даної роботи був розроблений та реалізований проект системи автоматичного управління імпульсною очисткою фільтрів. Однією з головних складових цієї системи є джерело стиснутого повітря. Суттєвим недоліком побудованого експериментального стенду було використання пневматичного накопичувального балону, можливості якого обмежені. Тому наступним етапом розпочатої роботи є розробка більш досконалої компресорної системи. Для отримання його високих енергетичних та ресурсозберігаючих характеристик в проекті пропонується задіяти регульований асинхронний привід, як такий, що є найкращим з можливо відомих.

					ЕП.ПД.20.09.ВС.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

# 1 Технологічна частина

					ЕП.ПД.20.09.1.ПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Система імпульсної очистки фільтрів

Метою дипломної роботи є вдосконалення системи імпульсної очистки фільтрів (рис. 1.1), що планується для реалізації на базі кафедри електроприводу Національного Технічного Університету «Дніпровська Політехніка», користуючись досвідом проектування і дослідження лабораторної установки на базі кафедри „Інженерії екологічних та енергетичних процесів” Австрійського Монтануніверситету (м. Леобен), задля поліпшення її енергоощадності та ефективності.

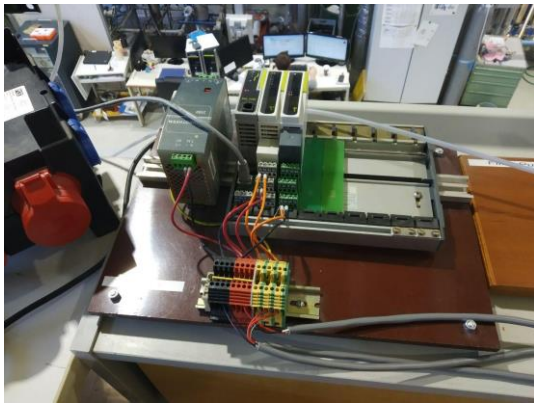


Рис. 1.1 – Система керування Eurotherm 2500

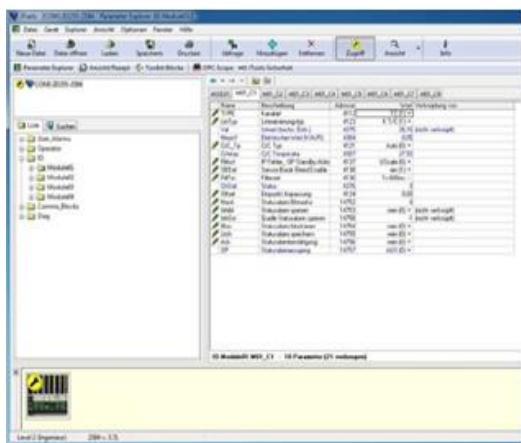
Оригінальна лабораторна установка складається з двох магнітних клапанів (звичайно закритих), давача тиску та балону з стиснутим повітрям на 1 бар. Керування системою, збір і обробка даних здійснювалась завдяки контролеру Eurotherm 2500 побудованого за модульним принципом, до складу якого входять порти вводу та реле управління.

Для передачі інформації від вхідних джерел до комп'ютера автоматична системами використовує драйвери або OPC-сервер із спеціалізованим програмним забезпеченням, яке одночасно виконує технологічну задачу і візуалізацією отриманих даних на монітор. Для налаштування зв'язку між контролером та комп'ютером задіяне програмне забезпечення iTools (рис. 1.2, а), а для візуалізації роботи системі на графічний монітор комп'ютера – Lookout (рис. 1.2, б).

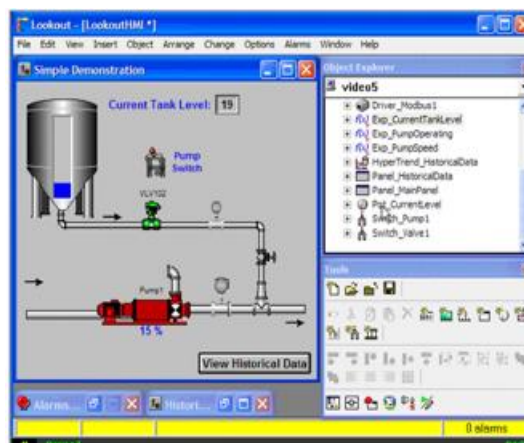
					ЕП.ПД.20.09.1.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



Функціональна технологічна схема установки та її реальний вигляд зображені відповідно на рис. 1.3 та 1.4.



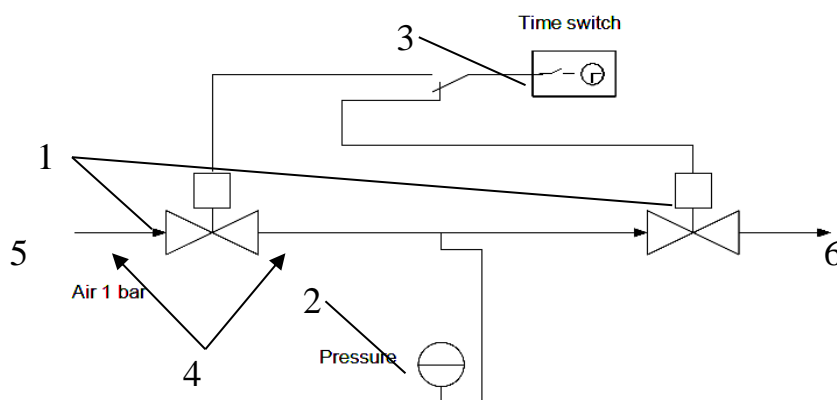
а)



б)

Рис.1.2 – До ілюстрації програмного забезпечення дослідного стенду:

а) налаштування зв'язку - iTools; б) візуалізації - Lookout



1- електромагнітні клапани; 2- давач тиску; 3 – контролер перемикання клапанів;  
4 – пнево магістралі; 5 - джерело тиску; 6 – патрубок скиду тиску

Рис.1.2 – Функціональна схема оригінальної установки



Рис.1.3 – Виконавча та контролююча частина установки

					ЕП.ПД.20.09.1.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Принцип роботи автоматичної системи передбачає попереднє завдання за допомогою вікна програмного засобу Lookout часу відпирання впускного та випускного електромагнітних клапанів. Виконання програми супроводжується відкриттям впускного клапану, що тягне за собою зростання тиску в системі, вимір якого здійснюється давачем, а результат його дії одночасно відображається на екрані монітору. Індикація має вигляд мнемо-спрацювання елемента механічного керування та побудови графічної залежності відпрацювання керуючого впливу (рис. 1.5). Після закінчення терміну

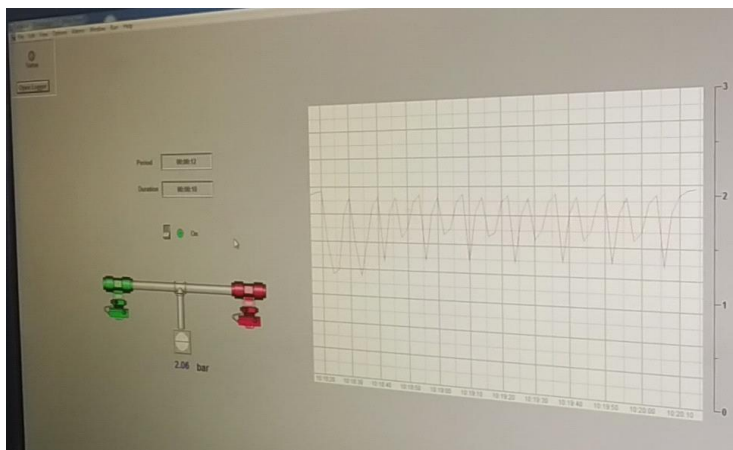


Рис.1.4 – Візуалізація роботи системи в функції реального часу

відкритого стану впускного клапану відчиняється випускний клапан, наслідком чого стає створення імпульсного викиду повітря, яке і здійснює очистку фільтра шляхом здуву з його поверхні забруднюючих часток пилу, які потім видаляються з пневматичної системи через спеціальний збірник.

Контроль праці установки оператором здійснюється за допомогою програмного засобу Lookout. Lookout - система дозволяє шляхом встановлення часу відкритого/закритого стану впускного та випускного клапанів регулювати тривалість та частоту імпульсів викиду стиснутого повітря в залежності від завдання та забрудненості фільтра. Дані щодо роботи системи обробляються контролером і візуалізуються на моніторі в зручному для оператора вигляді, зокрема: стан клапанів (зелене зображення – відкритий, червоне – закритий), тривалість заданих оператором відрізків часу роботи, абсолютне значення тиску та його зміна у вигляді пилкоподібного графіка.

Збереження результатів поточних даних дослідження в системі здійснюється в окремий файл в режимі реального часу за допомогою

					ЕП.ПД.20.09.1.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

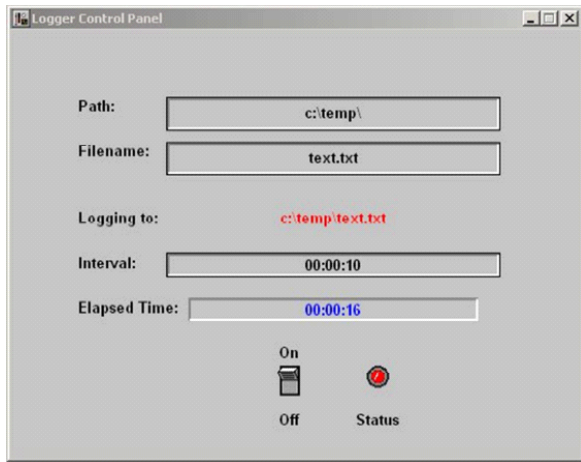


Рис.1.5 – DataLogger панель

спеціальної «DataLogger» панелі (рис. 1.6). Шлях до файлу, його ім'я та інтервал запису даних до файлу встановлюються оператором, який за необхідності може вмикати та вимикати запис, та переглядати результати за вказаним шляхом. Якщо вказаний файл до запуску «DataLogger» не існував раніше, він буде створений.

Суттєвим недоліком дослідницької установки є те, що тиск в пневматичній системі регулюється лише за допомогою електромагнітних клапанів, а використання накопичувального балону обмежує її можливості. Суть дипломної роботи полягає у тому, щоб не змінюючи основні принципи роботи установки, модернізувати її джерело стиснутого повітря. Тобто, здійсненням заміни балону стиснутого повітря на компресор досягти розширення можливостей системи при одночасному досягненні найкращих енергетичних характеристик.

## 1.2 Аналіз технічних характеристик існуючих компресорів

За принципом дії та конструктивними особливостями розрізняють наступні основні типи компресорних машин: поршневі, ротаційні, відцентрові і осьові компресори. Компресори також поділяють: по створюваному тиску  $p_n$  (низького тиску – до 1 МПа, середнього – до 10 МПа, високого – до 100 МПа і надвисокого – більше 100 МПа); за родом робочого газу - повітряні, кисневі, аміачні, для природного газу та ін.; за умовами експлуатації: стаціонарні (з масивним фундаментом і постійним обслуговуванням); пересувні

					ЕП.ПД.20.09.1.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

(переміщувані при експлуатації, іноді без постійного обслуговування); автономні (з власними допоміжними системами, включеними до складу агрегату); по системі охолодження: без штучного охолодження; з повітряним охолодженням; з внутрішнім водяним охолодженням; із зовнішнім охолодженням в одному, двох і т. д. проміжних охолоджувачах; охолоджувані уприскуванням рідини.

*Поршневий* компресор в основному складається з робочого циліндра і поршня; має всмоктувальний і нагнітальний клапани, розташовані зазвичай в кришці циліндра. Для надання поршню зворотно-поступального руху в більшості поршневих компресорів присутній кривошипно-шатунний механізм з колінчастим валом. При зворотно-поступальному русі поршня здійснюються фази процесу: розширення, всмоктування, стиснення і виштовхування. Спосіб дії поршневого компресора, заснований на створенні надлишкового тиску, що дозволяє будувати конструкції з малим діаметром і ходом поршня при відносно малій подачі.

*Ротаційні* компресори здійснюють всмоктування і стиснення газу за допомогою обертального руху пластин. Ротаційні компресори виробляються в двох варіантах: зі стаціонарними пластинами і з пластинами, що обертаються. У компресорі зі стаціонарними пластинами на роторі двигуна встановлений ексцентрик. При обертанні ротора ексцентрик обкатується по внутрішній поверхні циліндра, стискаючи перед собою чергову порцію газу. У другому варіанті виконання ексцентрично встановлений ротор, дотичний з внутрішньою поверхнею циліндра статора і має на своїй поверхні радіально розташовані щілини (прорізи) з вставленими в них пластинами. Ці пластини можуть вільно ковзати в щілинах під дією відцентрових сил, які притискають їх до внутрішньої поверхні циліндра при обертанні ротора. Пластини поділяють зони високого і низького тиску.

*Відцентровий* компресори загалом складається з корпусу і ротора, що має вал з симетрично розташованими робочими колесами. Під час роботи відцентрового компресора часткам газу, що знаходяться між лопатками

					ЕП.ПД.20.09.1.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

робочого колеса, надається обертальний рух, завдяки чому на них діють відцентрові сили. Під дією цих сил газ переміщується від осі компресору до периферії робочого колеса, зазнає стискування і набуває швидкості.

Осьовий компресор має ротор, що складається зазвичай з декількох рядів робочих лопаток. На внутрішній стінці корпусу розташовуються ряди направляючих лопаток. При роботі осьового компресору обертові робочі лопатки діють на частки газу, що знаходяться між ними, змушуючи їх стискатися, а також переміщуватись паралельно осі компресору. Нерухомі направляючі лопатки забезпечують, головним чином, зміну напрямку швидкості частинок газу, що необхідна для ефективної роботи наступних робочих лопаток.

Основними параметрами, що характеризують роботу компресора, є об'ємна подача  $Q$  (обчислюється за умов всмоктування), початковий

$P_1$  і кінцевий  $P_2$  тиск або ступінь його підвищення  $\varepsilon = \frac{P_2}{P_1}$ , частота обертання  $n$  і потужність  $N$  на валу компресора. Орієнтовні значення основних параметрів компресорних машин різних типів, що застосовуються в промисловості, наведені в таблиці.

Таблиця 1.1

Порівняльна характеристика компресорного обладнання

Тип	$Q, \text{ м}^3 / \text{ хв}$	$\varepsilon$	$n, \text{ об/ хв}$	Галузь застосування
Поршневий	0 - 500	2,5 - 1000	100 - 3000	Хімічна промисловість, холодильні установки, пневматичні системи, гаражне господарство
Ротаційний	0 - 500	3 - 12	300 - 15000	Хімічна промисловість, металургійних печах
Відцентровий	100 - 4000	3 - 20	1500 - 45000	Центральні компресорні станції
Осьовий	100 - 15000	2 - 20	500 - 20000	Доменні і сталеливарні заводи

Огляд існуючих видів компресорів дає підстави стверджувати, що поршневий компресор має переваги у порівнянні із іншими конструкціями механізмів створення стиснутого повітря. А саме:

- поршневі компресори є найпоширенішими, а отже технологія їх виробництва добре освоєна, і, як наслідок, має вартість значно меншу у порівнянні з компресорами інших типів;
- більш високе значення енергетичного ККД при невеликих питомих масах і габаритах, що є дуже важливим для покращення енергоощадності установки;
- поршневі компресори здатні працювати з більш високим відношенням тисків при стисканні в одній ступені (одноступінчасті), цей коефіцієнт може доходити до 10, що значно перевищує можливості інших компресорів. Однак, виходячи з умов безпеки і економічності його роботи, доцільно застосовувати з мірою підвищення тиску 7-8;
- конструкція поршневих компресорів допускає просте з'єднання електродвигуна (двигуни з частотою обертання 25, 50 і 60 Гц) безпосередньо з колінчастим валом, що дозволяє зменшити кількість витратних матеріалів і збільшує ремонтпридатність, а також спрощує розрахунок компресора і системи керування.

### **1.3 Особливості конструкції поршневого компресора**

Принцип дії поршневих компресорів полягає у циклічному зворотно - поступальному русі поршнів або плунжерів, наповнені робочих камер і виштовхуванні з них порцій газу, що перекачується.

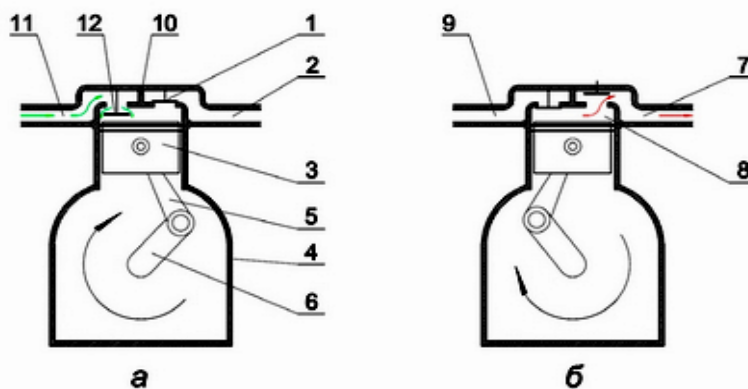
Компресори даного типу можуть бути оснащені одним або декількома циліндрами, які розташовуються горизонтально або вертикально (/ V- / W- образні). Дані агрегати можуть бути одинарної або подвійної (якщо поршень працює у обидві сторони) дії, а також відрізнятися за способом багатоступеневого або одноступеневого стиснення.

Для системи імпульсної очистки фільтрів вакуумних приладів доцільно

					ЕП.ПД.20.09.1.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

використовувати одноступеневий компресор, оскільки створюваний ним підвищений тиск збільшується близько в 7-8 разів чого буде достатньо для реалізації даної технології.

Загальний вигляд моделі пояснення принципу роботи одноступінчастого поршневого компресора зображена на рис. 1.7.



1 – випускний клапан; 2 – лінія нагнітання; 3 – поршень; 4 – циліндр; 5 – шатун;  
6 – колінчастий вал; 7 – тиск нагнітання; 8 – камера стискування; 9 – тиск всмоктування; 10 – клапанна головка; 11 – лінія всмоктування; 12 – впускний клапан

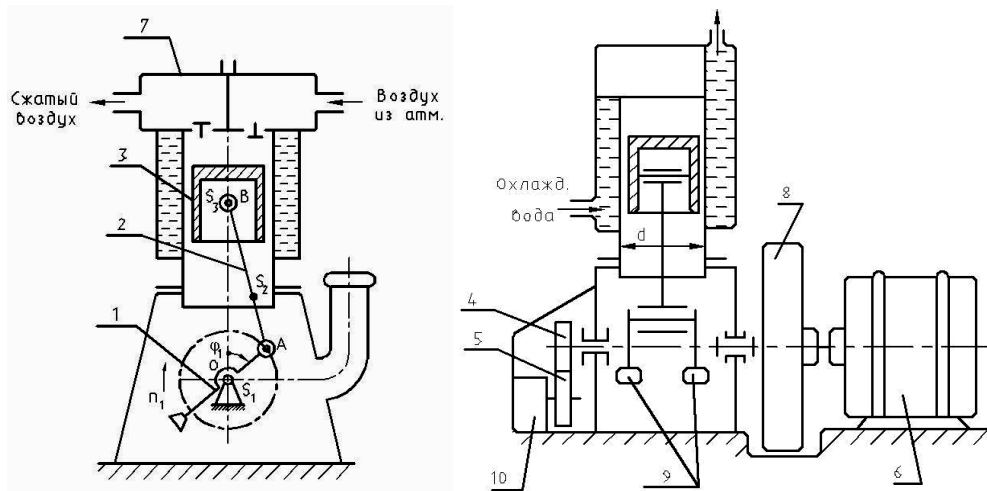
Рис.1.7 – Модель пояснення принципу роботи компресора

Фаза всмоктування (рис. 1.7 а) передбачає опускання від верхньої «мертвої точки» циліндра (4) поршня (3), результатом чого стає розрядження у камері стиску і атмосферний газ через відкритий впускний клапан (10) всмоктується.

Фаза стиснення і випуску розігрітого газу (рис. 1.7 б) здійснюється за час руху поршня вгору. При цьому відкривається випускний клапан (1) і газ під тиском виходить із циліндру компресора. Конструкція системи має такий устрій, що поршень ніколи не торкається клапанної головки (10), завжди залишаючи деякий вільний простір, який називається «мертвим об'ємом».

За принципом дії вертикальний одноциліндровий поршковий компресор (рис. 1.8) має фазову послідовність роботи аналогічну моделі, яка проаналізована вище. Його рух здійснюється завдяки привідному асинхронному двигуну (6). При цьому повітря до камери стиску надходить з атмосфери через фільтр, встановлений на всмоктуючій порожнині

					ЕП.ПД.20.09.1.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



1 – колінчастий вал; 2 – шатун; 3 – поршень; 4, 5 – зубчата передача; 6 – асинхронний двигун;  
7 – клапанна коробка; 8 – маховик; 9 – противаги; 10 – масляний насос;

Рис.1.8 – Кінематична схема вертикального одноцилиндрового поршневого компрессора

клапанної коробки (7), і після стиснення нагнітається в спеціальний резервуар (ресивер). Для відводу тепла, що виділяється при стисненні, слугує водяна сорочка.

Основний механізм компресора – кривошипно-шатунний. Він складається з колінчастого валу (1), шатуна (2) і поршня (3). Для забезпечення необхідної рівномірності руху на колінчастому валу машини закріплений маховик (8). Противаги (9) на колінчастому валу врівноважують механізм, зменшуючи сили в підшипниках. Мастило механізму - циркуляційне, під тиском від масляного насоса (10), поміщеного в картері і приводиться в рух від колінчастого валу за допомогою зубчастої передачі (4, 5).

При запуску компресора електродвигун долає інерцію спокою рухомих деталей і різницю тисків в системі. Значний пусковий момент перевантажує двигун, що викликає провал напруги, наслідком чого може стати негативний вплив на інших споживачів мережі. А отже, слід їх уникати, для чого залучають різноманітні способи плавного пуску електродвигуна.

У поршневому компресорі сили інерції виникають внаслідок зворотно-поступального руху поршня, обертального руху колінчастого валу та маховика. Величина даних сил залежить від маси рухомих частин і швидкості їх руху.

					ЕП.ПД.20.09.1.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Наявність сил інерції викликає додаткові навантаження на рушійні частини компресора, які можуть викликати їх підвищений знос і руйнування, а також внаслідок вібрації компресор сильно шумить, що може негативно впливати на персонал виробництва.

#### 1.4 Вимоги до електроприводу

Аналіз механізму проектування дає змогу сформулювати вимоги до його електроприводу. Приймаючи до уваги, наявність кривошипа і маховика у складі кінематики компресора цей механізм слід характеризувати наступними особливостями:

- пульсуючий характер навантажувального моменту;
- залежність пульсацій від швидкості привода;
- підвищений момент інерції, який затягує пуск;
- підвищений пусковий момент.

З огляду на те, що компресор працює на ресивер, який надає змогу накопичення надлишкового тиску і роботи з великою продуктивністю, у безперервній номінальній роботі компресора немає сенсу. Тобто ця електромеханічна система повинна працювати у режимі змінної продуктивності, і як наслідок електропривод має бути регульованим.

До складу кінематики компресорної установки входять зубцеві та балансуєчі елементи. Це спонукає до побудови системи керування із спеціальними вимогами до забезпечення її динаміки. Тобто, має сенс у отриманні експоненціальних форм перехідних процесів, що накладає обмеження на швидкодію системи керування приводом. При цьому продуктивність і енергетичні якості електропривода можуть бути забезпечені дотриманням необхідної якості перехідних процесів, які реалізуються при налаштуванні системи автоматичного регулювання за модульним оптимумом.

Наявність великого пускового і середнього сталого моменту, що прикладається до валу двигуна, передбачає введення у конструкцію електроприводу механічного передатного механізму, призначення якого –

					ЕП.ПД.20.09.1.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

узгодження силових і швидкісних невідповідностей двигуна та робочої машини.

Робота механізму проектування не вимагає реверсування робочого органу, оскільки в цьому немає потреби.

Виробничі умови, в яких ймовірно буде експлуатуватись дане обладнання повинно мати можливість захисту від шкідливого впливу виробничого навколишнього середовища. Для цього слід передбачити винос апаратури управління у окремі приміщення, де надаються нормальні і безпечні умови їх експлуатації.

Обладнання, що проектується не вимагає приводу великої потужності. Тому потужність мережі особливого значення не має.

					ЕП.ПД.20.09.1.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 2. Автоматизований електропривод

					ЕП.ПД.20.09.2.ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

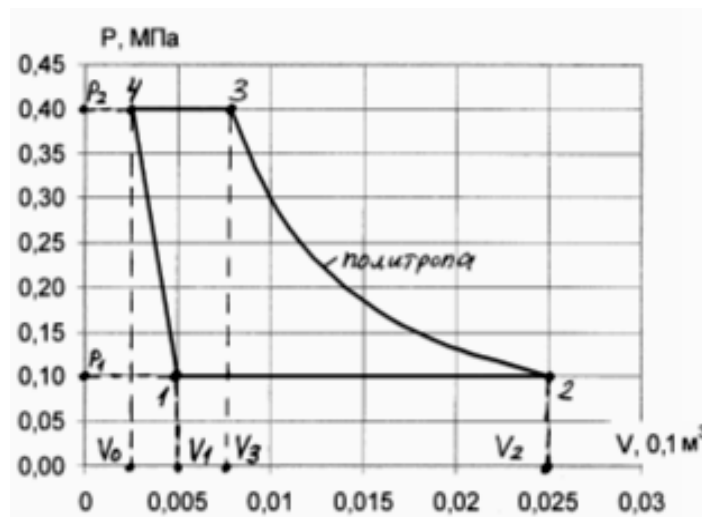
## 2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

### 2.1 Технічне завдання на проектування

Виходячи з раніше перерахованих вимог до електроприводу і умов експлуатації установки необхідно обрати параметри компресора, розрахувати потужність електродвигуна, що має приводити компресор у дію та підібрати підходящий двигун з каталогу.

Робочим тілом майбутнього поршневого компресору є атмосферне повітря. Компресор нагнітає тиск з  $p_1 = 0,1 \cdot 10^6$  Па, що відповідає атмосферному тиску, до  $p_2 = 0,4 \cdot 10^6$  Па. Оскільки компресор працює на ресивер час за який в ньому буде досягнутий необхідний тиск не є важливим, тому обираємо найменшу з прийнятих для вказаного типу компресорів продуктивність  $Q = 2\text{м}^3/\text{хв}$ .

Теоретично процеси стиснення і розширення повітря в компресорі можуть бути описані рівнянням політропи  $pV^n = \text{const}$ , а процеси виштовхування і всмоктування – рівнянням ізобари  $p = \text{const}$ .



- 1 – відкриття і 2 – закриття всмоктувального клапану;  
3 – відкриття і 4 – закриття нагнітального клапану;  
1-2 – процес всмоктування; 2-3 – стискання; 3-4 – виштовхування;  
4-1 – розширення залишків газу;

Рис. 2.1 – Індикаторна діаграма

					ЕП.ПД.20.09.2.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Індикаторна діаграма ідеального поршневого компресору матиме вигляд зображений на рис. 2.1, де  $V_0 = 0,00025$ , м<sup>3</sup> – мертвий об'єм компресору;  $V_1 = 0,0005$ , м<sup>3</sup> – об'єм повітря в камері поршня на момент відкриття всмоктувального клапану;  $V_2 = 0,0025$ , м<sup>3</sup> – об'єм повітря та момент закриття всмоктувального клапану;  $V_3 = 0,00075$ , м<sup>3</sup> – об'єм повітря після стискання. Об'єми обираються виходячи з розмірів оригінальної установки.

## 2.2 Розрахунок потужності двигуна

Розрахунок потужності двигуна розраховується з параметрів поршневого компресору. Під час розрахунку буде використовуватись ідеалізована модель компресору з наступними припущеннями:

- 1) Будь-які нещільності в робочій порожнині відсутні, отже, немає витоків і перетоків повітря;
  - 2) Відсутній теплообмін між газом і стінками, з якими газ стикається при всмоктуванні і нагнітанні. Теплова інерція стінок циліндра відсутня і не впливає на термодинамічний процес.
  - 3) Немає втрат енергії (тиску) в потоці при всмоктуванні і нагнітанні через відсутність гідравлічних опорів в каналах клапанів і трубопроводах.
  - 4) Усмоктувальні клапани відкриваються і закриваються миттєво.
  - 5) Відсутнє тертя між рухомими деталями поршневої групи
- Ці припущення будуть компенсовані коефіцієнтом запасу.

Визначення значення політропи з індикаційної діаграми:

$$n = \frac{\ln p_1 - \ln p_2}{\ln V_3 - \ln V_2} = 1.151 \quad (2.1)$$

Визначення роботи політропного стискання газу:

$$A_{\pi} = \frac{n}{n-1} p_1 V_2 \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (2.2)$$

					ЕП.ПД.20.09.2.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

$$A_{\text{п}} = \frac{1.151}{1.151 - 1} 0,1 \cdot 10^6 \cdot 0,0025 \left[ \left( \frac{0,4 \cdot 10^6}{0,1 \cdot 10^6} \right)^{\frac{1.151-1}{1.151}} - 1 \right] = 380,178 \text{ Дж}$$

Додаткова робота:

$$A_{\text{д}} = (p_2 - p_1) \left( V_3 - \frac{V_1 + V_0}{2} \right) \quad (2.3)$$

$$A_{\text{д}} = (0,4 \cdot 10^6 - 0,1 \cdot 10^6) \left( 0,00075 - \frac{0,0005 + 0,00025}{2} \right) = 112,5 \text{ Дж}$$

Індикаторна робота компресору:

$$A_{\text{інд}} = A_{\text{п}} + A_{\text{д}} = 380,178 + 112,5 = 492,678 \text{ Дж} \quad (2.4)$$

Визначення об'єму газу цикл стискання (робочий об'єм):

$$V_{\text{р}} = V_2 - V_1 = 0,0025 - 0,0005 = 0,002 \text{ м}^3 \quad (2.5)$$

Подача газу в секунду:

$$Q_{\text{р}} = \frac{Q}{60} = \frac{2}{60} = 0,033 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (2.6)$$

Визначення потужності двигуна:

$$P_{\text{дв}} = \frac{k_3 A_{\text{інд}} Q_{\text{р}}}{V_{\text{р}} \eta_{\text{к}} \eta_{\text{п}}}, \quad (2.7)$$

де  $k_3 = 1,1$  – коефіцієнт запасу;  $\eta_{\text{к}} = 0,79$  – коефіцієнт корисної дії компресору;  $\eta_{\text{п}} = 0,9$  – коефіцієнт корисної дії передачі.

					ЕП.ПД.20.09.2.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{дв} = \frac{1,1 \cdot 492,678 \cdot 0,033}{0,002 \cdot 0,79 \cdot 0,9} = 12703,85 \text{ Вт}$$

Визначення частоти обертання двигуна:

$$n = \frac{Q}{V_p} = \frac{2}{0,002} = 1000 \frac{\text{об}}{\text{хв}} \quad (2.8)$$

З довідкової літератури<sup>[16]</sup> обираємо електродвигун загального призначення серії 4А типу 4А160М6У3 потужністю 15 кВт та синхронною частотою обертання 1000 об/хв. Ступінь захисту IP44, спосіб охолодження – IC0141.

Таблиця 2.1

Основні технічні данні двигуна **4А160М6У3**:

P <sub>2ном</sub> , кВт	Енергетичні показники		Параметри схеми заміщення, в. о.				
			x <sub>μ</sub> *	в номінальному режимі роботи			
	η <sub>н</sub> , %	cosφ <sub>н</sub>		R <sub>1</sub> *	x <sub>1</sub> *	R' <sub>2</sub> *	x' <sub>2</sub> *
15	88,5	0,87	3,0	0,062	0,1	0,028	0,16

Таблиця 2.2

Пускові характеристики двигуна **4А160М6У3**:

Механічна характеристика					k <sub>i дв</sub> = $\frac{I_{пуск}}{I_H}$	J <sub>дв</sub> , кг · м <sup>2</sup>
m <sub>п</sub> = $\frac{M_{пуск}}{M_H}$	m <sub>м</sub> = $\frac{M_{мін}}{M_H}$	m <sub>к</sub> = $\frac{M_{макс}}{M_H}$	s <sub>н</sub> , %	s <sub>к</sub> , %		
1,2	1,0	2,0	2,6	14,0	6,0	0,18

### 2.3 Перевірка двигуна за перевантажувальною здатністю

Для перевірки двигуна по перевантажувальній здатності повинна виконуватись умова:

$$M_{кр} = \lambda M_{ном} \geq M_{оп} \quad (2.9)$$

M<sub>кр</sub> - критичний пусковий момент двигуна, Н·м;

					ЕП.ПД.20.09.2.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$M_{\text{НОМ}}$  - номінальний момент двигуна, Н·м;

$M_{\text{оп}}$  - момент опору руху під час пуску, Н·м.

Номінальний момент двигуна знаходиться за формулою:

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{9550 \cdot P_{\text{НОМ}}}{n_{\text{НОМ}}} = \frac{9550 \cdot 15}{974} = 147,1 \quad (2.10)$$

$$\lambda = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{НОМ}}} = 2 \quad (2.11)$$

Критичний пусковий момент двигуна:

$$M_{\text{кр}} = \lambda M_{\text{НОМ}} = 2 \cdot 147,1 = 294,1 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.12)$$

$$M_{\text{оп}} = \frac{9550 \cdot P}{n} = \frac{9550 \cdot 12,7}{1000} = 121,3 \quad (2.13)$$

Оскільки двигун працює в тривалому режимі роботи в перевірці його по перегріву немає сенсу. В подальшій роботі планується провести більше детальний розрахунок потужності з урахуванням повторно-короткочасного режиму роботи.

## 2.4 Вибір комплектного електропривода

Перетворювальний пристрій виконує функції перетворення електроенергії живильної мережі до таких значень, які необхідні для нормальної роботи приводного двигуна, а також для регулювання швидкості роботи двигуна.

При виборі перетворювача частоти необхідно керуватися наступними вимогами:

- висока надійність при будь-яких режимах роботи;
- простота системи керування;
- мінімально можлива вартість.

					ЕП.ПД.20.09.2.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



В якості перетворювача електроенергії вибираю перетворювач частоти Altivar Process ATV600 французької фірми Schneider Electric.

Перетворювачі частоти серії Altivar Process ATV600 призначені для управління 3-фазними синхронними, асинхронними і спеціальними двигунами потужністю від 0,75 кВт до 1,5 МВт в промисловості і сфері інфраструктури.

Перетворювачі частоти Altivar Process дозволяють більш повно використовувати можливості обладнання і знижувати експлуатаційні витрати завдяки оптимізації енергоспоживання і зручності використання. Програмне забезпечення перетворювачів частоти Altivar Process дозволяє налагодити велику кількість прикладних функцій, які враховують особливості технологічних процесів:

- Функції безпеки і автоматичного управління, що відповідають вимогам, що пред'являються до більшості технологічних установок;
- Місцевий і дистанційний контроль параметрів з використанням вбудованого веб-сервера;
- Вбудований фільтр ЕМС;
- Вбудована функція "Stop & Go" знижує споживання електроенергії в режимі очікування до 60% завдяки автоматичному відключенню ряду функцій;
- Висока точність вимірювання споживаної електроенергії;
- Вбудований порт Ethernet з можливістю прямого доступу до параметрів конфігурації і контролю;
- Відображення вимірюваних величин в одиницях користувача (наприклад, м<sup>3</sup> / год, кВт / м<sup>3</sup>);
- Програмна функція обмеження перенапруги на клеммах двигуна;
- Прямий доступ до технічної документації при зчитуванні QR-коду;
- Вимірювання в режимі реального часу з можливістю настройки інформаційної панелі;

					ЕП.ПД.20.09.2.ПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Контроль зміни споживаної енергії в функції часу для забезпечення якості роботи технологічного обладнання і підвищення його надійності;
- Інтегрована функція безпеки STO і функції контролю дозволяють забезпечити захист обладнання та обслуговуючого персоналу.

Вибір перетворювача частоти необхідно здійснювати виходячи з номінальної електричної потужності і номінального струму двигуна.

Електрична потужність двигуна:

$$P_1 = \frac{P_n}{\eta_n} = \frac{15}{0,885} = 17 \text{ кВт} \quad (2.14)$$

Номінальний струм:

$$I_{\phi n} = \frac{P_n}{3 \cdot 380 \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi} = \frac{15000}{3 \cdot 380 \cdot 0,885 \cdot 0,87} = 17,09 \text{ А} \quad (2.15)$$

З каталогу серії ATV600 обираємо перетворювач для настінного монтажу, ступінь захисту IP 21: ATV630D15N4,

Таблиця 2.3

Номінальні дані перетворювача ATV630D15N4

Частота мережі живлення	50...60 Hz - 5...5 %
Число фаз мережі	3
Номінальна напруга мережі	380...480 В - 15...10 %
Потужність двигуна	15 (20) кВт (л.с.)
Лінійний струм	27 А в 380 В (нормальне навантаження)
Безперервний вихідний струм	31,7 А в 4 kHz для нормальна навантаження
Максимальний перехідний струм	34,9 А протягом 60 с (нормальне навантаження)

Перетворювач забезпечує наступні режими роботи та управління приводних машин і механізмів:

- плавний пуск;

					ЕП.ПД.20.09.2.ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- тривалу роботу в заданому діапазоні частот обертання і навантажень;
- гальмування і зупинку;
- захист електричного і механічного обладнання в аварійних і позаштатних режимах.

Ефективність застосування такого електроприводу обумовлена:

- високою якістю статичних і динамічних характеристик;
- високими енергетичними показниками;
- гнучким налаштуванням робочих параметрів і режимів;
- розвиненим інтерфейсом і адаптивністю до різних зовнішніх систем керування і автоматизації;
- високою монтажно-налагоджувальною готовністю;
- простотою і зручністю управління і обслуговування.

Схеми підключення перетворювача частоти ATV630D15N4 представлена на Рис. 2.2.

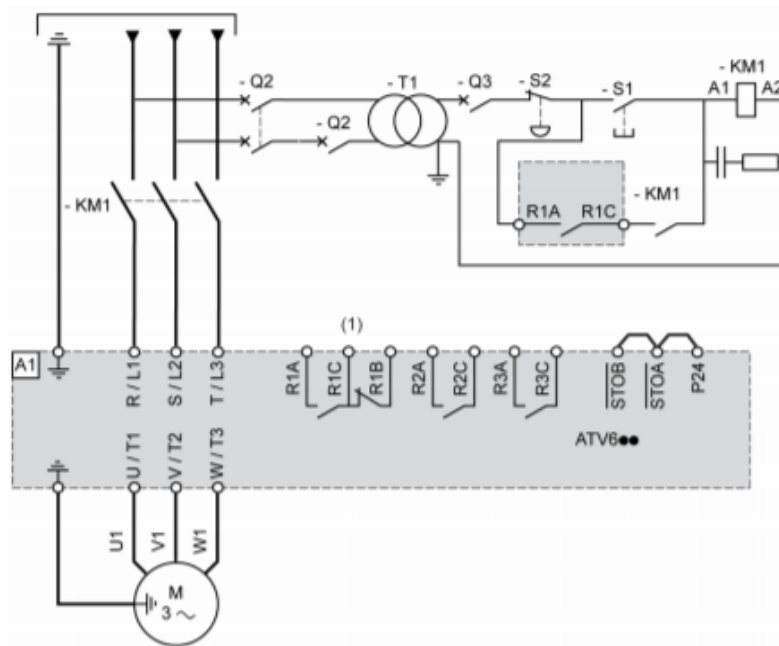


Рис. 2.2 – Схема силової частини з лінійним контактором

					ЕП.ПД.20.09.2.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

# 3. Динаміка електропривода

					ЕП.ПД.20.09.3.ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3. ДИНАМІКА ЕЛЕКТРОПРИВОДА

#### 3.1 Загальні відомості

Принцип **скалярного керування** частотно-керованого асинхронного електропривода базується на зміні частоти та поточних значень модулів змінних АД (напруги, магнітних потоків, потокозчеплень та струмів ланцюгів двигуна). Керування АД при цьому може забезпечуватись одночасним регулюванням або частоти  $f_1$  і напруги  $U_1$ , або частоти  $f_1$  і струму  $I_1$  статорної обмотки. Перший спосіб прийнято називати частотним керуванням, а другий – частотно-струмовим керуванням.

Скалярний принцип частотного керування є найбільш розповсюдженим в асинхронному електроприводі. Йому характерна технічна простота вимірювання та регулювання змінних АД, а також можливість побудови розімкнених систем керування швидкістю.

Основний недолік даного принципу керування складається в важкості реалізації бажаних законів регулювання швидкості та моменту АД в динамічних режимах. Це пов'язано з складними електромагнітними процесами, що протікають в АД.

**Векторне керування** частотно-керованим асинхронним електроприводом пов'язано як і з зміною частоти та поточних значень змінних АД, так і з взаємною орієнтацією їх векторів в полярній чи декартовій системі координат. За рахунок регулювання амплітудних значень змінних та кутів між їх векторами забезпечується повне керування АД як в статиці, так і в динаміці, що дає помітне поліпшення якості перехідних процесів в порівнянні з скалярним керуванням.

Інформація про поточні значення і положення векторів змінних АД може бути отримана як і прямим їх вимірюванням за допомогою відповідних датчиків, так і опосередковано на основі математичної моделі АД. В загальному випадку системи з опосередкованим регулюванням через нестабільність параметрів АД та їх складного взаємозв'язку поступаються своїми статичними і

					ЕП.ПД.20.09.3.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

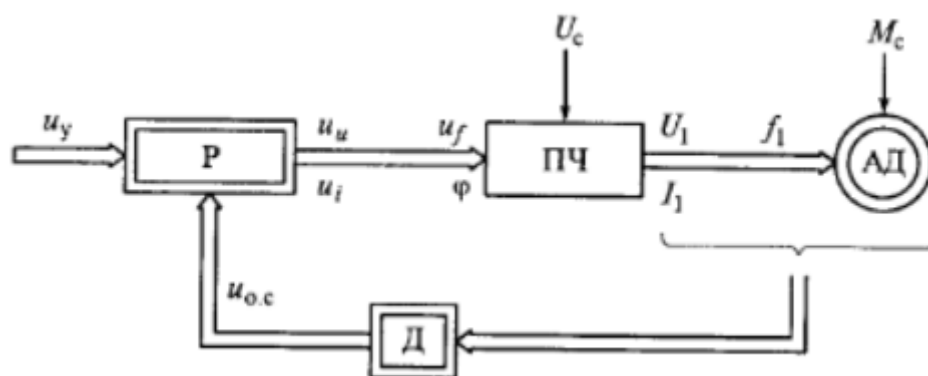
динамічними показниками системам з прями векторним керуванням. Не зважаючи на складність розрахункових операцій і алгоритмів керування електроприводом перевагою систем з опосередкованим керуванням складається в простоті технічних рішень і практичній надійності, оскільки присутність датчиків в повітряному зазорі керованого двигуна негативно впливає на його надійність.

Вибір способу та принципу керування визначається сукупністю статичних, динамічних та енергетичних вимог до асинхронного електроприводу.

Виходячи з сформованих раніше вимог до електроприводу використовувати для описаної установки векторного керування є надмірним, оскільки це занадто ускладнить і здорожить систему керування. Скалярної системи керування буде достатньо для отримання необхідних статичних і динамічних параметрів установки.

### 3.2 Математична модель електропривода

Формування необхідних статичних і динамічних властивостей асинхронного частотно-керованого електропривода можливо лише в замкнутій системі керування. Узагальнена функціональна схема такої системи зображена на Рис. 3.1.



*ПЧ – перетворювач частоти; Р – регулятори; Д – датчі*

Рис. 3.1 – Функціональна схема замкнutoї системи з скалярним керуванням

Керуючий вплив  $u_v$  на вході регуляторів можуть бути сигнали задання будь-яких координат електропривода – швидкості, кута повороту ротора АД, току статора, магнітного потоку і т.д. Збуджуючим впливом на електропривод може бути моменти сил опору  $M_c$  на валу АД або коливання напруги живлячої мережі  $U_c$ . Вхідними сигналами давачів є змінні АД, які можливо виміряти (частота, напруга і струм статора, швидкість ротору, магнітний потік в повітряному зазорі АД) чи визначені розрахунковим шляхом за допомогою математичної моделі АД (ЕДС, потокозчеплення статора, ротора і т.д.). Вихідні сигнали регуляторів, що залежать від керуючих впливів, сигналів зворотного зв'язку і прийнятих алгоритмів керування, є сигналами керування частотою  $u_f$ , вихідною напругою  $u_u$  і струмом  $u_i$  перетворювача частоти.

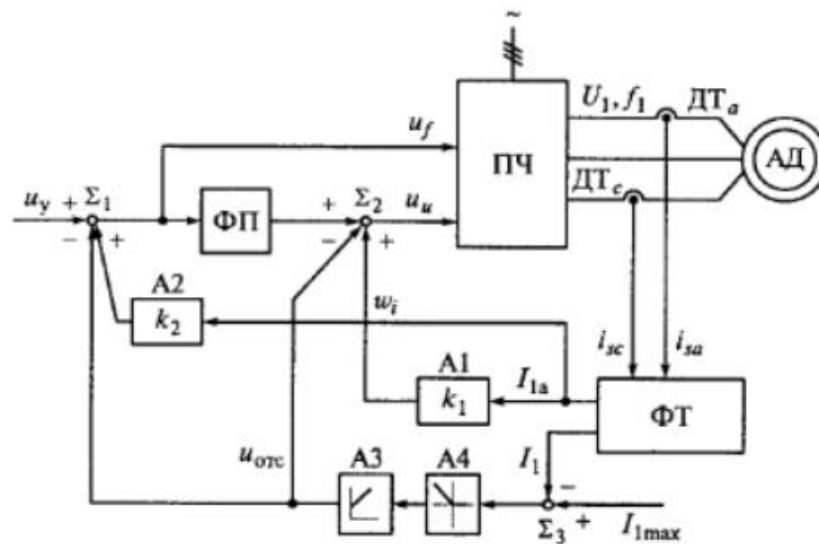


Рис. 3.2 – Функціональна схема системи ПЧ-АД з зворотним зв'язком по струму статора

На Рис. 3.2 зображена схема частотного керування з зворотним зв'язком по струму статора. Сигнали з виходів давачів струму ДТ<sub>а</sub> і ДТ<sub>с</sub> приходять до функціонального перетворювача струму ФТ, де формуються вихідні сигнали відповідно до значення струму статора і його активної складової. В вузлах  $\Sigma_1$  та  $\Sigma_2$  підсумовуються сигнали керування, що приходять від зворотних зав'язків функціональних пристроїв А1, А2 і А3. Пристрій А4 забезпечує проходження

сигналу  $I_1$  на вхід АЗ лише при його перевищенні  $I_{1max}$ , який пропорційний значенню максимально допустимого струму статора АД.

Збільшення діапазону регулювання по швидкості можливо досягти за рахунок введення в розглянуту на Рис. 3.2 систему керування від'ємного зв'язку по швидкості. Функціональна схема такої системи зображена на Рис. 3.3. Канал зв'язку по швидкості включає: тахогенератор ТГ, як давач

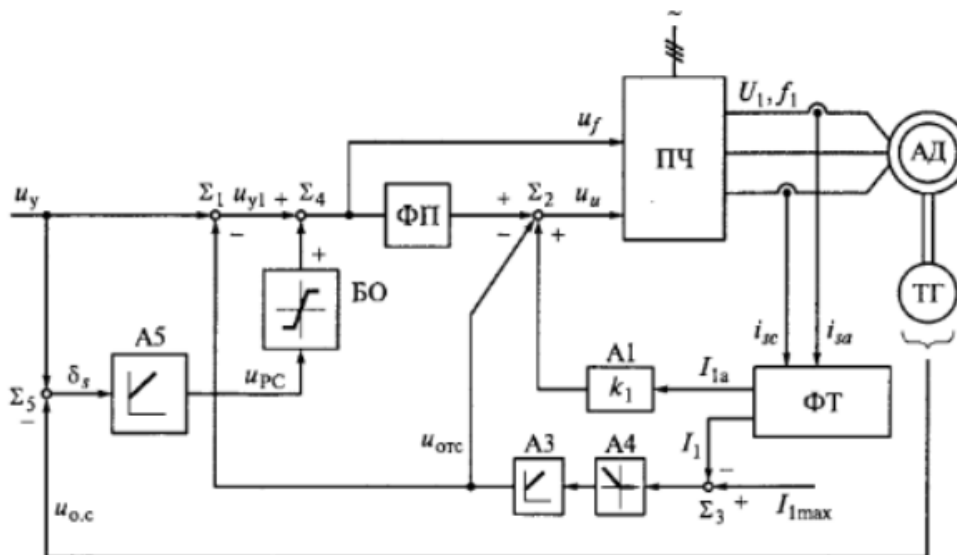


Рис. 3.3 – Функціональна схема системи ПЧ-АД з зворотним зв'язком по швидкості

зворотного зв'язку, вузол  $\Sigma_5$  сумування напруги керування швидкістю  $u_y$  і зворотного від'ємного зв'язку по швидкості, регулятор абсолютного ковзання А5, блок БО обмеження його вихідної напруги, а також вузол  $\Sigma_4$  сумування напруги і результуючої напруги  $u_{y1}$  з виходу суматора  $\Sigma_1$ .

На Рис. 3.4 представлена структурна схема лінеаризованої системи, що зображена на Рис. 3.3. На схемі прийняті наступні позначення:

$\beta$  – модуль жорсткості лінеаризованої механічної характеристики АД ( $\beta=2M_K/\omega_{0ном}S_K$ );

$T_9$  – еквівалентна електромагнітна постійна часу ланцюгів статора і ротора АД ( $T_9=1/\omega_{0эл.ном}S_K$ );



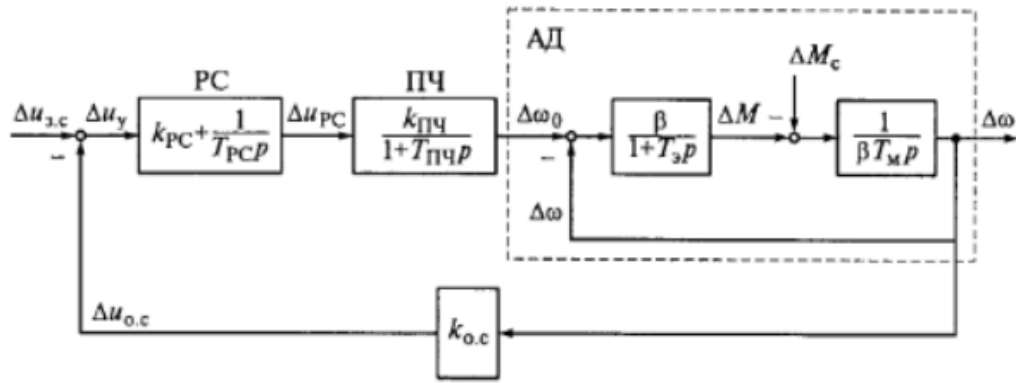


Рис. 3.4 – Структурна схема системи ПЧ-АД з зворотним зв'язком по швидкості

$\omega_{0\text{эл.ном}}$  – кутова швидкість електромагнітного поля АД при його номінальній частоті живлення;

$k_{\text{ПЧ}}$  – передаточний коефіцієнт ПЧ ( $k_{\text{ПЧ}} = \Delta\omega_0 / \Delta u_{\text{РС}} = 2\pi\Delta f_1 / (p_{\text{п}}\Delta u_{\text{РС}})$ );

$T_{\text{ПЧ}}$  – постійна часу ланцюга керування ПЧ.

Передаточна функція ПІ-регулятора швидкості:

$$W_{\text{РС}}(p) = \frac{\Delta u_{\text{РС}}}{\Delta u_y} = k_{\text{РС}} + 1/(T_{\text{РС}}p) \quad (3.1)$$

Передаточна функція ланцюга зворотного зв'язку по швидкості двигуна:

$$W_{\text{о.с}}(p) = \frac{\Delta u_{\text{о.с}}}{\Delta\omega} = k_{\text{о.с}} \quad (3.2)$$

Відповідно до структурної схеми АД його результуюча передаточна функція по відношенню до відхилення  $\Delta\omega_0$ :

$$W_{\text{д}}(p) = \frac{\Delta\omega}{\Delta\omega_0} = \frac{1}{[(T_{\text{з}}T_{\text{м}}p^2 + T_{\text{м}}p + 1)]} \quad (3.3)$$

При  $T_{\text{м}} \geq 4T_{\text{з}}$  :

$$W_{\Omega}(p) = \frac{1}{[(T]_{01}p + [1])(T]_{02}p + 1)} \quad (3.4)$$

Де:

$$\frac{1}{T_{01}} = \frac{1}{2T_{\Sigma}} \left( 1 + \sqrt{1 - \frac{4T_{\Sigma}}{T_M}} \right); \quad \frac{1}{T_{02}} = \frac{1}{2T_{\Sigma}} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{4T_{\Sigma}}{T_M}} \right) \quad (3.5-6)$$

Якщо віднести постійні  $T_{02}$  і до малих постійних, що не компенсуються і в якості оцінки їх впливу прийняти, то при налаштуванні електроприводу на модульний оптимум постійна інтегрування і коефіцієнт передачі пропорційної частини регулятора РС визначиться таким чином:

$$T_{PC} = k_{o.c} k_{ПЧ} a_{\mu} T_{\mu}; \quad k_{PC} = \frac{T_{01}}{T_{PC}} \quad (3.7-8)$$

### 3.3 Розрахунок параметрів системи скалярного управління

Розрахунок параметрів системи скраяного управління виконується згідно параметрів асинхронного електродвигуна загального призначення серії 4А типу 4А160М6У3.

Критичне ковзання:

$$s_{кр} = s_{ном} + \frac{1}{\lambda} = 0,026 + \frac{1}{2} = 0,526 \quad (3.9)$$

Номінальна швидкість обертання:

$$n_{ном} = n(1 - s_{ном}) = 1000 \cdot 0,974 = 974 \quad (3.10)$$

Номінальний момент двигуна:

					ЕП.ПД.20.09.3.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_{\text{ном}} = \frac{9550 \cdot P}{n} = \frac{9550 \cdot 15}{1000} = 147,1 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.11)$$

Критичний момент двигуна:

$$M_{\text{кр}} = \lambda M_{\text{ном}} = 2 \cdot 147,1 = 294,1 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.12)$$

Кутова швидкість холостого ходу:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n}{30} = \frac{3,14 \cdot 1000}{30} = 104,7 \quad (3.13)$$

Розрахунок параметрів системи скалярного керування.

Задавач інтенсивності:

$$t = J \frac{\omega_0}{M_{\text{ном}}} = 0,18 \frac{104,7}{147,1} = 0,128 \quad (3.14)$$

$$K_{3,i} = \frac{10}{t} = 78,025 \quad (3.15)$$

Постійна часу та коефіцієнт підсилення ПЧ:

$$T_{\text{ПЧ}} = 0,005; \quad k_{\text{ПЧ}} = \frac{\omega_0}{10} = \frac{104,7}{10} = 10,47 \quad (3.16)$$

Коефіцієнт жорсткості механічної характеристики:

$$\beta = \frac{2M_{\text{кр}}}{\omega_0 S_{\text{кр}}} = \frac{2 \cdot 294,1}{104,7 \cdot 0,526} = 10,68 \quad (3.17)$$

$$\alpha_{\mu} = 4 \quad (3.18)$$

					ЕП.ПД.20.09.3.ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електромагнітна постійна часу двигуна, с:

$$T_e = \frac{1}{\omega_0 s_{кр}} = \frac{1}{104,7 \cdot 0,526} = 0,018 \quad (3.19)$$

Електромеханічна постійна часу двигуна, с:

$$T_M = 4T_e = 4 \cdot 0,018 = 0,073 \quad (3.20)$$

Коефіцієнт підсилення негативного зворотного зв'язку швидкості:

$$k_{oc} = \frac{10}{\omega_0} = \frac{10}{104,7} = 0,095 \quad (3.21)$$

Коефіцієнт підсилення механічної частини двигуна:

$$\frac{1}{\beta T_M} = \frac{1}{10,68 \cdot 0,073} = 1,289 \quad (3.22)$$

Коефіцієнт підсилення інтегральної частини регулятора швидкості:

$$T_\mu = \frac{2T_e}{1 - \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_M}}} + T_{ПЧ} = 0,041 \quad (3.23)$$

$$T_{01} = \frac{2T_e}{1 + \sqrt{1 - \frac{4T_e}{T_M}}} = 0,036 \quad (3.24)$$

$$T_{PC} = k_{oc} k_{ПЧ} a_\mu T_\mu = 0,095 \cdot 10,47 \cdot 4 \cdot 0,041 = 0,165 \quad (3.25)$$

$$\frac{1}{T_{PC}} = 6,052 \quad (3.26)$$

Коефіцієнт підсилення пропорційної частини регулятора швидкості:

					ЕП.ПД.20.09.3.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$k_{PC} = \frac{T_{01}}{T_{PC}} = \frac{0,036}{0,165} = 0,22 \quad (2.27)$$

### 3.4 Моделювання

Користуючись теорією розділу 3.2, схемами на Рис. 3.3 та 3.4, а також розрахованими для обраного двигуна параметрами системи скалярного керування, засобами середовища Simulink була розроблена і побудована модель електропривода установки імпульсної очистки фільтрів. Оскільки виходячи з вимог до електроприводу для установки необхідні експоненціальні форми перехідних процесів, модель була налаштована на модульний оптимум. Таке налаштування дає змогу поліпшити режим роботи механічних частин електроприводу, знижує навантаження на них та дозволяє експлуатувати їх більш тривалий час, за рахунок чого економляться кошти на їх планову заміну та обслуговування. Також наявність задавача інтенсивності позитивно впливає на електромагнітну частину приводу.

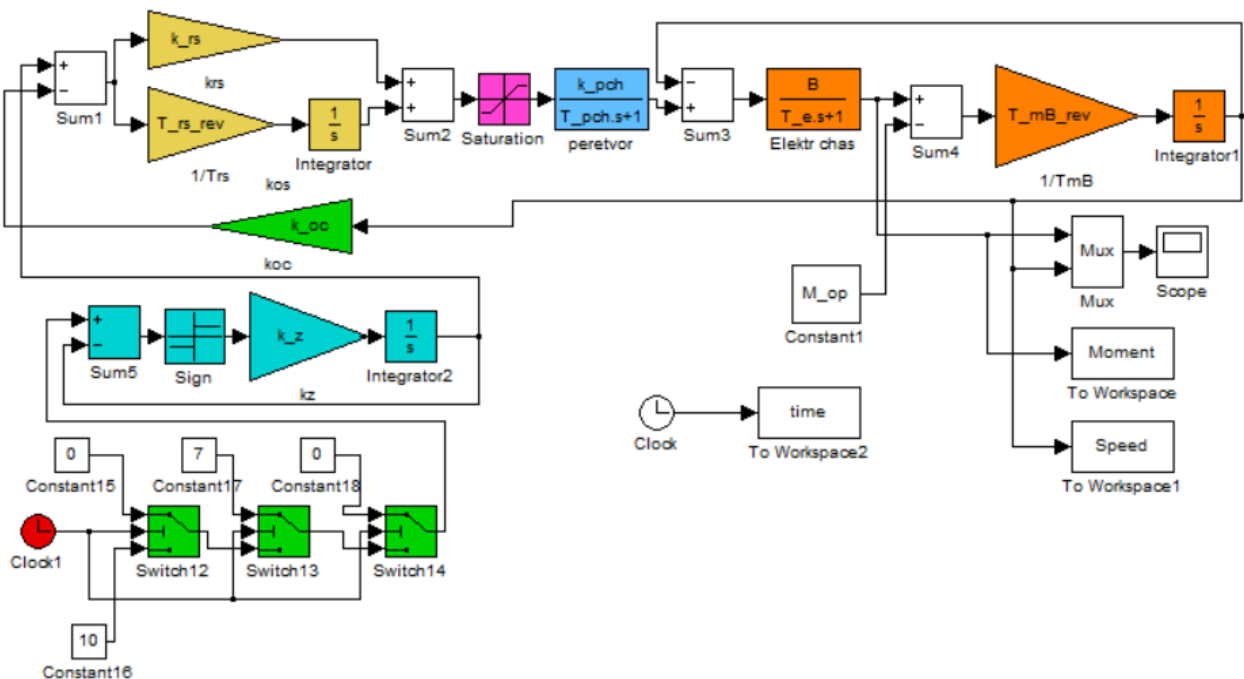


Рис. 3.5 – Модель скалярної системи керування в Simulink

Дослідження системи керування виконується в наступних режимах:

- Пуск двигуна, та вихід на номінальну частоту обертів;
- Робота на номінальній частоті обертання, що відповідає нагнітання тиску до необхідного рівня;
- Зниження частоти обертання на 30%, у випадку, коли витрата стиснутого повітря тимчасово знизилася;
- Припинення роботи компресора.

Для реалізації перерахованих режимів роботи до входу задавача інтенсивності підключено ряд програмованих перемикачів, що імітують завдання на пуск двигуна, що розгін до номінальної частоти обертання, його роботи, зниження частоти обертання, та зупинку.

Обрана послідовність дослідження відповідає технології роботи електропривода компресора установки імпульсної очистки фільтрів, тому її дослідження надають максимальну інформацію о роботі електропривода.

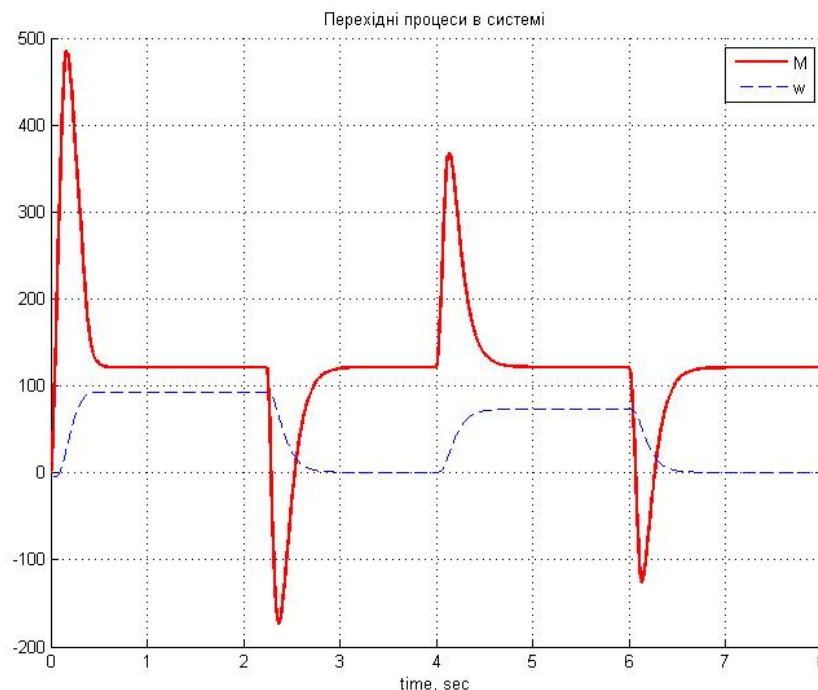


Рис. 3.6 – Графік перехідних процесів

Висновки: побудована система відповідає вимогам перерахованим в розділі 1.4. Отримані експоненціальні форми перехідних процесів, що накладає обмеження на швидкодію системи керування приводом, але оскільки швидкодія

					ЕП.ПД.20.09.3.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

для описаної установки не необхідна, отримуємо вигоду у довговічності установки і електропривода. При цьому продуктивність і енергетичні якості електропривода забезпечені дотриманням необхідної якості перехідних процесів, які реалізуються при налаштуванні системи автоматичного регулювання за модульним оптимумом.

					ЕП.ПД.20.09.3.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# 4. Техніко-економічне обґрунтування

					ЕП.ПД.20.09.4.ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

### 4.1 Вступ

В даній дипломній роботі розглядається розробка електропривода компресора автоматичної системи імпульсної очистки фільтрів вакуумних приладів.

Об'єктом керування є установка автоматичної системи імпульсної очистки фільтрів, що планується для створення на кафедрі електроприводу Національного Технічного Університету «Дніпровська Політехніка», для якої виконується заміна балону з стиснутим повітрям на керований компресор.

Оскільки робота основана на базі вже існуючої установки до складу якої вже входять комутаційне обладнання, програмований логічний контролер Eurotherm 2500, давача тиску, магнітних клапанів, в роботі виконується розрахунок і вибір електродвигуна та перетворювача частоти для керування компресором. Таким чином, робота з установкою дозволяє вдосконалити практичні навички з побудови систем автоматичного керування електроприводом.

Контролер Eurotherm 2500 установлений в установці та обраний перетворювач частоти є продукцією однієї фірми Schneider Electric, а отже можуть бути підключенні один до одного через локальну мережу, чи інтернет. Програмування та підключення давачів та клапанів виконується за допомогою ліцензованого програмного забезпечення iTools і Lookout.

Оскільки можливості використання пневматичного накопичувального балону обмежені, актуальним є розробка більш досконалої компресорної системи. Для отримання його високих енергетичних та ресурсозберігаючих характеристик в проекті використовується регульований асинхронний привід.

В розділі “Техніко-економічне обґрунтування” необхідно виконати розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат.

					ЕП.ПД.20.09.4.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

## 4.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації. Проектні капіталовкладення  $K_{пр}$  визначаються наступною формулою:

$$K_{пр} = K_{об}(\sum_{i=1}^k Ц_i) + З_{тзс} + З_{м} + З_{н} + З_{пр} \quad (4.1)$$

де  $K_{об}$  – вартість придбання електрообладнання за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів  $i$  - го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення;

$k$  - кількість необхідних комплектуючих елементів;

$З_{тзс}$  – транспортно-заготівельні і складські витрати;

$З_{м}$  – витрати на монтажні роботи;

$З_{н}$  – витрати на налагоджувальні роботи;

$З_{пр}$  – інші одноразові вкладення грошових коштів.

Таблиця 4.1

Витрати на придбання технічних засобів та комплектуючих виробів

№ з/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Сума, грн.	Обґрунтування
1	Електродвигун 4А160М6У3	1	9750	9750	[20]
2	Перетворювач частоти ATV630D15N4	1	39655,29	39655	[21]
Всього				49405	

Транспортно-заготівельні і складські витрати  $З_{тзс}$  визначаються наступним чином:

Вартість транспортно-заготівельних витрат на доставку на відстань 338 км електродвигуна 4А160М6У3 за даними служби перевезень «Нова Пошта»,

					ЕП.ПД.20.09.4.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

розрахована за допомогою вбудованого калькулятора. За доставку посилки вагою 155 кг та габаритами 50×26×40 см становить:

$$З_{тз1} = 716 \text{ грн}$$

Вартість транспортно-заготівельних витрат на доставку на відстань 84,6 км перетворювача частоти ATV630D15N4 за даними служби перевезень «Нова Пошта», розрахована за допомогою вбудованого калькулятора. За доставку посилки вагою 13,6 кг та габаритами 23.2× 21.1× 54.6 см становить:

$$З_{тз2} = 283 \text{ грн}$$

Сумарні транспортно-заготівельні і складські витрати  $З_{тзс}$  з врахуванням маси обладнання та його габаритними розмірами визначаються за формулою:

$$З_{тзс} = З_{тз1} + З_{тз2} = 999 \text{ грн} \quad (4.2)$$

Витрати на монтажні роботи  $З_{м}$  визначаємо наступним чином:

$$З_{м} = \sum (Ч_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{см} \cdot K_{пр}, \quad (4.3)$$

де  $Ч_i = 2$  — чисельність працівників III розряду, необхідних для виконання монтажних робіт, чел.;

$a_i = 44,64$  — годинна тарифна ставка електромонтера III розряду, грн.;

$t_i = 16$  — час, необхідний для виконання монтажних робіт, год.;

$K_d = 1,1$  — коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{см} = 1,22$  — коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок;

$K_{пр} = 1,05$  — коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних робіт.

Витрати на монтажні роботи становлять:

$$З_{м} = (2 \cdot 44,64 \cdot 16) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 2013 \text{ грн}$$

					ЕП.ПД.20.09.4.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Витрати на налагоджувальні роботи  $Z_H$  визначаємо наступним чином:

$$Z_H = \sum (Ч_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{cm} \cdot K_{пр}, \quad (4.4)$$

де  $Ч_i = 2$  — чисельність працівників V розряду, необхідних для виконання налагоджувальних робіт, чол.;

$a_i = 50,52$  — годинна тарифна ставка електрика V розряду, грн.;

$t_i = 16$  — час, необхідний для виконання налагоджувальних робіт, год.;

$K_d = 1,1$  — коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{cm} = 1,22$  — коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок;

$K_{пр} = 1,05$  — коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення налагоджувальних робіт.

Витрати на налагоджувальні роботи становлять:

$$Z_H = (2 \cdot 50,52 \cdot 16) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 2278 \text{ грн}$$

Інші одноразові вкладення грошових коштів  $Z_{пр}$  присутні у вигляді робіт з демонтажу балону із стиснутим повітрям:

$$Z_{пр} = \sum (Ч_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{cm} \cdot K_{пр}, \quad (4.5)$$

де  $Ч_i = 2$  — чисельність працівників III розряду, необхідних для виконання демонтажних робіт, чол.;

$a_i = 44,64$  — годинна тарифна ставка електрика III розряду, грн.;

$t_i = 1$  — час, необхідний для виконання демонтажних робіт, год.;

$K_d = 1,1$  — коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{cm} = 1,22$  — коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок;

$K_{пр} = 1,05$  — коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення демонтажних робіт.

Витрати на демонтажні роботи становлять:

$$Z_{пр} = (2 \cdot 44,64 \cdot 1) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 126 \text{ грн}$$

					ЕП.ПД.20.09.4.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок проектних капіталовкладень:

$$K_{пр} = 49405 + 999 + 2013 + 2278 + 126 = 54821 \text{ грн}$$

### 4.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

Відповідно до обраного для виконання диплому обладнання експлуатаційні витрати будуть включати: амортизаційні відрахування, витрати на технічне обслуговування і ремонт та вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року.

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складають:

$$C = C_a + C_T + C_e \quad (4.6)$$

#### 4.3.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання. Строк корисного використання (експлуатації) об'єктів основних засобів і нематеріальних активів визначається підприємством самостійно, виходячи з очікуваних економічних вигод, технічних і якісних характеристик основного засобу, морального і фізичного зносу, а також інших факторів, які можуть вплинути на можливість використання. Термін корисного використання об'єктів основних засобів для нарахування амортизації не може бути менше мінімально допустимих термінів корисного використання (табл. 4.2).

					ЕП.ПД.20.09.4.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Таблиця 4.2

Групи	Мінімально допустимі терміни корисного використання, років
група 3 – будівлі;	20
– споруди;	15
– передавальні пристрої	10
група 4 – машини і обладнання;	5
– електронно-обчислювальні машини, інші машини для автоматичної обробки інформації, пов'язані з ними засоби зчитування або друку інформації, комп'ютерні програми, інформаційні системи і т. д.	2
група 5 – транспортні засоби	5
група 6 – інструменти, прилади, інвентар (меблі)	4

Відповідно до табл. 4.2 придбане устаткування відноситься до групи 4, мінімальний допустимий термін використання становить 5 років.

Податковим кодексом України дозволено використовувати прямолінійний (пропорційний) метод амортизації, при якому річна сума амортизації визначається діленням вартості, яка амортизується, на строк корисного використання об'єкта основних засобів. Вартістю основних засобів і нематеріальних активів, що амортизується, є первісна або переоцінена вартість основних засобів і нематеріальних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості:

$$\Phi_a = \Phi_{\text{п}} - Л, \quad (4.7)$$

де  $\Phi_{\text{п}}$  — первісна вартість об'єкта основних засобів;

Л — розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

Якщо визначити очікувану ліквідаційну вартість об'єкта основних засобів складно, то при прямолінійному методі амортизації дозволяється вважати її

					ЕП.ПД.20.09.4.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

рівною нулю. Тоді вартість основних засобів, що амортизується  $\Phi_a$  дорівнює первісній вартості об'єктів основних засобів:

Амортизаційні відрахування знаходяться за прямолінійним методом за наступною формулою:

$$AO = \Phi_a / T_{\Pi}, \quad (4.8)$$

де  $T_{\Pi}$  — термін корисного використання (амортизаційний період).

$$AO = \frac{54821}{5} = 10964 \text{ грн}$$

#### 4.3.2 Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного обладнання включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт складаються з:

$$C_T = C_{\text{ПЧ}} + C_{\text{ДВ}}, \quad (4.9)$$

де  $C_{\text{ПЧ}}$  — витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт перетворювача частоти;

$C_{\text{ДВ}}$  — витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт двигуна.

Аналогічне обладнання потребує витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт в обсязі 10% від вартості обладнання:

$$C_{\text{ПЧ}} = 0,1 \cdot 39655 = 3966 \text{ грн}$$

$$C_{\text{ДВ}} = 0,1 \cdot 9750 = 975 \text{ грн}$$

Отже  $C_T$  дорівнює:

$$C_T = 3966 + 975 = 4941 \text{ грн}$$

					ЕП.ПД.20.09.4.ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 4.3.3 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування протягом року, визначається виходячи з його встановленої потужності, річного фонду робочого часу об'єкта проектування та втрат електроенергії.

Потужність, що споживається з мережі живлення:

$$P_{\text{спож}} = \frac{P_{\text{дв}}}{\eta_{\text{дв}} \eta_{\text{перед}} \eta_{\text{комп}}} = \frac{15}{0,885 \cdot 0,9 \cdot 0,79} = 24 \text{ кВт}, \quad (4.10)$$

де  $\eta_{\text{дв}}$  — ККД двигуна;

$\eta_{\text{перед}}$  — ККД передачі;

$\eta_{\text{комп}}$  — ККД компресора.

Кількість спожитої за рік електроенергії:

$$W_p = P_{\text{спож}} \cdot 12 \cdot 21 \cdot 8 = 48384 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (4.11)$$

Вартість спожитої електроенергії:

$$C_e = W_p \cdot C_e = 48384 \cdot 2,177 = 105332 \text{ грн}, \quad (4.12)$$

де  $C_e$  — тариф на послуги з розподілу електричної енергії, що діють з 01 березня 2020 року за даними НКРЕКП [22], грн. / кВт • год.

### 4.4 Висновки

В даному розділі була проведено розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат.

Для реалізації даного дипломного проекту проектні капіталовкладення становлять 54821 гривень, річні експлуатаційні витрати — 121237 гривень.

					ЕП.ПД.20.09.4.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



# 5. Охорона праці

					ЕП.ПД.20.09.5.ПЗ	Арк.
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

### 5.1 Описання шкідливих та небезпечних факторів

Повітряний компресор являє собою пристрій для стиснення і подачі повітря під тиском.

Компресор призначений для подачі стисненого повітря як енергоносії при будівельних роботах, авто-слюсарних роботах, в приводах систем автоматики, пневматичних машин і устаткування, тощо.

Типова компресорна станція складається з компресору, електричного двигуна та системи керування. В дипломній роботі використовуються асинхронний двигун, для керування яким застосовується частотний перетворювач, ПЛК, системи моніторингу та віддаленого керування.

Згідно з ПП 1.1.23-253-2004 «Примірна інструкція з охорони праці для машиніста компресорних установок» під час експлуатації компресора присутні такі основні небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

- термічні фактори;
- ураження електричним струмом;
- наявність у повітрі робочої зони шкідливих речовин;
- підвищені рівні шуму;
- травмування стисненим повітрям при його некерованому викиді.

Виходячи з умов приміщення лабораторії можна зробити висновок про те що при роботі за робочим стендом існує ризик виникнення наступних шкідливих факторів:

- термічні фактори, які можливі лише при істотних порушеннях в роботі компресора;
- ураження електричним струмом, яке можливе лише при грубому недотриманні техніки безпеки;
- травмування стисненим повітрям при його некерованому викиді, яке можливе лише при порушенні в роботі установки.

					ЕП.ПД.20.09.5.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Забруднення повітря виключено, оскільки перекачується атмосферне повітря, та в лабораторії відсутні легкозаймисті та вибухонебезпечні матеріали.

Шкідливий вплив підвищеного рівня шуму виключено, оскільки вся керуюча апаратура винесена в окреме приміщення, а компресор працює на ресивер, отже постійна присутність обслуговуючого персоналу не вимагається.

## **5.2 Заходи по усуненню шкідливих факторів**

Для усунення шкідливих факторів обслуговуючий персонал (машиніст) отримує спецодяг, спецвзуття та інші засоби захисту за встановленими нормами і зобов'язаний використовувати їх за призначенням:

- костюм бавовняний на 12 місяців;
- спецвзуття на 12 місяців;
- рукавиці комбіновані на 12 місяців.

Коллективним договором по підприємству може бути передбачена видача спецодягу та інших засобів індивідуального захисту понад встановлені норми.

Машиніст компресора зобов'язаний під час виконання своїх обов'язків дотримуватись правил особистої гігієни, зокрема:

- утримувати в чистоті і порядку робоче місце і інструмент;
- правильно користуватися санітарно-побутовими приміщеннями, спецодягом;
- перед прийманням їжі мити руки з милом;
- дотримуватися режиму праці і відпочинку.

Компресор має бути забезпеченим запобіжними клапанами і манометрами. Запобіжні клапани і манометри мають бути опломбовані і щороку повірятися метрологічним центром, на манометрі має стояти кругле клеймо.

Не дозволяється застосовувати манометри, в яких:

- відсутні-пломби або клеймо;
- прострочений строк повірки;

					ЕП.ПД.20.09.5.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

- стрілка у разі вимикання повертається до нульової позначки шкали на величину, що перевищує половину допустимої похибки для даного манометра;
- розбите скло, відсутня позначка оптимально-допустимого робочого тиску або є інші пошкодження, які можуть позначитись на правильності показань манометра.

## ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПЕРЕД ПОЧАТКОМ РОБОТИ

1. Одягнути та акуратно заправити спецодяг. Підготувати робоче місце. Прибрати всі сторонні предмети та матеріали, які непотрібні під час роботи.
2. Оглянути установку, перевірити наявність мастил, стан повітропроводів.
3. Якщо компресорна установка була зупинена за приписом то її пуск слід проводити з дозволу особи, яка видала припис.
4. Слід впевнитися що:
  - запобіжний клапан компресора обладнаний пристроєм для примусового його відкриття під час роботи компресора, відрегульований та має пломбу;
  - термометри для вимірювання температури стиснутого повітря встановлені в металеві гільзи та закручені різьбовим з'єднанням;
  - рухомі частини компресора мають захисні огорожі. Частини що обертаються - відбалансовані;
  - мастила, які застосовують в компресорах, відповідають вимогам заводу, який виготовував компресор..
5. Перевірити стан двигуна, наявність палива, мастил, охолоджувальної рідини, з'єднання двигуна та компресора. Під час обслуговування електрокомпресора перевірити справність заземлення електродвигуна, ізоляції провідників.
6. У разі виявлення несправності обладнання пристроїв, пристосувань, інструменту слід поставити до відома керівництво.

					ЕП.ПД.20.09.5.ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Запустити компресорну установку за допомогою двигуна, впевнитися в справності його роботи, відсутності сторонніх стуків, тощо.

2. Перевірити за манометром тиск повітря (на манометрі має бути нанесена червона мітка (риска) найбільш дозволеного тиску). Тиск повітря не повинен перевищувати дозволений тиск.

3. Перевірити роботу запобіжного клапана шляхом примусового його відкривання.

4. Контролювати роботу компресора та двигуна, якщо потрібно покинути робоче місце (туалет, обід, тощо) - зупинити компресор, вжити заходи до заборони пуску його сторонніми особами. Не дозволяється залишати працюючий компресор навіть на короткий час.

5. Не дозволяти обслуговування компресора сторонніми особами та їх знаходження на робочому місці

## ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ

1. Зупинити компресор (двигун), привести в порядок робоче місце, зібрати та протерти всі інструменти. Використані під час роботи обтиральні матеріали зібрати та винести в металевий ящик з кришкою.

2. Зняти спецодяг, почистити його та помістити в шафу для спецодягу. Старанно вимити руки, обличчя водою з милом або прийняти душ. Застосовувати для миття рук пальне не дозволяється.

3. Про всі виявлені під час роботи недоліки повідомити безпосереднє керівництво.

## ВИМОГИ БЕЗПЕКИ В АВАРІЙНИХ СИТУАЦІЯХ

1. Компресорна установка має бути негайно зупинена в таких випадках:

- нагрівання деяких частин компресора постійно збільшується та їх температура вище допустимої;
- якщо манометр показує тиск вище допустимого;
- якщо чути стуки, удари в двигуні чи компресорі, або виявлені неполадки, які можуть привести до аварії;

					ЕП.ПД.20.09.5.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

- у разі раптового зменшення або зупинці подачі охолоджувальної рідини (на компресорах з охолодженням);
- у разі збільшення температури стисненого повітря вище допустимої;
- якщо електроприлади показують на перевантаження електродвигуна;
- у разі несправності контрольно-вимірювальних приладів;
- у разі відсутності освітлення (в темну пору, в закритому приміщенні);
- у разі пожежі, аварії;
- у разі захворювання, нещасного випадку.

2. У разі виявлення на металевих частинах установки напруги (в електрокомпресорах) зупинити компресор, вимкнути електродвигун, повісити на пульт керування табличку з написом "Не вмикати - аварія" та повідомити про неполадки майстра або бригадира.

3. У разі нещасного випадку вжити всіх заходів для зупинки компресора.

4. У разі виникнення пожежі припинити роботу, вимкнути електрообладнання від електромережі повідомити про пожежу пожежну охорону і керівника робіт та приступити до ліквідації пожежі первинними засобами пожежогасіння, дотримуючись правил безпеки.

5. У разі нещасного випадку - звільнити потерпілого від дії травмуючого фактору та надати йому першу допомогу, у разі необхідності - викликати лікаря. Повідомити про нещасний випадок адміністрацію

5. Під час звільнення потерпілого від дії електроструму слідкувати за тим, щоб самому не потрапити під напругу, та не увійти в контакт з струмопровідними частинами.

6. У разі захворювання, отримання травми, виявлення несправностей обладнання, пристроїв, устаткування - повідомити про це безпосереднє керівництво та адміністрацію особисто або через працюючих.

					ЕП.ПД.20.09.5.ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 5.3 Протипожежний захист

Згідно правил пожежної безпеки України, до компресорних установок висуваються наступні вимоги:

1. Компресори повинні бути обладнані засобами аварійної сигналізації і блокування, які забезпечують безаварійну роботу. Система підключення вхідного газопроводу повинна виключати потрапляння вологи в компресор.

2. У приміщенні компресорної при несправній вентиляції робота компресора не допускається.

3. Забір повітря для повітряних компресорів повинен проводитися ззовні будівлі.

4. Для зменшення утворення нагару, повітря перед надходженням в компресор повинно очищатися від пилу на різних фільтрах: матер'яних, керамічних і іншого виконання.

5. Для запобігання самозаймання, нагріву і утворення масляних відкладень компресори, повітропроводи і збірники повітря необхідно періодично ретельно промивати 5% -м розчином каустичної соди. Повітропроводи і збірники повітря промивають також розчином технічного сульфанола, підігрітого до 50-90 ° С, протягом 3-6 годин.

6. Не допускається прокладати повітропровід поблизу джерел відкритого вогню або високих температур. Температура повітря в повітропроводах повинна бути нижче температури спалаху масла на 75 ° С.

7. Промивка деталей в бензині, гасі і інших ЛЗР в приміщенні компресорів не допускається.

8. Зберігання в компресорній мастильних матеріалів допускається в металевій шафі або в ящиках з щільно закритими кришками в кількостях не більше добової потреби.

9. Устаткування компресорної установки після ремонту, чистки і ревізії або заміни окремих відповідальних його вузлів і деталей перед здачею в експлуатацію повинно піддаватися спеціальній перевірці та контрольному

					ЕП.ПД.20.09.5.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

випробуванню відповідно до діючих правил та інструкцій по експлуатації, техніки безпеки і виробничої санітарії.

10. На всіх трубопроводах повинні бути нанесені стрілки, що вказують напрямок руху по ним повітря.

Оскільки досліджувана установка знаходиться у лабораторії кафедри, а отже є навчальним приміщенням, для яких протипожежний захист відображається в різноманітних законах, правилах та керівництвах (такі як будівельні норми і правила, тощо) і включає в себе заходи щодо:

- запобігання виникненню пожежі або поширення вогню в результаті пожежі або диму (превентивний протипожежний захист);
- забезпечення порятунку людей і тварин та ефективні роботи з гасіння пожежі (захисний протипожежний захист).

Превентивний протипожежний захист включає:

- Будівельний протипожежний захист;
- Технічний протипожежний захист;
- Організаційний протипожежний захист.

Які приймаються заздалегідь, щоб протидіяти виникненню та розповсюдженню пожеж та максимально обмежити наслідки.

Захисний протипожежний захист

Для успішної боротьби з пожежами необхідні заходи повинні бути проведені вміло та у правильному порядку. Це стосується, зокрема, заходів, які вживає пожежна служба.

Послідовність протипожежного захисту:

- Виявити вогонь: система пожежної сигналізації, особисте спостерігання;
- Повідомити про пожежу: кнопка пожежної тривоги, телефон;
- Допомогти, кому можливо: вивести людей з небезпечної зони;
- Боротьба з вогнем первинними засобами: використання переносних вогнегасників, тощо;

					ЕП.ПД.20.09.5.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56



- Боротьбу з вогнем розширеним засобом гасіння: організоване використання засобів пожежогасіння;
- Інструктувати пожежну команду: встановить на маршрути, дайте інформацію про хід пожежі;
- Локалізуйте вогонь: обмежити поширення вогню через використання засобів пожежної охорони;
- Боротьба з вогнем: розгортання пожежної команди до згасання пожежі;
- Встановити пожежну станцію: перевірити місце пожежі, боротися з вуглинами.

Якщо лише один із цих заходів не вдається, тобто ланцюг протипожежного захисту ламається, то гасіння пожеж значно ускладнюється або навіть починається пізно, що, як правило, призводить до загальної шкоди ураженій будівлі або всій системі.

Основні причини виникнення пожеж:

- порушення правил пожежної безпеки при проведенні зварювальних робіт;
- необережне поводження з відкритим вогнем;
- використання електроприладів кустарного виробництва (нагрівачі, подовжувачі мереж), кип'ятильників, електрокарників;
- порушення правил застосування та збереження легкозаймистих матеріалів;
- невідповідність «Правилам технічної експлуатації електроустановок» та робота справного електрообладнання, що може викликами коротке замикання і, як наслідок, пожежу.

#### 5.4 Розрахунок штучного освітлення виробничих приміщень

У даному пункті буде виконано розрахунок штучного освітлення лабораторії, в якій знаходиться досліджувана установка.

Розміри досліджуваної лабораторії:

					ЕП.ПД.20.09.5.ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Ширина приміщення – 10 м;

Довжина приміщення – 10 м;

Висота приміщення – 5 м;

Мета розрахунку: вибрати систему освітлення, джерело світла і світильник, визначити кількість світильників для забезпечення нормованої освітленості і розташувати їх на плані приміщення.

Вихідні дані: розміри і характеристика виробничого приміщення, характеристика зорової роботи для проектного технологічного процесу.

Розрахунок штучного освітлення виконується одним з наступних методів: коефіцієнта використання, питомої потужності чи крапковим.

При розрахунках освітлення будь-яким методом допускається відхилення розрахункової освітленості від нормованої не більше ніж на -10...20%.

Розрахунок освітлення методом коефіцієнта використання виконується по формулі:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta} \quad (5.1)$$

де  $\Phi$  - необхідний світловий потік ламп у кожному світильнику, лм;

$E = 150$  - нормована мінімальна освітленість, лк, відповідно до VI розряду зорової роботи, груба, розмір об'єкта більш 5 мм;

$k = 1,5$  - коефіцієнт запасу, вибираємо для приміщень суспільних і житлових будинків з газорозрядженими лампами;

$S = 100$  - освітлювана площа, м<sup>2</sup>;

$z = 1,1$  - коефіцієнт мінімальної освітленості для люмінесцентних ламп;

$N$  - число світильників у приміщенні;

$\eta$  - коефіцієнт використання світлового потоку.

При виборі джерела світла варто враховувати, що для освітлення виробничих приміщень перевагу варто віддавати газорозрядним лампам. Лампи накаливання варто встановлювати, якщо можливе зниження напруги більш ніж

					ЕП.ПД.20.09.5.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

на 10% від номінального. Можливе зниження температури навколишнього повітря менш + 10°C виключає застосування люмінесцентних ламп зі звичайними схемам запалювання.

Тип світильників, встановлюваних у виробничих приміщеннях, вибирається по технологічних умовах з урахуванням вимог до розподілу яскравості, за умовами середовища, за економічними показниками, а також з урахуванням естетичних вимог.

Коефіцієнт запасу вибирається в залежності від ступеня забруднення атмосфери виробничих приміщень пилом, димом, кіптявою і застосовуваним джерелом світла. Виходячи з того що досліджувана установка знаходиться у лабораторії, яка у свою чергу є навчальною аудиторією - приймемо коефіцієнт запасу в 1,5.

Розрахункова висота підвісу  $h$  світильників задається, як правило, розмірами приміщення. Найбільш вигідне співвідношення відстані між світильниками до розрахункової висоти підвісу:

$$\lambda = \frac{L}{h} \quad (5.2)$$

де,  $\lambda$  - співвідношення відстані між світильниками до розрахункової висоти підвісу;

$L$  - відстань між світильниками, м;

$h$  - розрахункова висота підвісу, м.

Типова крива сили світла приймається в залежності від типу світильника, обраного за ДСТ 13828-74 чи ДСТ 13828-68. Світильники, що випускаються за ДСТ 13828-68, в умовній позначці мають зашифровану буквою характеристику світло-розподілення.

Оскільки робочі місця відділені від стіни проходами відстань між крайніми світильниками і стіною вибирається наступним чином:

					ЕП.ПД.20.09.5.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

$$l = (0,4 - 0,5)L \quad (5.3)$$

Розрахункова висота підвісу визначається:

$$h = H - h_{\text{св}} - h_{\text{рп}} = 5 - 0,2 - 0,8 = 4 \text{ м} \quad (5.4)$$

де,  $H = 5$  м - висота приміщення;

$h_{\text{св}} = 0,2$  м- висота звису світильника (від перекриття);

$h_{\text{рп}} = 0,8$  м- висота робочої поверхні над підлогою.

Для світильників з люмінесцентними лампами визначення їх кількості виконується в наступній послідовності:

Відстань між рядами світильників, м:

$$L_p = \lambda h = 1,4 \cdot 4 = 5,6 \quad (5.5)$$

де,  $\lambda = 1,4$  - співвідношення відстані між світильниками до розрахункової висоти підвісу, береться з таблиці для люмінесцентних ламп з типовою кривою Д;

Користуючись формулою (5.3) визначимо відстань між крайнім світильником та стіною:

$$l = 0,5 \cdot 2,4 = 1,2$$

Кількість рядів світильників, виходячи з розмірів приміщення приймаємо

$$N_p = \frac{A}{L_p} = \frac{10}{5,6} \approx 2 \quad (5.6)$$

де  $A$  - довжина(ширина) приміщення, м.

Кількість світильників у ряді:

					ЕП.ПД.20.09.5.ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{\text{ср}} = \frac{A-l_c}{l_c} = \frac{10-1,265}{1,265} \approx 7 \quad (5.7)$$

де,  $l_c = 1,265$  м - довжина світильника для суспільних будинків.

Загальна кількість світильників:

$$N = N_p N_{\text{ср}} = 2 \cdot 7 = 14 \quad (5.7)$$

Для визначення коефіцієнта використання  $\eta$  знаходять індекс приміщення:

$$i = \frac{AB}{h(A+B)} = \frac{10 \cdot 10}{5(10+10)} = 1$$

По даним таблиці оцінюються коефіцієнти відображення поверхонь приміщення: стелі -  $\rho_{\text{п}} = 70\%$ , стін -  $\rho_{\text{с}} = 50\%$ , робочої поверхні чи підлоги -  $\rho_{\text{р}} = 30\%$ .

За отриманим значенням  $i$  та  $\rho$  визначаємо величину коефіцієнта використання світлового потоку  $\eta$  для обраного світильника,  $\eta = 34\%$ .

По формулі (5.1) визначають необхідний світловий потік ламп у кожному світильнику і вибирають необхідну лампу:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 100 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{14 \cdot 0,34} = 5200 \text{ лм}$$

					ЕП.ПД.20.09.5.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		61

Обираємо лампу ЛБ80-4:

Таблиця 5.1

Номінальні дані лампи ЛБ80-4

Тип лампи	Потужність, Вт	Напруга на лампі, В	Світловий потік, лм, після 100 ч горіння		
			номінальний	мінімальний	розрахун- ковий
ЛБ80-4	80	102	5220	4695	4960

### 5.5 Висновки

У даному розділі були приведені шкідливі та небезпечні фактори, що можуть виникнути під час роботи з компресорами, та в лабораторії в загалі. Розглянуті заходи щодо усунення шкідливих та небезпечних факторів, та пожежної безпеки. Приведені засоби протипожежної безпеки та ланцюг дій під час пожежі. Перераховані можливі причини пожеж.

Проведено розрахунки штучного освітлення лабораторії. Виявлено що для створення штучного освітлення необхідно використовувати лампи типу ЛБ80-4, які забезпечують світловий потік 5200 лм. Загальна кількість світильників, які необхідно використати, становить 14 шт.

					ЕП.ПД.20.09.5.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

# ВИСНОВКИ

					ЕП.ПД.20.09.В.ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

Задачею дипломного проекту була розробка електроприводу компресору задля модернізації установки імпульсної очистки фільтрів, що планується для реалізації на базі кафедри електроприводу Національного Технічного Університету «Дніпровська Політехніка», користуючись досвідом проектування і дослідження лабораторної установки на базі кафедри „Інженерії екологічних та енергетичних процесів” Австрійського Монтануніверситету (м. Леобен), задля поліпшення її енергоощадності та ефективності.

Для вирішення поставленого завдання в проекті виконано аналіз технологічної установки, існуючих типів компресорів, вивчена конструкція поршневого компресору та сформовані вимоги до електроприводу. Отримані відомості використанні для розрахунку потужності електродвигуна та вибору відповідних двигуна з каталогу асинхронних двигунів загального призначення серії 4А та перетворювача частоти Altivar Process ATV600 французької фірми Schneider Electric.

Виходячи з вимог установки та параметрів обраного устаткування здійснено вибір та розрахунок системи керування, правильність якої перевірена за допомогою моделювання засобами середовища Simulink. Дослідження виконувалось в наступних режимах: пуск двигуна, робота на номінальній частоті обертання, зниження частоти обертання на 30%, припинення роботи компресора. В результаті якого зроблено висновок, що побудована система відповідає перерахованим вимогам.

В проекті також вирішувались задачі техніко-економічного обґрунтування та охорони праці. В техніко-економічному обґрунтуванні виконано розрахунок капітальних і експлуатаційних затрат на реалізацію проекту. В розділі охорони праці були вивчені небезпечні та шкідливі фактори, що виникають під час роботи з установкою, запропоновані методи їх усунення, приведені відомості щодо протипожежної безпеки та виконаний розрахунок освітлення в лабораторії.

					ЕП.ПД.20.09.В.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Lehrstuhl für Verfahrenstechnik des industriellen Umweltschutzes // Montanuniversitaet Leoben - <https://www.vtiu-unileoben.at/en/>
2. Applied measure and control technology laboratory course - [https://online.unileoben.ac.at/mu\\_online/wbLv.wbShowLVDetail?pStpSpNr=3198587](https://online.unileoben.ac.at/mu_online/wbLv.wbShowLVDetail?pStpSpNr=3198587)
3. Очистка воздуха в компрессорных и газотурбинных установках - <http://folter.com.ua/docs/gas%20turbine.pdf>
4. Стельмах И. В. Автоматизация процесса очистки фильтров станочных гидроприводов на базе электрогидравлического импульсного устройства // Вестник СГТУ. 2008. №1. <https://cyberleninka.ru/article/v/avtomatizatsiya-prtsessa-ochistki-filtrov-stanochnyh-gidroprivodov-na-baze-elektrogidravlicheskogo-impulsnogo-ustroystva>
5. Холодильные машины и холодильные установки. примеры проектирования холодильных центров - [https://www.hvac-school.ru/vestnik\\_ano/vestnik\\_ano\\_ukc\\_universitet\\_33/holodilnie\\_mashini\\_holodilnie\\_3/](https://www.hvac-school.ru/vestnik_ano/vestnik_ano_ukc_universitet_33/holodilnie_mashini_holodilnie_3/)
6. Расчет компрессоров. Подбор компрессорного оборудования - [https://intech-gmbh.ru/compr\\_calculation\\_and\\_selection/](https://intech-gmbh.ru/compr_calculation_and_selection/)
7. Михайлов, А. К.. Компрессорные машины [Текст]: учебник/ А. К. Михайлов, В. П. Ворошилов - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 288 с.
8. Поршневые компрессоры. Работа и принцип действия - [https://intech-gmbh.ru/piston\\_compr/#tech\\_params](https://intech-gmbh.ru/piston_compr/#tech_params)
9. Поршневые компрессоры. Устройство, виды, характеристики поршневого компрессора - [https://eti.su/articles/spravochnik/spravochnik\\_1718.html](https://eti.su/articles/spravochnik/spravochnik_1718.html)
10. Поршневые компрессоры - <https://www.repair.dp.ua/2073-2/>

					ЕП.ПД.20.09.В.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

11. Пластинин П.И. Поршневые компрессоры. Том 2. Основы проектирования. Конструкции 3-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2008. - 711 с.
12. Морозюк Л.І., / Проектування поршневого компресора холодильних машин і теплових насосів: посібник до виконання курсового проекту / Соколовська В.В, Єрін В.О., Гайдук С.В. - Одеська національна академія харчових технологій, 2015. – 96 с.
13. В.Л. Юша / Теория, расчёт и конструирование поршневых компрессоров: Учебное пособие по курсовому проектированию / – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. – 120 с.
14. Как выбрать электродвигатель - <https://tehprivod.ru/poleznaya-informatsiya/vybor-elektroprivodov/>
15. Выбор электродвигателя для компрессора - <https://tehprivod.ru/poleznaya-informatsiya/vybor-elektroprivodov-dlya-kompressora.html>
16. А.Э. Кравчик / Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / М.М. Шлаф, В.И. Афонии, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
17. Altivar Process. ATV630, ATV650. Каталог 2015 (рус.) - [http://elprivod.nmu.org.ua/ua/student/techdoc/pch/Katalog\\_ATV630-650\\_2015-03.pdf](http://elprivod.nmu.org.ua/ua/student/techdoc/pch/Katalog_ATV630-650_2015-03.pdf)
18. Altivar Process. ATV630, ATV650. Посібник з встановлення 2015 (рус.) - [http://elprivod.nmu.org.ua/ua/student/techdoc/pch/ATVProcess\\_installation\\_guide\\_2015\\_ru.pdf](http://elprivod.nmu.org.ua/ua/student/techdoc/pch/ATVProcess_installation_guide_2015_ru.pdf)
19. Терехов В. М. Системы управления электроприводов : учебник для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Терехов, о. И. Осипов; под ред. В. М. Терехова. - 2-е Изд., стер. - М. : Издательский центр «Академия», 2006. - 304 с.
20. ТМ Мотор URL: <https://tmmotor.ua/ru/air-160m6-im-1081/p263> (дата звернення 25.05.2020)
21. Schneider Electric URL: <https://www.se.com/ua/ru/product/ATV630D15N4/%D0%BF%D1%80%D0>

					ЕП.ПД.20.09.В.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		66

<http://www.nerc.gov.ua/?id=19526>  
[https://dnaop.com/html/33331/doc-%D0%9F%D0%86\\_1.1.23-253-2004](https://dnaop.com/html/33331/doc-%D0%9F%D0%86_1.1.23-253-2004)  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15>  
<https://asi.unileoben.ac.at/en/2600/>  
<http://www.nerc.gov.ua/?id=19526>

(дата звернення 25.05.2020)

22. НКРЕКП URL: <http://www.nerc.gov.ua/?id=19526> (дата звернення 25.05.2020)

23. ПІ 1.1.23-253-2004. Примірна інструкція з охорони праці для машиніста компресорних установок - [https://dnaop.com/html/33331/doc-%D0%9F%D0%86\\_1.1.23-253-2004](https://dnaop.com/html/33331/doc-%D0%9F%D0%86_1.1.23-253-2004)

24. «Правила улаштування електроустановок», Міненерговугілля України, Київ 2017

25. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні - <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15>

26. BRANDSCHUTZ - <https://asi.unileoben.ac.at/en/2600/>

27. Охорона Праці. Методичні Вказівки до Виконання Розділу «Охорона Праці та Безпека в Надзвичайних Ситуаціях» В Дипломних Проектах (Роботах), Дніпропетровськ Державний ВНЗ «НГУ» 2011

28. О.М. Роянов, «Пожежна безпека виробництв», Харків 2016

29. Experience of pneumo-pulse cleaning automatic control system development for vacuum devices, S. K. Shykhov, V.A. Boroday, 2nd International Scientific and Technical Internet Conference “Innovative Development of Resource-Saving Technologies of Mineral Mining and Processing”. Book of Abstracts. - Petroșani, Romania: UNIVERSITAS Publishing, 2019. - 220 p.

					ЕП.ПД.20.09.В.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		67

## ДОДАТОК А

		Позначення	Найменування	Кількість листів
1			Документація	
2	A4	ЕП.ПД.20.09.ПЗ	Пояснювальна записка	69
3			Демонстраційні матеріали	
4			Презентація	13

					ЕП.ПД.20.09.Д.ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТОК Б



# CERTIFICATE OF PARTICIPATION



This certificate is presented to

**STANISLAV SHYKHOV**

**DNIPRO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, UKRAINE**

*for attending*

the 2nd International Scientific Conference “Innovative Development of  
Resource-Saving Technologies of Mineral Mining and Processing”

Petroșani, Romania on November 15, 2019



Rector University of Petroșani,  
Romania Ph.D. Professor  
*Sorin-Mihai RADU*



Rector Kryvyi Rih National University,  
Ukraine DrSc (Engineering), Professor  
*Mykola STUPNIK*

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.20.09.Д.ПЗ

Арк.

69

Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет "Дніпровська політехніка"

ПОДАННЯ  
ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ  
ВІДОМОСТЕЙ ДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Направляється студент(ка) Шихов С.К. до захисту кваліфікаційної роботи за напрямом підготовки 6.141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка на тему: Автоматична система імпульсної очистки фільтрів вакуумних приладів із детальною розробкою електропривода компресора.

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Декан факультету (директор інституту) Іванов О.Б. \_\_\_\_\_

(підпис)

**Довідка про успішність**

Шихов С.К. за період навчання в університеті, на факультеті Електротехнічному з 2016 р. до 2020 р. повністю виконав (ла) освітню програму за напрямом з таким розподілом оцінок за інституційною шкалою: відмінно - 94.00 %, добре - 6.00 %, задовільно - 0.00 %.

Секретар факультету \_\_\_\_\_

**Висновок керівника**

(зазначається відповідність змісту роботи, вимогам до рівня вищої освіти за НРК та компетентностям освітньої програми, оцінка виконання завдання)

Студент(ка) Шихов С.К. \_\_\_\_\_

Виконав дипломний проект у повному обсязі та у відповідності із завданням.  
Рекомендована оцінка проекту 100 балів (відмінно).

Керівник\_проекту (роботи) \_\_\_\_\_ доц. Бородай В.А.  
" \_09\_ " \_\_\_06\_\_\_2020 року

**Висновок кафедри про кваліфікаційну роботу**

Кваліфікаційну роботу розглянуто. Студент(ка) Шихов С.К. допускається до захисту цієї роботи в екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри Електропривода

к.т.н., професор Казачковський М.М.

\_\_\_\_\_ (підпис)  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2020 року

Сформовано в ІАС "Деканат" 09.06.2020р. 8:39:19

					ЕП.ПД.20.09.Д.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

## Відгук

на дипломний проект "Автоматична система імпульсної очистки фільтрів вакуумних приладів з детальною розробкою електропривода компресора". Виконавець ст. гр. 141-16-5 Шихов Станіслав Кирилович.

Метою дипломного проекту є модернізація система імпульсної очистки фільтрів вакуумних приладів шляхом заміни накопичувальної пневматичної системи на компресорну станцію із ефективним керуванням її приводу. Реконструкція такого типу є безперечно актуальною оскільки дозволить поряд із підвищенням продуктивності здійснювати економію енергоресурсу.

Пояснювальна записка дипломного проекту становить 69 сторінок і складається із вступу, 5 розділів, висновків, переліку використаної літератури та двох додатків. Графічна частина проекту представлена у вигляді презентації на 13 слайдів.

Виконаний дипломний проект містить достатню обґрунтованість та базуються на класичних методах теорії електроприводу, електричних машин і теорії автоматичного керування. Студент Шихов С.К. показав володіння сучасними інженерними методиками, що підтверджує рівень його загальної та професійної підготовки.

Робота носить дослідницький характер, а її матеріали апробовані на міжнародній конференції, що підтверджено сертифікатом.

### Недоліки дипломного проекту

1. У тексті роботи виявлені незначні відхилення щодо норм оформлення робіт бакалаврського рівня.
2. Розділ динаміка електропривода містить графіки дослідження перехідних процесів, де відсутні маркування осей системи координат.

### Висновок

Дипломний проект Шихова С.К. виконано на достатньо професійному рівні. Проектні рішення прийняті самостійно та кваліфіковано. Зміст роботи відповідає вимогам рівня підготовки "бакалавр" зі спеціальності «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Оцінки за розділами:

Охорони праці – " " балів;

Економіка – " " балів.

Вважаю, що дипломний проект заслуговує на оцінку "відмінно" (100 балів), а її автор Шихов С.К. на присвоєння йому кваліфікації бакалавра з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

09.06.2020 р.

Керівник проекту  
доцент каф. електропривода

В.А. Бородай

					ЕП.ПД.20.09.Д.ПЗ	Арк.
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Рецензія

на дипломний проект "Автоматична система імпульсної очистки фільтрів вакуумних приладів з детальною розробкою електропривода компресора". Виконавець ст. гр. 141-16-5 Шихов Станіслав Кирилович.

Тема дипломного проекту студента Шихова С.К. безумовно є актуальною оскільки торкається питання енергозбереження та енергоефективності. Поставлене питання щодо енергощадності вирішується шляхом використання сучасних систем частотного електропривода, що відповідає світовим трендам на теперішній час.

Пояснювальна записка дипломного проекту становить 69 сторінок і складається із вступу, 5 розділів, висновків, переліку використаної літератури та двох додатків. Графічна частина проекту представлена презентацією на 13 слайдів, які ілюструють основні положення роботи.

Матеріал дипломного проекту викладено логічно і аргументовано. Роботу виконано із застосуванням сучасних методів інженерних розрахунків. Загальний рівень проекту відображає достатню професійну підготовку ст. Шихова С.К.

### Недоліки дипломного проекту

1. Пояснювальна записка в частині 1, 3 розділів не містить посилань на використану літературу.
2. У тексті роботи помічені деякі неточності щодо оформлення роботи.

### Висновок

Дипломний проект ст. гр. 141-16-5 Шихова С.К. виконано на достатньо професійному рівні. Інженерні рішення, що прийняті у проекті зроблені кваліфіковано. Зміст роботи відповідає вимогам рівня підготовки "бакалавр".

Загальна оцінка дипломного проекту "відмінно" 100 балів, а студент Шихов С.К. заслуговує на присвоєння йому кваліфікації бакалавра з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

09.06.20 р.

Рецензент дипломного проекту,  
Старший викладач каф. СЕП

О.Р. Ковальов

					ЕП.ПД.20.09.Д.ПЗ	Арк.
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		





					ЕП.ПД.20.09.Д.ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73