

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики

(інститут)

Електротехнічний факультет

(факультет)

Кафедра електропривода

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студента Супруна Євгенія Олеговича

(ПІБ)

академічної групи 141-16-5

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації¹ Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Система віддаленого керування та моніторингу компресорною станцією з використанням технології WebHMI

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Азюковський О.О.			
розділів:				
Спеціальна частина	Азюковський О.О.			
Охорона праці	Столбченко О. В.			
Техніко-економічне обґрунтування	Тимошенко Л.В.			
Рецензент	Ципленков Д.В.			
Нормоконтролер	Казачковський М.М.			

Дніпро
2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувач кафедри
електропривода

(повна назва)

(підпис)

Казачковський М.М.

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу

ступеня бакалавра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

студенту Супрун Є.О. академічної групи 141-16-5
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації¹ Електромеханічні системи автоматизації та електропривод

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему Система віддаленого керування та моніторингу компресорною станцією з використанням технології WebHMI,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 12.05.2020 № 258-С

Розділ	Зміст	Термін виконання
1. Технологічна частина	Аналіз основних параметрів, конструкції, робочого циклу та способів керування компресорами.	02.02-05.06
2. Автоматизований електропривод	Аналіз компресорної установки, формування вимог до електропривода, вибір складових електропривода, системи керування.	
3. Дослідження динаміки електропривода	Моделювання роботи електропривода в Matlab Simulink, дослідження перехідних процесів.	
4. Охорона праці	Аналіз шкідливих факторів, пов'язаних із роботою компресорної установки, способи мінімізації їх впливу. Пожежна профілактика. Розрахунок освітленості приміщення.	15.05-22.05
5. Техніко-економічне обґрунтування	Оцінка капітальних та експлуатаційних витрат.	22.05-29.05

Завдання видано

(підпис керівника)

Азюковський О.О.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

Дата подання до екзаменаційної комісії

Прийнято до виконання

(підпис студента)

Супрун Є.О.

(прізвище, ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка: стор.85, рис. 28, табл. 19, джерел 25.

Об'єкт дипломної роботи: електропривод лабораторної компресорної станції.

Мета роботи: інтеграція контролера WebHMI в існуючу систему електропривода лабораторної компресорної станції.

В даній дипломній роботі розглянуто принциповий робочий цикл компресора поршневого типу, конструктивне виконання та способи керування компресорними машинами.

Здійснено вибір приводного двигуна (AIP63B4Y2), перетворювача частоти (Altivar 312), датчику тиску (OsiSense XML-F), комутаційної апаратури для лабораторної компресорної станції. Розглянуто можливості контролера WebHMI та його зв'язок із системою керування.

Проведено дослідження динаміки електропривода.

Розглянуто шкідливі чинники, пов'язані із роботою компресорної станції, запропоновані інженерно-технічні заходи з їх мінімізації. Розглянуто пожежну профілактику та виконаний розрахунок освітленості навчальної аудиторії, у якій розміщено лабораторну компресорну станцію.

Проведено розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат для реалізації даної дипломної роботи.

КОМПРЕСОРНА СТАНЦІЯ, WEBHMI, ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ,
РЕГУЛЬОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, WEB-ІНТЕРФЕЙС

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

Abstract

The present explanatory note consists of: pages 85, figures 28, tables 19, sources 25.

Object of the bachelor thesis is: an electric drive of the laboratory compressor station.

The aim is: to integrate the WebHMI controller into operating electric drive system of the laboratory compressor station.

This paper considers principal duty cycle of a piston compressor, construction and control methods.

For the compressor station induction motor (АИР63В4У2), frequency controller (Altivar 312), pressure transmitter (OsiSense XML-F) and switching devices are chosen. Also, the controller and its communication variables are described.

Dynamics of electric drive is considered.

There is description of harmful and dangerous factors related with the operation of the station. Ways of reduction of the factors and fire-prevention methods are proposed. Illumination calculation is performed.

Capital and operation expenses are estimated.

COMPRESSOR STATION, WEBHMI, REMOTE CONTROL, VARIABLE SPEED
ELECTRIC DRIVE, WEB-INTERFACE

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

Зміст

РЕФЕРАТ	3
ВСТУП	7
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Основні параметри, класифікація, сфера використання	9
1.2 Особливості конструкції та принцип роботи мембранного компресора	11
1.3 Робочий цикл компресора, індикаторна діаграма	14
1.4 Способи керування	17
Висновки	21
2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД	22
2.1 Компресорна установка та вимоги до електропривода	23
2.2 Вибір складових комплектного електропривода	27
2.3 Система віддаленого керування WebHMI	38
Висновки	48
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА	49
3.1 Визначення параметрів моделі	50
3.2 Результати моделювання	52
Висновки	55
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	56
Вступ	57
4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників технологічного процесу	58
4.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці	60
4.3 Пожежна профілактика	62
4.4 Розрахунок штучного освітлення	64
Висновки	68
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	69
Вступ	70
5.1 Розрахунок капітальних витрат	71

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		5

5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	75
Висновки	78
ВИСНОВКИ	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	82

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>6</i>

Вступ

Виробничий процес багатьох промислових галузей вимагає використання енергії стислого повітря. Так, якість продукції та ефективність виробництва певною мірою залежить від раціонального керування приводами джерел стислого повітря — компресорних машин.

В даній дипломній роботі об'єктом дослідження є лабораторний стенд компресорної станції, що знаходиться у навчальному центрі Schneider Electric (5/34) кафедри електропривода НТУ “Дніпровська Політехніка”. Стенд надає можливість імітувати роботу компресорної установки як загальнопромислового, так і спеціального призначення.

З іншого боку, однією з визначних тенденцій розвитку світової промисловості є запровадження у виробництво систем віддаленого керування та SCADA-систем. В свою чергу це дозволяє підвищити як загальний рівень автоматизації, так і стабільність роботи інформаційних систем виробництва, прискорити обмін інформації між ланками керування та виконавчими механізмами.

Одним із способів реалізації функцій віддаленого керування і моніторингу є використання контролера WebHMI, що забезпечує двонаправлений інформаційний зв'язок між користувачем та обладнанням як по локальній мережі, так і через мережу інтернет.

Таким чином, в даній дипломній роботі розглядається інтеграція контролера WebHMI в систему електропривода лабораторної компресорної станції.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

Перв. примен.

Справ. №

Підп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. інв №

Підп. и дата

Инв. № підл.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Розроб.	Супрун Є.О.			
Перев.	Азюковський			
Т.				
Н.	Казачковський			
Затв.				

--	--	--

--

--

Технологічна частина

Літ.	Арк.	Аркушів
Т		

141-16-5

Розділ 1

Технологічна частина

1.1 Основні параметри, класифікація, сфера використання

Виробничий процес промислових підприємств різних галузей певною мірою базується на використанні енергії стислого повітря, що створюється компресорними станціями.

Компресор — машина, призначена для підвищення тиску та переміщення газоподібних речовин з області низького тиску в область високого тиску.

Основними параметрами, що характеризують роботу компресора, є:

- Робочий тиск
- Продуктивність
- Ступінь підвищення тиску

Робочий тиск — це параметр, що визначає кінцевий тиск компресора, тобто тиск, який створюється і підтримується у ресивері або подається до споживачів. Іноді робочий тиск розділяють на абсолютний та надлишковий, значення котрих відрізняється на величину атмосферного тиску:

$$P_{\text{над}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{атм}}, \quad (1.1)$$

де $P_{\text{над}}$ — надлишковий тиск, $P_{\text{абс}}$ — абсолютний тиск,

$P_{\text{атм}}$ — атмосферний тиск.

Продуктивність — це параметр, що визначає який об'єм газу компресор здатний стиснути за одиницю часу. Величину продуктивності розрізняють як для сторони всмоктування, так і для сторони нагнітання. Продуктивність зі сторони лінії всмоктування завжди зазначається за нормальних умов — температури 20°C (іноді 0°C), тиску 760 мм. рт. ст. та відносній вологості 0%. Здебільшого продуктивність визначається конструкцією та типом компресора.

Ступінь підвищення тиску — це параметр, що визначає в скільки разів було підвищено тиск. Параметр використовується для порівняння компресорних машин різних типів та конструкцій адже залежить від багатьох факторів — типу привода, умов експлуатації тощо. Розраховується як відношення тиску нагнітання до тиску всмоктування:

$$\varepsilon = P_2/P_1, \quad (1.2)$$

де P_2 — тиск нагнітання, P_1 — тиск всмоктування.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
						9
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Класифікація компресорів відповідно до основних параметрів зведена до таблиці 1.1.

За принципом дії компресорні машини поділяються на дві групи — об'ємної та динамічної дії.

Підвищення тиску компресорами першої групи досягається за рахунок зменшення об'єму газу в робочій камері. До цього типу відносять поршневі, спіральні, гвинтові та роторні компресори.

До другої групи відносять відцентрові та осьові компресори, що мають загальну назву турбокомпресори. Підвищення тиску компресорами другої групи досягається за рахунок перетворення кінетичної енергії, що надається газу, в потенційну енергію тиску.

Приблизні значення основних параметрів для компресорів різних типів зведено до таблиці 1.2.

Таблиця 1.1 Класифікація компресорів за основними параметрами

Параметр	Класифікація
Робочий тиск, МПа	Надвисокий тиск (>100)
	Високий тиск (10-100)
	Середній тиск (1.2-10)
	Низький тиск (0.15-1.2)
	Вакуумний компресор (<0.15)
—	—
Продуктивність, м ³ /хв	Велика продуктивність (>100)
	Середня продуктивність (10-100)
	Мала продуктивність (<10)

Таблиця 1.2 Основні параметри компресорів різних типів

Тип	Продуктивність, м ³ /хв	Ступінь підвищення тиску
Поршневі	0 — 500	2.5 — 1000
Роторні	0 — 500	3 — 12
Відцентрові	100 — 4000	3 — 20
Осьові	100 — 15000	2 — 20

Відповідно до конструктивного виконання та основних параметрів компресори застосовуються для виконання наступних функцій:

- подача газу до печей, машин, апаратів для технологічної обробки, згорання, інтенсифікації технологічних процесів (переробка нафти та нафтопродуктів).
- Переміщення газу (збір природного газу з “слабких” свердловин і подальше транспортування магістральними газопроводами).
- Акумулявання газу (живлення пневматичних систем, підземне збереження, підтримки та відновлення пластового тиску, випробування на міцність та щільність тощо).
- Видалення газу (створення вакууму, вентиляція, видалення продуктів згорання).
- Створення потоку газу (теплопередача, витяг рідини із свердловин).

Сфера застосування компресорних машин охоплює такі виробничі галузі: машинобудування, медицина, фармацевтика, металургія, нафтохімічна, харчова та гірничо-промисловість.

1.2 Особливості конструкції та принцип роботи мембранного компресора

Мембранний компресор за конструкцією і принципом дії відноситься до поршневих компресорів, тобто компресорних машин об’ємного типу.

До ключових конструктивних елементів відносять робочу порожнину або циліндр, поршень, клапани всмоктування та нагнітання, що розміщуються зазвичай на кришці циліндра.

В ролі поршня виступає кругла гнучка мембрана, що стиснута по периметру між кришкою та циліндром і приводиться у коливальний рух кривошипно-шатунним механізмом з колінчатим валом.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
						11
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

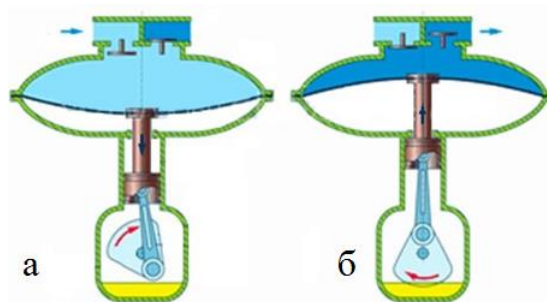


Рисунок 1.1 — Фази роботи компресора: а – фаза всмоктування, б – фаза нагнітання.

Розглянемо робочий цикл мембранного компресора. Припустимо, що мембрана знаходилася у крайньому верхньому положенні і починає зворотний рух.

Із збільшенням об'єму, обмеженого клапанами та мембраною, відбувається процес розрідження. Відкриття клапана всмоктування відбувається, коли атмосферне повітря подолає опір пружини, що закриває клапан, після чого повітря поступає в робочу порожнину компресора. Відрізок часу від відкриття до закриття всмоктуючого клапана відповідає фазі всмоктування (рис. 1.1, а).

Із досягненням крайнього нижнього положення мембрана починає зворотній рух, що призводить до стискання повітря в циліндрі. Нагнітальний клапан під дією повітря високого тиску відкривається, після чого стисле повітря поступає до нагнітального патрубку. Відрізок часу від відкриття до закриття нагнітального клапана відповідає фазі нагнітання (рис.1.1, б).

Принципова конструкція мембранного компресора представлена на рис. 1.2. Мембрана 1 прикріплена в центрі до штоку 2, що має зворотно-поступальний рух від ексцентрика 3, розміщеного на корінному валу компресора. Мембрана защемлена таким чином, що між нею та кришкою утворюється герметична порожнина стискання, що повністю ізолювана від механічного руху. Мاستило з картера 6 може потрапити в камеру стискання тільки у разі пошкодження мембрани. Газ поступає в камеру стискання через всмоктуючий клапан 4, а стиснутий газ подається до лінії нагнітання через нагнітальний клапан 5.

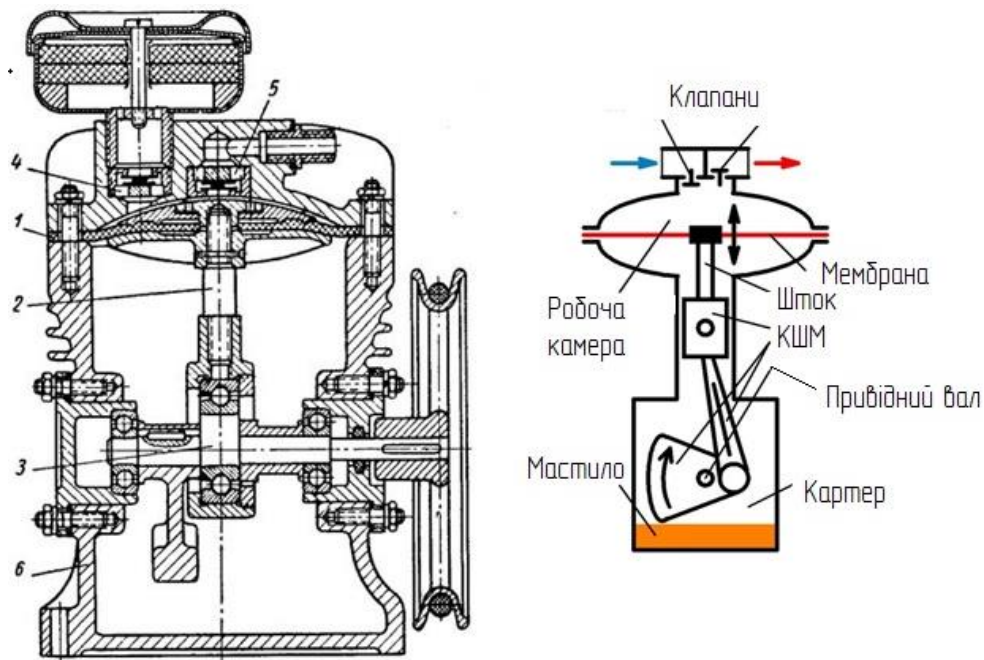


Рисунок 1.2 — Конструктивне виконання та схематичне зображення мембранного компресора.

Мембранні компресори подібної конструкції призначені для стискання малих об'ємів газу до невеликого тиску — кінцевий тиск певною мірою залежить від матеріалу мембрани, зазвичай він не перевищує 2 кгс/см^2 .

Мембрана повинна витримувати велику кількість циклів навантаження за відносно великих прогинів, найчастіше для її виготовлення використовують резину, прорезинену тканину або силікон. Під час виробництва компресорів до мембран висувають жорсткі вимоги стосовно щільності та відсутності механічних ушкоджень; для збільшення терміну використання та підвищення герметичності виготовляють багатошарові мембрани.

Основною перевагою мембранних компресорів є герметичність відносно навколишнього середовища та збереження якості робочого газу — ступінь витоку газу складає приблизно $4 - 10 \text{ мбар/сек}$.

Недоліком слід вважати швидкий знос мембрани. Також, стисле повітря поступає імпульсами, а не безперервним потоком.

Таким чином, мембранні компресори можуть бути застосовані на виробництвах, де технологічний процес передбачає роботу з токсичними, інертними газами.

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.

Арк.

13

1.3 Робочий цикл компресора, індикаторна діаграма

Робочий цикл компресора зручно аналізувати за допомогою індикаторної діаграми в $P - V$ координатах — залежності зміни тиску від об'єму робочої порожнини під час робочого циклу компресора. Діаграма є замкненою, її площа пропорційна виконаній роботі. Індикаторна діаграма ідеального компресора представлена на рис. 1.3.

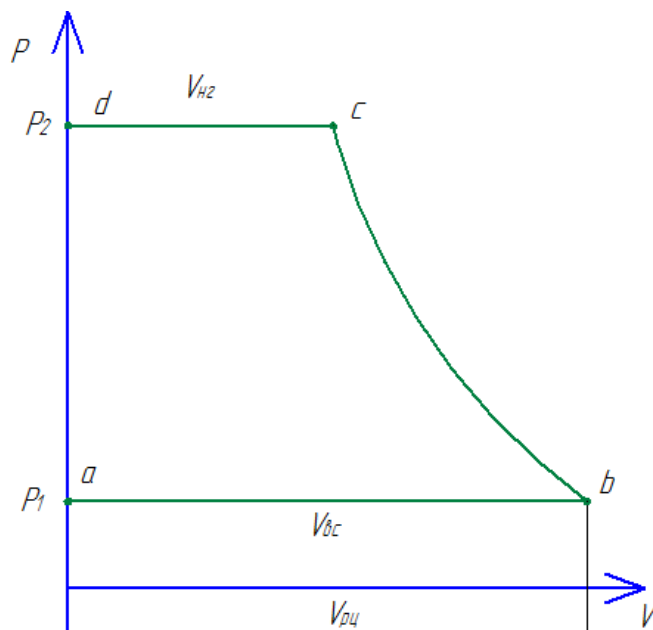


Рис.1.3 — Індикаторна діаграма робочого циклу ідеального компресора.

У точці a відкривається всмоктуючий клапан. Процес всмоктування $a-b$ починається з положення мембрани у верхній мертвій точці (ВМТ) і завершується досягненням мембраною нижньої мертвої точки (НМТ). Протягом цього відрізка часу тиск залишається незмінним, а газ переміщується з порожнини всмоктуючого патрубку до робочої камери; заповнений у цей проміжок часу об'єм має назву об'єм всмоктування V_{bc} . Для ідеального компресора об'єм всмоктування дорівнює об'єму робочої порожнини.

У точці b всмоктуючий клапан закривається. Відрізок $b-c$ відповідає процесу стисання, під час котрого тиск в робочій порожнині підвищується від тиску всмоктування P_1 до тиску нагнітання P_2 , а об'єм газу робочої порожнини V_{bc} стискається до об'єму нагнітання V_{ng} .

У точці c відкривається нагнітальний клапан. Відрізок $c-d$ відповідає процесу нагнітання, що перебігає за постійного тиску. Газ, стиснений до об'єму

нагнітання $V_{нг}$, поступає до нагнітального патрубку. У точці d нагнітальний клапан закривається і процес нагнітання завершується.

Якщо взяти до уваги те, що в ідеальному компресорі відсутній шкідливий простір (“мертвий” об’єм), то індикаторна діаграма примикає до осі ординат. На відрізку $d-a$ тиск миттєво падає від тиску нагнітання до тиску всмоктування. Робочий цикл завершується.

Індикаторна діаграма реального компресора приведена на рис.1.4 .

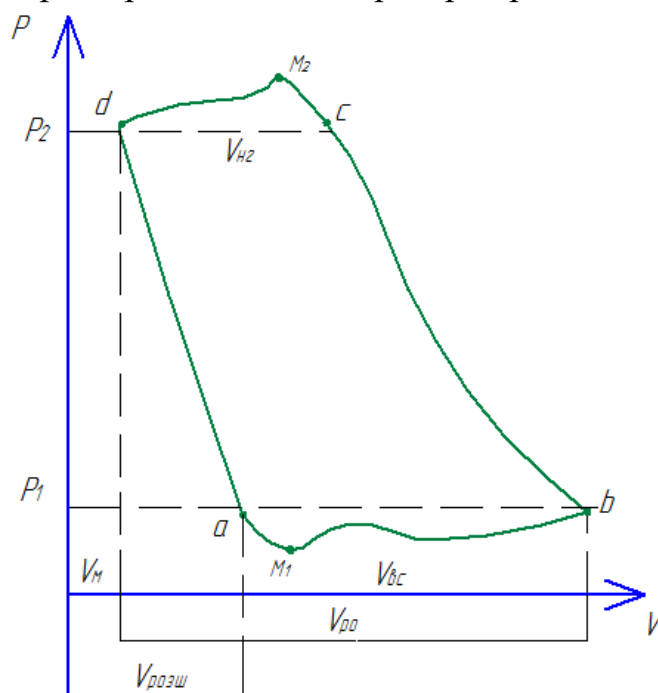


Рис.1.4 — Індикаторна діаграма робочого циклу реального компресора.

Робочий цикл реального компресора має суттєві відмінності зумовлені наявністю шкідливого простору, зміною макропараметрів газу (температура, тиск, об’єм) через витрати енергії на подолання гідравлічних опорів потоку газу в лініях всмоктування та нагнітання, а також непостійним теплообміном між газом та поверхнями робочої камери.

Точка d відстоїть від осі ординат на величину “мертвого” об’єму V_M . “Мертвий” об’єм — це об’єм газу при положенні мембрани у ВМТ, тобто об’єм, котрий компресор не здатний витіснити з робочої порожнини. Фізично складається з об’єму газу, що залишився після процесу нагнітання в порожнинах клапанів та з об’єму, обмеженого мембраною та кришкою компресора.

Із зворотним ходом мембрани починається процес зворотного розширення газу мертвого об’єму. На індикаторній діаграмі процес зображений ділянкою $d-a$,

відрізком часу між закриттям нагнітального клапана у точці d та відкриттям клапану всмоктування у точці a . Розширення газу відбувається доки тиск в робочій камері не знизиться до тиску всмоктування P_1 . Протікання процесу характеризується об'ємом розширення, на величину якого точка a відстоїть від осі ординат. З індикаторної діаграми видно, що об'єм всмоктування зменшується на величину об'єму розширення:

$$V_{\text{вс}} = V_{\text{ро}} + V_{\text{м}} - V_{\text{розш}}, \quad (1.3)$$

де $V_{\text{вс}}$ — об'єм всмоктування, $V_{\text{рц}}$ — робочий об'єм циліндра, $V_{\text{м}}$ — “мертвий” об'єм, $V_{\text{розш}}$ — об'єм розширення.

Таким чином, фаза всмоктування починається не на початку зворотного ходу мембрани, а наприкінці процесу розширення в точці a . В цілому, процес всмоктування перебігає за змінного тиску, маси та температури газу. На початку відкриття клапанів тиск знижується до точки мінімуму M_1 . Для повного відкриття клапанів необхідно подолати гідравлічні опори, це призводить до того, що фактичний тиск менший, ніж тиск всмоктування P_1 . Коливання тиску зумовлюються змінною швидкістю мембрани, динамікою руху клапану та коливаннями тиску в лінії всмоктування. Підвищення температури зумовлюється підведенням теплоти від більш нагрітих поверхонь робочої порожнини та перетворенням в тепло енергії газу, при його проходженні через клапан всмоктування. За постійного тиску та підвищення температури зменшується щільність робочого газу, що негативно впливає на масову продуктивність компресора.

Процес стискання $b-c$ протікає з перемінною масою газу та подальшим підвищення температури. На відміну від ідеального компресора крива $b-c$ представляє собою політропу із змінним показником. Це зумовлюється теплообміном між газом та поверхнями робочої порожнини: на початку стискання до газу підводиться теплота, наприкінці— відводиться до поверхонь камери стискання.

Фаза нагнітання $c-d$ характеризується більшим тиском, ніж тиск нагнітання P_2 , це пояснюється подоланням гідравлічних опорів для повного відкриття клапанів. Точка максимуму M_2 спостерігається у момент відкриття клапанів.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Подальші коливання тиску пояснюються аналогічно фазі всмоктування $a-b$. Маса та температура робочого газу в процесі нагнітання зменшуються.

Таким чином, у порівнянні з ідеальною моделлю реальний компресор характеризується меншою продуктивністю, додатковими втратами потужності, а також більшою споживаною потужністю та жорсткішими вимогами щодо засобів охолодження.

1.4 Способи керування

Основною метою керування компресорами є регулювання подачі стислого повітря. В залежності від місця впливу способи керування можна розділити на наступні групи [2].

- Вплив на пневматичну мережу

На цьому принципі базується два способи регулювання — перекриття лінії всмоктування та перепуск з нагнітання на всмоктування (рециркуляція).

Дроселювання лінії всмоктування досягається поступовим перекриттям шиберів, що розміщується перед патрубком всмоктування. Поступове зменшення прохідного перетину дроселя призводить до збільшення його опору, а отже і знижується тиск газу, що надходить в циліндр компресора. Спосіб є неекономічним, проте простота реалізації та плавність регулювання зумовлюють його широке використання.

Окремим видом дроселювання є повне перекриття лінії всмоктування Після певної затримки часу компресор переходить до режиму холостого ходу. Такий спосіб характеризується короткочасним, але значним підвищенням температури робочих органів. Регулювання має переривчастий характер.

Рециркуляція передбачає використання байпасу — трубопроводу, обладнаного пропускним вентилям або клапаном, який з'єднує лінії нагнітання та всмоктування. Даний метод регулювання застосовується лише для малопотужних систем, оскільки його енергоефективність дуже низька. Спосіб використовується для регулювання, переведенні компресора до режиму холостого ходу та розвантаженні компресорів при пуску.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

При повністю відкритому байпасному вентилі газ замість подачі до нагнітальної лінії повертається до лінії всмоктування, циркулюючи по замкнутому циклу через циліндри компресора і його трубопроводи. Тиск нагнітання встановлюється рівним тиску всмоктування. За таких умов регулювання носить переривчастий характер.

Ступеневе та плавне регулювання можливо здійснити при дроселюванні байпасного вентиля.

- Вплив на конструкцію

Конструкція компресорів поршневого типу дає можливість регулювання подачі двома способами — збільшенням об'єму робочої камери та впливом на клапани всмоктування.

Характерним для компресорів поршневого типу є збільшення об'єму робочої камери. Такий спосіб реалізується приєднанням додаткових порожнин, що розміщується безпосередньо в циліндрі або являють собою окремі ресивери, з'єднані з робочою камерою. Таким чином, змінюється шкідливий простір компресора. Послідовне приєднання додаткових порожнин постійного об'єму реалізує ступеневе регулювання. Плавне регулювання досягається приєднанням варіатора — апарата, що складається з циліндра та поршня, положення якого визначає об'єм варіатора.

При регулюванні впливом на клапани циліндра зміна продуктивності досягається частковим або повним поверненням газу з циліндра до патрубку всмоктування. Найбільш поширеним способом такого регулювання є віджимання всмоктуючих клапанів. Клапани можуть бути повністю чи частково віджаті або віджаті під час ходу поршня.

- Вплив на привод

Найбільш поширеним приводом компресора є електричний. Це зумовлено надійністю та широким рядом можливостей автоматизації. Незважаючи на це, також використовуються приводи від двигуна внутрішнього згорання та парової

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

турбіни. Існує два способи регулювання продуктивності, що базується на впливі на привод компресора — періодичні зупинки компресора та зміна частоти обертання валу компресора.

Зазвичай з'єднання компресора та приводного двигуна є безредукторним. Тому припинення роботи компресора можливо як зупинкою приводного двигуна, так і відключенням компресора від працюючого двигуна за допомогою пневматичної або електромагнітної муфти. Такий спосіб керування має жорсткі обмеження стосовно потужності електропривода компресора — періодична робота застосовується в установках невеликої потужності, які можуть часто включатися без серйозних негативних наслідків. Регулювання при такому способі керування має переривчастий характер.

Загальний недолік методу регулювання — порушення теплового режиму компресора, що призводить до нерівномірного нагрівання робочих органів. Також часті пуски негативно впливають на стан і компресора, і двигуна. Зупинки і пуски можна робити рідкісними, але тоді виникає необхідність використання ресиверів великого об'єму.

Регулювання частоти обертання валу компресора здійснюється шляхом зміни частоти обертання валу приводного електричного двигуна перетворювачем частоти (ПЧ).

Такий спосіб керування є найбільш універсальним адже передбачає зміну частоти обертання в широкому діапазоні, виконує функції захисту двигуна та виробничого механізму, реалізуються заходи з енергозбереження. За такого способу керування можливим є підтримка оптимального тиску за змінного споживання стислого повітря з пневматичної системи. Використання ПЧ дозволяє створити повністю автоматизовану систему — дистанційне керування та діагностика роботи електропривода по промисловим мережам, обробка сигналів зворотного зв'язку регуляторами ПЧ.

З точки зору пневматичних систем, досягається зменшення гідравлічних опорів мережі через відсутність регулюючих клапанів, дроселів тощо.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

На рис. 1.5 представлено порівняння різних способів керування компресорними машинами. Залежність демонструє, що частотне керування є найбільш ефективним протягом всього діапазону зміни продуктивності.

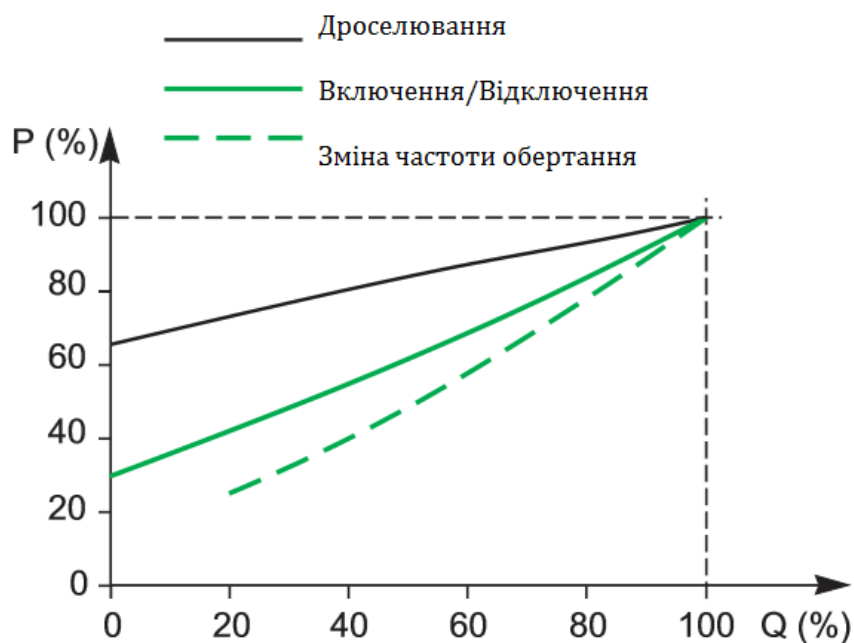


Рисунок 1.5 — Порівняння способів керування компресорами.

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.

Арк.

20

Висновки

Основними споживачами електроенергії у світі можна вважати вентиляторне, насосне та компресорне обладнання (60 та 80 відсотків у промисловому та комерційному секторі відповідно).

Світові тенденції розвитку промисловості, енергоефективність та ресурсозбереження, визначають необхідність керування обладнанням найефективнішим способом. В розділі були розглянуті основні способи керування компресорами, найефективнішим з яких є частотне.

Таким чином, виникає необхідність проектування електроприводів компресорних установок з частотним керуванням.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		21

Справ. №	Перв. примен.
----------	---------------

Розділ 2

Автоматизований електропривод

Підп. і дата	Інв. № дубл.	Підп. і дата
Взам. Інв №	Інв. №	
Інв. № підл.		

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				
Розроб.		Супрун Є.О.			Автоматизований електропривод	Літ.	Арк.	Аркушів
Перев.		Азюковський				T		
Т.						141-16-5		
Н.		Казачковський						
Затв.								

2.1 Компресорна установка та вимоги до електропривода

Виконавчим механізмом є одноступеневий мембранний компресор із горизонтальним розміщенням мембранних блоків (рис. 2.1). Подібна конструкція відрізняється компактністю та врівноваженістю інерційних сил. Мембранний компресор входить до складу лабораторної компресорної установки (КУ), що розміщена в аудиторії 5/34 кафедри електропривода.

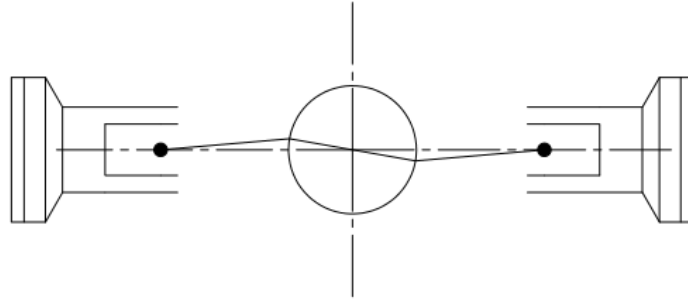


Рисунок 2.1 — Розміщення мембранних блоків.

Кінематична схема механізму зображена на рис. 2.2. Механізм мембранного компресора являє собою кривошипно-шатунний механізм (КШМ), що приводиться у рух від привідного двигуна 1.

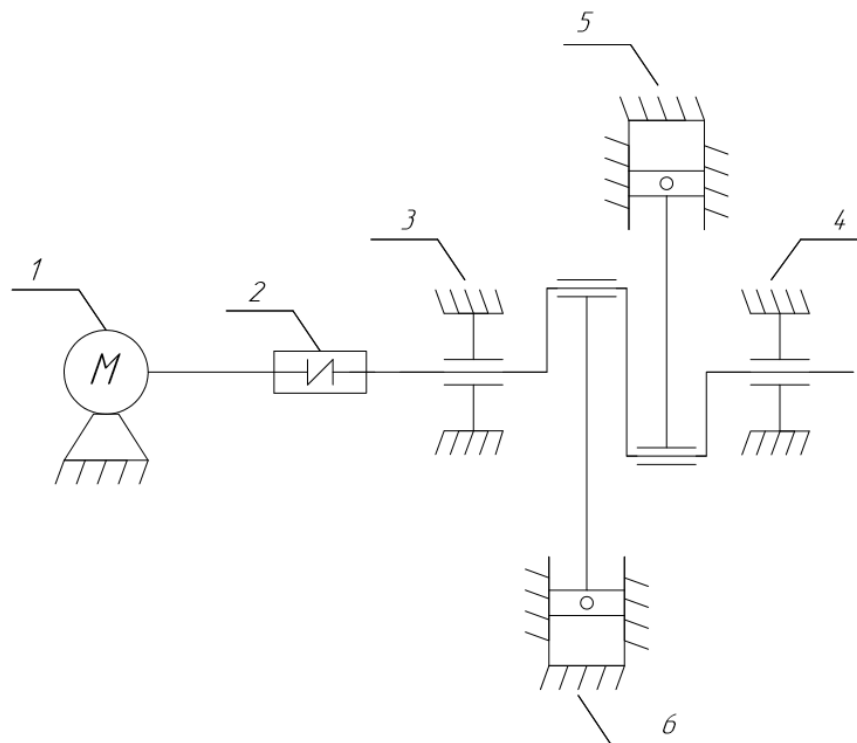


Рисунок 2.2 — Кінематична схема мембранного компресора.

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.

Арк.

23

Вали двигуна та компресора з'єднані за допомогою абсолютно пружної муфти 2. Для забезпечення обертання валу із оптимальним розподілом навантаження і мінімальною силою тертя застосовуються підшипники 3, 4.

На колінчатому валу компресора розташовані кривошипи, що приводять у рух шатуни. Рух шатунів призводить до коливання мембрани, що виконує роль поршня, у мембранних блоках 5, 6.

Установка являє собою замкнену систему (рис. 2.3), яка заповнюється повітрям. КУ складається з трьох баків (E1, E2, E3), з'єднаних між собою трубопроводами (P2 — P6). Загальний об'єм баків становить 0.05 м³. Всі трубопроводи забезпечені вентилями (V1 — V7). Робочий бак E3 обладнаний манометром D1. Запобіжний вентиль відсутній.

Бак E1 з'єднаний трубопроводом P1 (нагнітальні патрубки) з компресором.

Клапани всмоктування, розташовані на кришці мембранних блоків, забезпечують надходження атмосферного повітря у робочу камеру компресора.

У процесі роботи КУ відбувається накачування повітря в систему через бак E1 чи E2, створюючи в робочому баку E3 тиск, тому необхідно слідкувати, що були відкриті відповідні шиберні вентиля (V2 - V3 - V6 чи V4 - V5 - V6). При відключенні компресора тиск в системі КУ повільно зменшується через негерметичні з'єднання. За допомогою вентилів V1, V7 можна швидко зменшити тиск в системі до нуля [24].

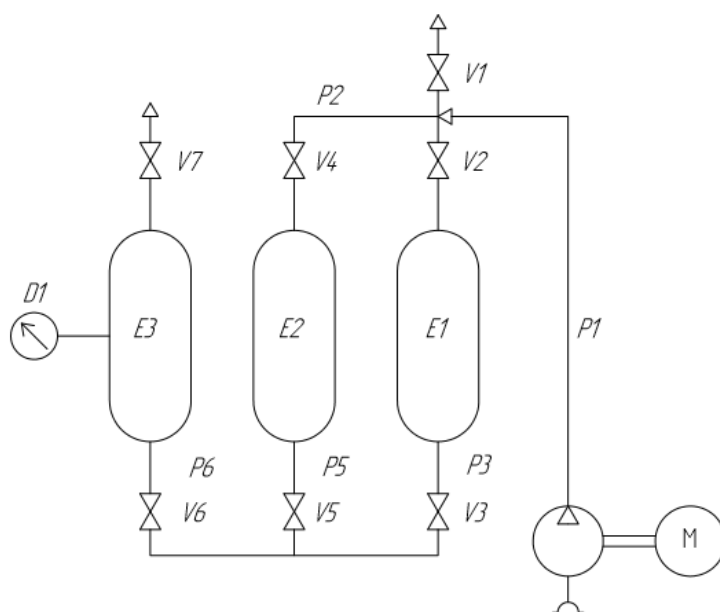


Рисунок 2.3 — Пневматична схема компресорної установки.

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.

Арк.

24

Пневматична характеристика компресора представлена на рис. 2.4 .

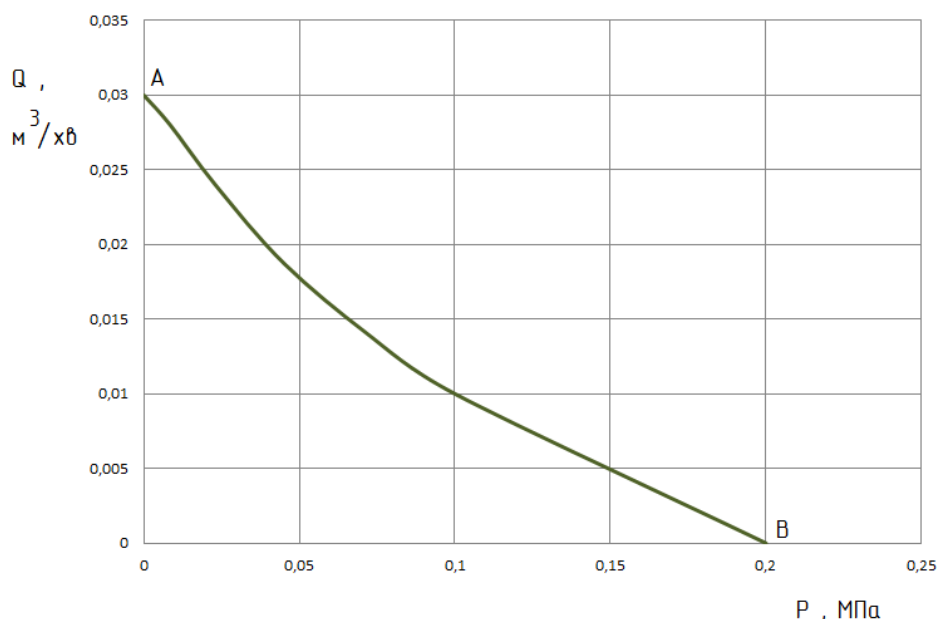


Рисунок 2.4 — Пневматична характеристика КУ.

У точці А вихідні вентиля ресивера V1 та V7 відкриті, компресор працює на відкриту лінію. У цій точці продуктивність становить $0.03 \text{ м}^3/\text{хв}$. Із поступовим закриттям вихідних вентилів V1 та V7 залежність між продуктивністю та тиском у ресивері набуває практично лінійного характеру. У точці В вихідні вентиля V1 та V7 повністю закриті, пневматична система є замкненою. Для цієї точки тиск складає 0.2 МПа.

Відповідно до основних параметрів, це — компресор низького тиску малої продуктивності. Параметри компресора зведені до табл. 2.1.

Таблиця 2.1 Технічні параметри мембранного компресора

№	Параметр	Одиниці виміру	Значення	Умовне позначення
1	Тиск всмоктування	МПа	0.1	P_1
2	Тиск нагнітання	МПа	0.2	P_2
3	Продуктивність	$\text{м}^3/\text{хв}$	0.03	Q
4	Ступінь підвищення тиску	—	2	ε
5	Об'єм ресивера	м^3	0.005	V_p

6	Момент опору	Н · м	1	M_c
---	--------------	-------	---	-------

Компресорна станція є лабораторним стендом, що імітує роботу промислових установок. Приклад навантаження на компресорну станцію зображений на рис. 2.5 . Продемонстровано добовий графік навантаження на компресорну станцію машинобудівного заводу, основними споживачами стислого повітря є пневмоінструмент [2].

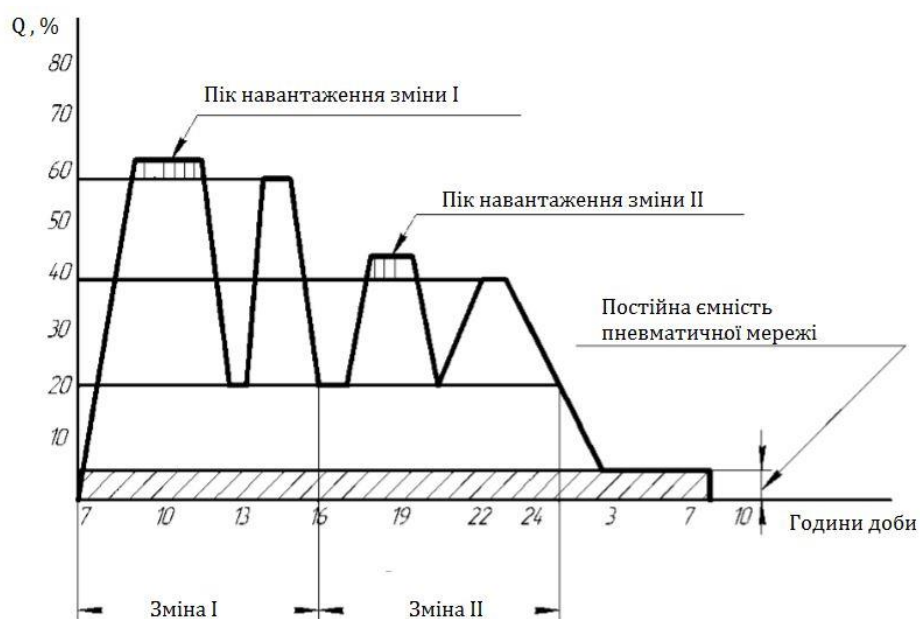


Рис. 2.5 — Приклад навантаження на компресорну установку.

Вимоги до електропривода компресора

На основі робочих циклів компресора та циклу роботи КУ формується вимоги до електропривода.

До електропривода компресорної установки висуваються наступні вимоги:

1. Реверсування компресора суперечить робочому циклу компресора, тому електропривод повинен бути нереверсивним;
2. Використання редуктора є невиправданим, принаймні для КУ малої потужності, тому електропривод повинен бути безредукторним;
3. Вибір діапазону зміни швидкості обумовлюється максимально допустимою швидкістю для компресора, що не прискорюватиме знос робочих органів. Таким чином, верхню межу зміни швидкості слід прийняти не більше 100 рад/с.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

4. Для електропривода компресора важливим є плавний пуск та підтримка основних параметрів на високому рівні. Швидкодія системи керування в перехідних режимах не є важливим параметром адже навантаження зазвичай має постійний характер;
5. КУ розміщена в початковій аудиторії, тому електропривод не потребує особливого кліматичного виконання.

2.2 Вибір складових комплектного електропривода

Вибір приводного двигуна

При виборі приводного двигуна розглядається комплекс питань, основними з яких є:

- Розрахунок номінальної потужності;
- Визначення роду струму двигуна.

Номінальна потужність двигуна для КУ повинна задовольняти наступній умові:

$$P_{дв} > P_{ск}, \text{ де} \quad (2.1)$$

$P_{дв}$ — потужність двигуна, $P_{мін}$ — середня потужність на валу компресора.

Середня потужність на валу компресора за один цикл визначається за формулою:

$$P_{ск} = \frac{k_з \cdot Q \cdot A}{\eta_k \cdot \eta_{п}}, \text{ де} \quad (2.2)$$

$k_з$ — коефіцієнт запасу, вибирається з діапазону 1.05 ÷ 1.3;

η_k — індикаторний ККД компресора, вибирається з діапазону 0.6 ÷ 0.8;

$\eta_{п}$ — ККД передачі, вибирається з діапазону 0.9 ÷ 0.95;

Q — продуктивність компресора, м³/с;

A — питома робота, що витрачається на стискання 1 м³ повітря до тиску P_2 , Дж/м³.

Як було показано вище, реальний процес стискання газу має суттєві відмінності від ідеальної моделі компресора. Для врахування цих факторів питома робота, необхідна для стискання 1 м³ повітря до тиску P_2 , визначається як:

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

$$A = \frac{A_i + A_a}{2} = \frac{67690 + 75500}{2} = 71595 \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3}, \text{де} \quad (2.3)$$

A_i — робота ізотермічного стискання 1 м^3 повітря до тиску P_2 , Дж/м³;

A_a — робота адіабатичного стискання 1 м^3 повітря до тиску P_2 , Дж/м³;

Середня потужність на валу компресора за один цикл дорівнює:

$$P_{\text{ск}} = \frac{k_3 \cdot Q \cdot A}{\eta_k \cdot \eta_{\text{п}}} = \frac{1.3 \cdot 0.0005 \cdot 71595}{0.6 \cdot 0.8} = 86 \text{ Вт} \quad (2.4)$$

В електроприводах КУ малої потужності використовуються асинхронні двигуни (АД) з короткозамкненим ротором.

Основними перевагами двигунів цього типу є простота конструкції і надійність в експлуатації, вищий ККД та коефіцієнт потужності, ніж у асинхронних двигунів з фазним ротором.

З іншого боку, АД з короткозамкненим ротором характеризуються значним пусковим струмом та підвищеними втратами потужності.

Окрім основних факторів, необхідно враховувати конструктивні особливості та умови експлуатації виконавчого механізму. Так, додатковими критеріями вибору є:

- Вибір номінальної швидкості обертання;
- Вибір двигуна за умовами пуску;
- Вибір кліматичного виконання ступеню захищеності ІР.

Для механізму компресора характерним є тривалий режим роботи зі спокійним навантаженням. Реверсування є неможливим через особливості конструктивного виконання та умов технологічного процесу.

Жорсткий зв'язок мембрани компресора з КШМ дозволяє підтримувати швидкість обертання валу до 100 рад/сек — робота із більшою швидкістю прискорює знос деталей механізму, насамперед мембран. Згідно кінематичної схеми двигун розміщений на спільній вісі з валом компресора. Вали з'єднано абсолютно пружною муфтою, що забезпечує безпосередню передачу руху.

Для роботи механізмів, в основі яких лежить робота КШМ, рекомендується застосовувати асинхронні двигуни із підвищеним ковзанням ($s_{\text{н}} \leq 12\%$) та пусковим моментом ($M_{\text{п}} = 1.8 - 2$). Максимальний момент компресора при пуску

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

під навантаженням досягає 1.5 – 2.5 кратного від номінального, тому пуск необхідно проводити у розвантаженому стані. Також рекомендується використання двигунів із підвищеним моментом інерції.

Ступінь захищеності двигуна визначається перш за все умовами експлуатації. Компресорна установка є складовою навчального лабораторного стенда, тому необхідно обрати двигун з щонайбільшим IP та виконанням для помірного клімату.

На основі вищезазначених чинників, обирається трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором АИРМ63В4У2. Базове виконання передбачає режим роботи $S1$, клас ізоляції F , ступінь захисту $IP 54$. Технічні параметри двигуна та параметри схеми заміщення у відносних одиницях зведені до табл. 2.2, табл. 2.3 відповідно.

Таблиця 2.2 Номінальні параметри асинхронного двигуна

Параметр	Одиниці виміру	Значення	Позначення
Номінальна напруга живлення Δ/Y	В	220/380	U_H
Номінальний струм Δ/Y	А	2.2/1.25	I_H
Номінальна потужність	кВт	0.37	P_{2H}
Номінальна швидкість	Об/хв	1370	n_H
Номінальне ковзання	—	0.087	s_H
Номінальний ККД	—	0.66	η_H
Номінальний коефіцієнт потужності	—	0.68	$\cos\varphi$
Момент інерції	кг · м ²	0.0008	J
Кратність пускового струму	—	4	$I_{п}/I_H$
Кратність пускового моменту	—	2	$M_{п}/M_H$
Перевантажувальна здатність	—	2.2	λ

Таблиця 2.3 Параметри схеми заміщення, відносні одиниці

Параметр	Одиниці виміру	Значення	Позначення
Активний опір статора	Ω	0.17	R'_1
Активний опір ротора	Ω	0.14	R''_2
Реактивний опір статора	Ω	0.086	X'_1
Реактивний опір ротора	Ω	0.18	X''_2
Реактивний опір кола намагнічування	Ω	1.4	X'_μ

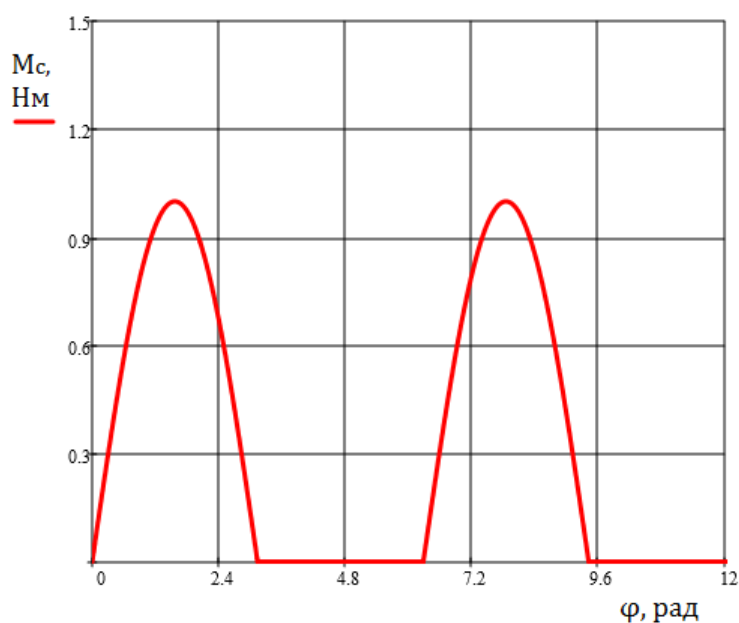
Вибір закону керування

Вибір закону керування приводним двигуном залежить від типу навантаження, особливостей технологічного процесу, що висувають відповідні вимоги до електропривода. Вирішальним фактором є залежність моменту опору механізму від швидкості обертання $M_c = f(\omega)$.

Для компресорних машин поршневого типу момент опору M_c , як і потужність на валу, змінюється за синусоїдальним законом в залежності від кута повороту кривошипа φ ([1], [3]).

$$M_c = M_c^{max} \cdot \sin(\varphi), \text{ де} \quad (2.5)$$

M_c^{max} — амплітудне значення моменту опору.

Рисунок 2.6 — Залежність $M_c = f(\varphi)$.

ЗМН	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.

Арк.

30

Залежність моменту опору M_c від кута повороту кривошипа φ приведена на рис. 2.6. В таблиці 2.4 приведено залежність моменту опору від кута повороту кривошипа компресора за один цикл.

Таблиця 2.4 Залежність $M_c = f(\varphi)$

№	Кут повороту кривошипа φ , °	Момент опору M_c , Н · м
1	0	0
2	20	0.35
3	40	0.64
4	60	0.86
5	80	0.98
6	100	0.99
7	120	0.87
8	140	0.65
9	160	0.35
10	180	0

Таким чином, можна вважати, що момент опору є постійним і не залежить від швидкості.

$$M_c = const \quad (2.6)$$

Спираючись на приведені залежності, можна зробити висновок, що оптимальним законом керування є скалярний:

$$\frac{U}{f} = const \quad (2.7)$$

Скалярне керування використовується, як правило, у загальнопромислових нединамічних приводах, що характеризуються плавними процесами пуску й гальмування, відсутністю значних коливань навантаження та не вимагають точної підтримки моменту в перехідних режимах [25].

Принцип керування базується на підтримці в робочому діапазоні швидкостей відношення: $U/f^n = const$.

Так, контролюється лише величина і частота напруги живлення. Підтримуючи постійним відношення U/f , магнітний потік залишається відносно

постійним. Таким чином досягається постійний момент на валу двигуна в робочому діапазоні частот.

На вході таких систем вмикаються в основному задавачі інтенсивності, що обмежують прискорення приводу на заданому рівні.

Основні недоліки скалярного керування:

- Через велику інерційність контуру регулювання втрачається контроль за моментом двигуна в перехідних режимах;
- Контролюються лише модулі векторів, а не їх просторове положення.

Вибір перетворювача частоти

Для забезпечення скалярного закону керування обирається перетворювач частоти (ПЧ). Основним критеріями вибору є відповідність потужності ПЧ і керованого двигуна та наявність необхідних функціональних можливостей ПЧ.

Розрахунок потужності ПЧ виконується наступним чином.

Номінальний момент на валу двигуна дорівнює:

$$M_H = \frac{9.55 \cdot P_{2H}}{n_H} = \frac{9.55 \cdot 370}{1370} = 2.6 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.8)$$

Динамічний момент на валу двигуна:

$$M_{\text{дин}} = \frac{J \cdot n_H}{9.55 \cdot t_{\text{пуск}}} = \frac{0.0008 \cdot 1370}{9.55 \cdot 2} = 0.06 \text{ Н} \cdot \text{м}, \text{ де} \quad (2.9)$$

$t_{\text{пуск}}$ — час, необхідний для розгону двигуна до номінальної швидкості n_H .

Пускова потужність двигуна:

$$P_{\text{пуск}} = \frac{k_{\text{ПЧ}} \cdot n_H}{9.55 \cdot \eta_H \cdot \cos\varphi} \cdot (M_H + M_{\text{дин}}) = \quad (2.10)$$
$$= \frac{1.05 \cdot 1370}{9.55 \cdot 0.66 \cdot 0.68} \cdot (2.6 + 0.06) = 892 \text{ Вт}, \text{ де}$$

$k_{\text{ПЧ}}$ — коефіцієнт спотворення струму на виході ПЧ.

Робоча потужність ПЧ:

$$P_{\text{ПЧ}} = \frac{P_{\text{пуск}}}{1.5} = \frac{892}{1.5} = 595 \text{ Вт} \quad (2.11)$$

На основі приведених розрахунків обираємо перетворювач частоти серії *Altivar 312*, типорозмір — *ATV312H075M2*.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Серія ПЧ Altivar 312 призначений для керування трифазними асинхронними двигунами з живленням 200 – 600 В та потужністю 0.18 – 15 кВт. ПЧ реалізує скалярне U/f –регулювання, квадратичний закон, векторне керування потоком в розімкнутій системі та енергозберігаючий режим. Діапазон вихідної частоти становить 0.5 – 500 Гц. Сфера застосування ПЧ охоплює такі виробничі механізми як: компресори, насоси, вентилятори тощо.

Для даного типорозміру ПЧ необхідне однофазне живлення 200 – 240 В, за частоти мережі 50 – 60 Гц. Вихідна напруга живлення двигуна трифазна 200 – 240 В. Максимальний струм в усталеному режимі становить 4.8 А. Величина струму короткого замикання не більше 1 кА. Перелік силових клем зведено до табл. 2.5 .

Таблиця 2.5 Силові клеми ПЧ

Силова клема	Призначення
\perp	Заземлення
$R/L1 - c/L2$	Живлення від мережі
PO	Вивід + до ланки постійного струму
$PA/+$	Підключення гальмівного резистора, вивід +
PB	Підключення гальмівного резистора
$PC/-$	Вивід – до ланки постійного струму
$U/T1 - V/T2 - W/T3$	Підключення двигуна

Перехідний перевантажувальний момент становить 170 – 200 % номінального моменту двигуна. Максимальний перехідний струм — 150 % номінального струму двигуна протягом 60 секунд.

ПЧ реалізує наступні захисні функції:

- Тепловий захист ПЧ та двигуна;
- Захист від коротких замикань між вихідними фазами;
- Захист від обриву фази живлення двигуна;
- Захист від підвищеної/заниженої напруги живлення.

ПЧ оснащений двома джерелами живлення постійного струму: 10 В призначений для потенціометра завдання, джерело 24 В — живлення входів керування. Обидва джерела захищені від коротких замикань та перевантажень.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Підключення додаткових засобів автоматизації здійснюється через аналогові входи-виходи, дискретні входи та релейні виходи.

Комунікаційний порт RJ 45 призначений для роботи з комунікаційними інтерфейсами Modbus та CANopen, що забезпечують доступ до всіх функцій ПЧ. Для роботи за протоколом Modbus RTU використовується фізичний інтерфейс RS-485. Перелік клем керування зведено до табл. 2.6 .

Таблиця 2.6 Клеми керування ПЧ

Клема керування	Призначення
<i>R1A</i> <i>R1B</i> <i>R1C</i>	Релейний вихід з перемикаючим контактом <i>R1C</i> програмованого реле <i>R1</i>
<i>R2A</i> <i>R2C</i>	Програмоване реле <i>R2</i> з нормально відкритим контактом
<i>AI1</i>	Аналоговий вхід за напругою, +10 В
<i>AI2</i>	Аналоговий вхід за напругою, ±10 В
<i>AI3</i>	Аналоговий вхід за струмом
<i>COM</i>	Спільний вивід аналогових входів-виходів
<i>10 V</i>	Живлення для потенціометра завдання
<i>24 V</i>	Живлення дискретних входів
<i>AOV</i>	Аналоговий вихід за напругою
<i>AOC</i>	Аналоговий вихід за струмом
<i>CLI</i>	Спільний вивід дискретних входів
<i>LI1 — LI6</i>	Дискретні входи
<i>RJ — 45</i>	Комунікаційний порт

Документація на ПЧ наведена в [3], [4], [5].

Зворотний зв'язок за тиском

Зворотний зв'язок за тиском досягається шляхом використання електронного датчику тиску OsiSense XMLF010D2115 (рис. 2.6).

Датчик являє собою перетворювач тиску на електричний сигнал, що призначений для вимірювання тиску мастил, прісної води, повітря та корозійних рідин у гідравлічних або пневматичних системах. Температурний діапазон рідин та газів становить $-15 \dots + 80 \text{ }^\circ\text{C}$.

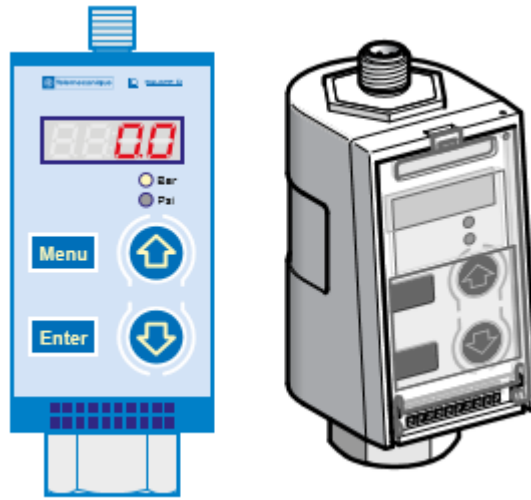


Рисунок 2.7 — Датчик тиску OsiSense XMLF010D2115.

Номінальна напруга живлення становить 24 В постійного струму, проте діапазон живлення складає 17 – 33 В. Номінальний струм споживання складає 80 мА. Вихідним сигналом датчика є аналоговий сигнал 0 ... 10 В. Електричне з'єднання забезпечується через роз'єм M12, що передбачає 4 контакти (рис. 2.8). Датчик оснащений системою захисту від перевантажень, короткого замикання та прикладення напруги живлення зворотної полярності. Індикація тиску в системі реалізується дисплеєм з чотирма семисегментними елементами. Ступінь захисту приладу *IP 67*.

Типорозмір датчика, що відображає номінальний діапазон вимірювання тиску становить 10 бар. Максимально припустимий тиск, що здатний витримати датчик із збереженням працездатності протягом короткого відрізка часу, становить 40 бар. Тиск руйнування — 60 бар. Похибка складає не більше 0.6 % від діапазону вимірювання. Дрейф чутливості (рис. 2.9а) становить $\pm 0.03\%$ від діапазону/°C, дрейф нульової точки (рис. 2.9б) — $\pm 0.1\%$ від діапазону/°C . Температурний діапазон роботи датчика становить $-25 \dots 80$ °C.

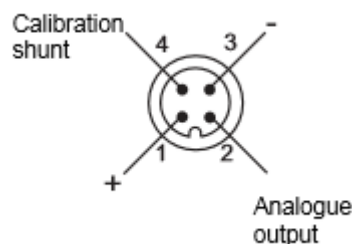


Рисунок 2.8 — Контакти роз'єму M12.

1 — +24 В; 2 — Аналоговий вивід 0 ... 10 В; 3 — COM; 4 — Шунт калібрування.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

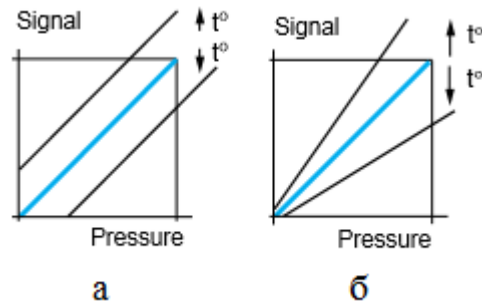


Рисунок 2.9 — Дрейф чутливості та нульової точки датчика тиску.

Принцип роботи базується на формуванні електричного сигналу, що пропорційний тиску в системі. Електричний сигнал від датчика тиску підсилюється, калібрується та подається до пристроїв керування як стандартний аналоговий сигнал 0 ... 10 В.

Характеристика аналогового виходу представлена на рис. 2.10 .

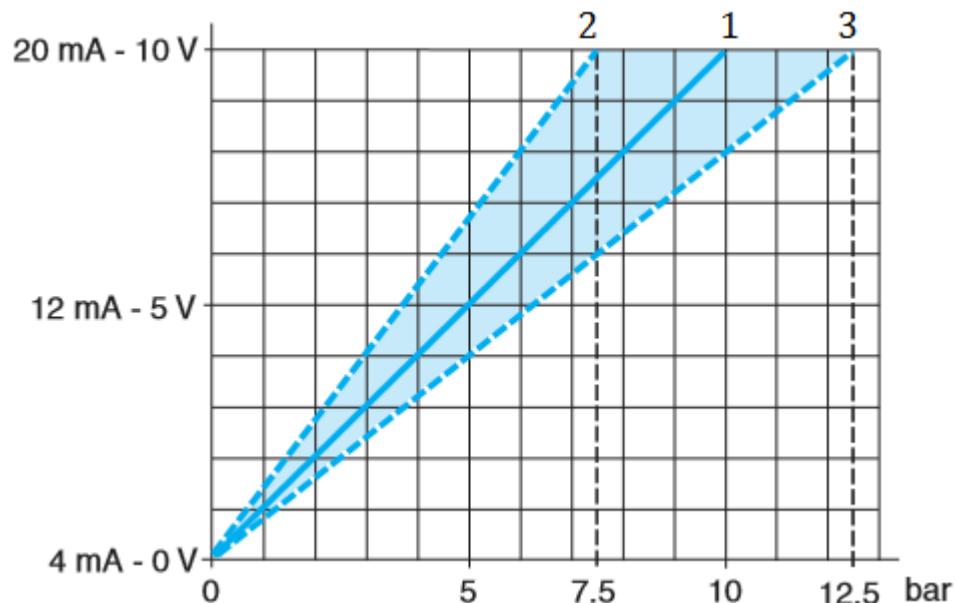


Рисунок 2.10 — Залежність вихідного аналогового сигналу від тиску в системі.

Пряма 1 демонструє номінальні налаштування датчика — типорозміру відповідає максимальний вихідний аналоговий сигнал амплітудою 10 В. Площа, обмежена кривими 2 та 3, демонструє робочу зону для створення сімейства характеристик, для створення яких необхідно провести калібрування датчика. Так, крива 2 дозволяє зменшити діапазон вимірювання, проте підвищити точність. Збільшення діапазону відповідає кривій 3. Зміна діапазону можлива в межах $\pm 25\%$ від типорозміру.

Документація на датчик тиску наведена в [6].

Вибір комутаційної апаратури

Вибір комутаційної апаратури зводиться до вибору автоматичних вимикачів для захисту від струмів короткого замикання та перевантажень кола ПЧ—АД та кола джерело живлення — WebHMI.

Автоматичний вимикач для силового кола повинен задовольняти наступним умовам.

Номінальний струм автоматичного вимикача повинен бути не менше, ніж струм навантаження:

$$I_{н.а.} \geq I_{н-я}, \quad (2.13)$$

$$I_{н-я} = 6 \text{ А, де}$$

$I_{н.а.}$ — номінальний струм автоматичного вимикача, А;

$I_{н-я}$ — струм навантаження, А.

Номінальна уставка теплового розчеплювача повинна задовольняти умові:

$$I_{н.р.} \geq I_{н-я}, \text{ де} \quad (2.14)$$

$I_{н.р.}$ — номінальний струм розчеплювача, А;

Номінальний струм розчеплювача складає 60 %, 80 % або 100 % номінального струму автоматичного вимикача.

Вибір уставки спрацювання теплового розчеплювача здійснюється за умовою:

$$1.25 \cdot I_{н.р.} \geq 1.25 \cdot I_{н-я} \quad (2.15)$$

Вибір уставки струму захисту від коротких замикань виконується за умовою:

$$I_{св} \geq 1.25 \cdot i_{пик}, \text{ де} \quad (2.16)$$

$I_{св}$ — уставка струму захисту від коротких замикань, А;

$i_{пик}$ — піковий струм навантаження, А.

Піковий струм приймається:

$$i_{пик} = I_{н-я} \cdot K_i = 6 \cdot 4 = 24 \text{ А, де} \quad (2.17)$$

K_i — кратність пускового струму.

Приймаємо значення уставки струму захисту від коротких замикань:

$$I_{св} = 5 \cdot I_{н.р.} \quad (2.18)$$

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Враховуючи тип живлення ПЧ, для захисту кола ПЧ—АД необхідно обрати двополісний автоматичний вимикач призначений для роботи з обладнанням, напруга живлення яких становить 230 В, та кривою спрацювання розчеплювача типу D. Загальні вимоги, що висуваються до автоматичного вимикача кола ПЧ-АД зведені до табл. 2.7.

Таблиця 2.7 Вимоги до автоматичного вимикача кола ПЧ-АД

Параметр	Мінімально припустиме значення	Одиниці виміру
Номінальний струм автоматичного вимикача	6	А
Номінальний струм розчеплювача	6	А
Уставка спрацювання теплового розчеплювача	7.5	А
Уставка струму захисту від коротких замикань	30	А

Автоматичний вимикач для захисту кола джерело живлення-WebНМІ вибирається на основі сумарної потужності струмоприймачів.

Сумарна потужність становить 250 Вт. Доцільним буде вибір двополісного автоматичного вимикача з номінальним струмом 1 А, робочою напругою 230 В та кривою спрацювання розчеплювача С.

2.3 Система віддаленого керування WebНМІ

WebНМІ — це інтеграційний контролер, що працює з промисловими комунікаційними протоколами та надає можливість створення web-інтерфейсів. Призначення WebНМІ полягає як в створенні дистанційно доступного людино-машинного інтерфейсу, так і в синтезі системи веб-моніторингу.

Так, WebНМІ можна розглядати як SCADA-систему із веб-сервісом, що дозволяє керувати засобами автоматизації по локальній мережі або через інтернет.

Найпростішим прикладом інтеграції контролера є створення локального інтерфейсу оператора моніторингу систем автоматики. Керування може бути здійснено по локальній мережі Ethernet або через веб-браузер з будь-якої точки доступу/Wi-Fi.

Для моніторингу віддалених об'єктів автоматизації WebHMI може бути підключений до 3G модему мобільного інтернету. Доступ до веб-інтерфейсу здійснюється шляхом підключення до зовнішньої мережі через VPN.

Статистична інформація стосовно протікання технологічного процесу може бути експортована в ряд класичних додатків (Excel, 1С).

Комплексний виробничий процес може бути контрольований шляхом використання декількох контролерів WebHMI, що об'єднані хмарним сервером диспетчеризації Level 2.

WebHMI — це пристрій постійного струму. Номінальна напруга живлення становить 24 В, можлива роботи при напрузі, що відрізняється від номінальної на 15 %. Струм споживання становить 100 – 500 мА. Ступінь захисту IP 40. Пристрій оснащений джерелом безперебійного живлення, що забезпечує функціонування протягом двох годин. Діапазон робочої температури 0 – 50 °С.

Для підключення WebHMI до засобів автоматизації використовуються наступні зовнішні роз'єми та контакти.

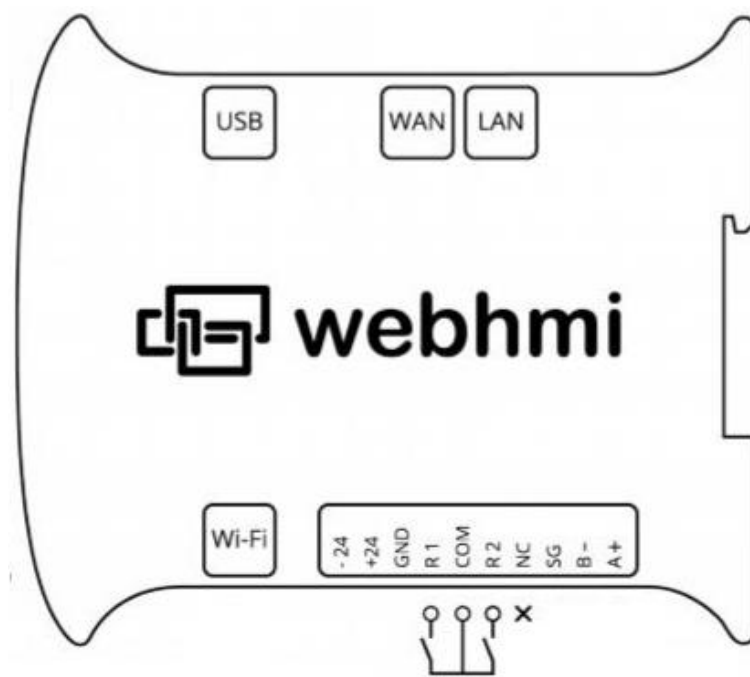


Рисунок 2.11 — Зовнішні контакти та роз'єми контролера.

Зовнішні контакти пристрою умовно можна розділити на три групи за функціональним призначенням: контакти живлення, релейні контакти та контакти RS-485. Перелік контактів зведено до табл. 2.8 .

Таблиця 2.8 Зовнішніх контакти WebHMI

№	Групи контактів	Контакти	Призначення
1	Контакти живлення	-24 В	Спільний живлення
2		+24 В	“+” Живлення
3		<i>GND</i>	Ізольована “земля” (LAN/WAN)
4	Релейні контакти	<i>R1</i>	НР контакт реле <i>R1</i>
5		<i>COM</i>	Спільний контакт реле <i>R1, R2</i>
6		<i>R2</i>	НР контакт реле <i>R2</i>
7	—	<i>NC</i>	—
8	Контакти RS-485	<i>A +</i>	Data +
9		<i>B -</i>	Data -
10		<i>SG</i>	Сигнальна “земля”

Підключення зовнішньої Wi-Fi антени здійснюється за допомогою роз’єму типу RP-SMA.

Для створення локальної та глобальної мережі призначені роз’єми LAN та WAN типу RJ 45. Для коректної роботи мережі необхідне підключення “екранів” кабелів LAN/WAN до контакту GND (табл., п.3).

Порт USB призначений для виконання двох функцій. По-перше, підключення WebHMI можливо здійснити через USB-модем мобільного 3G інтернету. З іншого боку, USB може бути використаний як додатковий порт RS-232/422/485, M-bus, 1-Wire. Це досягається використанням зовнішніх перетворювачів USB-COM відповідного типу.

Зв’язок із будь-якими засобами автоматики здійснюється шляхом використання стандартних промислових протоколів таких як: Modbus RTU/ASCII/ TCP, OBEH, Siemens PPI, Siemens S7 Iso-Over-TCP, 1Wire, Allen-Bradley DF1, Delta Electronics DVP. Характерною особливістю WebHMI є

										Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Е.П.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>					40

можливість роботи з пристроями, що використовують різні комунікаційні протоколи та знаходяться на одній фізичній лінії. Крім того, вбудовані скрипти надають можливість конвертації даних, отриманих від умовного пристрою А за протоколом А, в протокол типу Б.

Окрім функцій моніторингу та керування, WebNMI дозволяє експортувати дані, отримані від підключених пристроїв, в широкий ряд стандартних додатків.

Обмін даними відбувається через взаємодію реєстрів. Регістр можна розглядати як змінну, що вказує, з яким параметром підключеного пристрою взаємодіє контролер. Тому процес інтеграції контролера в систему електропривода перш за все передбачає запис та конфігурацію реєстрів.

Конфігурація надає можливість задавати:

- Ім'я реєстра, з'єднання, адрес в мережі;
- Тип та формат даних, бітову маску;
- Значення, що розраховується в залежності від множника та зсуву, точність;
- Припустимий діапазон значення та діапазон зміни, доступний оператору;
- Пріоритетність, можливість експорту та подання у вигляді графіків, одиниці виміру.

Живлення контролера WebNMI потребує напруги живлення 24 В постійного струму. Спираючись на необхідну напругу, обираємо промислове джерело живлення +24 В Delta Electronics. Параметри зведено до табл. 2.9 .

Таблиця 2.9 Параметри джерела живлення +24 В Delta Electronics

Тип параметрів	Параметр	Одиниці виміру	Значення
Вхідні	Напруга	В	100 – 240
	Частота	Гц	50 – 60
	Струм	А	1.1 за 115 В 0.7 за 230 В
Вихідні	Напруга	В	24
	Діапазон зміни напруги	В	22 – 28
	Струм	А	2.5

	Потужність	Вт	60
--	------------	----	----

Додаткова інформація стосовно контролера наведена в [7].

Зв'язок між контролером та засобами автоматизації

У даній дипломній роботі розглядається зв'язок між контролером WebHMI та ПЧ за комунікаційним протоколом Modbus RTU, стандарт RS-485 (рис. 2.12).

Стандарт RS-485 регламентує електричні параметри лінії зв'язку типу “загальна шина”, тобто фізичний рівень передачі даних.

Швидкість передачі даних обернено пропорційна довжині лінії зв'язку. Так, швидкість передачі даних на максимальну відстань 1200 м становить 62.5 кбіт/с, а на відстань 10 м — 10 Мб/с.

Стандарт RS-485 передбачає використання двох ліній зв'язку — A і B , що зазвичай виконуються у вигляді витої пари. Корисним сигналом є різниця потенціалів ліній $U_a - U_b$ (рис. 2.13).

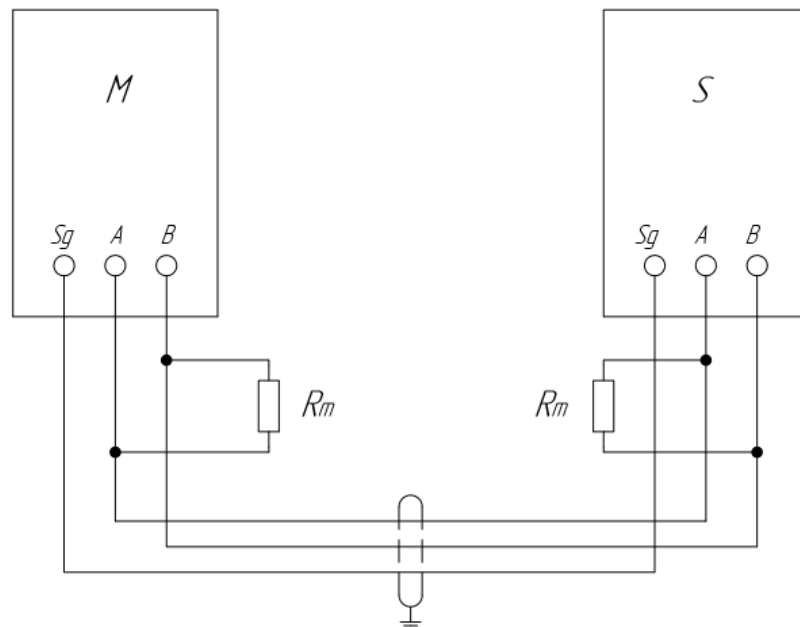


Рисунок 2.12 — RS-485.

Штриховкою 1 позначено ідеальні сигнали без завад. Припустимо, що лінія зв'язку знаходиться під впливом електромагнітних завад, сигнали спотворюються — до ідеальних сигналів додається компонент завад U' (штриховка 2). Проте, виконання ліній A і B у вигляді витої пари та диференціальний спосіб передачі даних виключають шкідливий вплив.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$(U_a + U') - (U_b + U') = U_a - U_b \quad (2.12)$$

Таким чином, перевагою RS-485 є стійкість до синфазних завад.

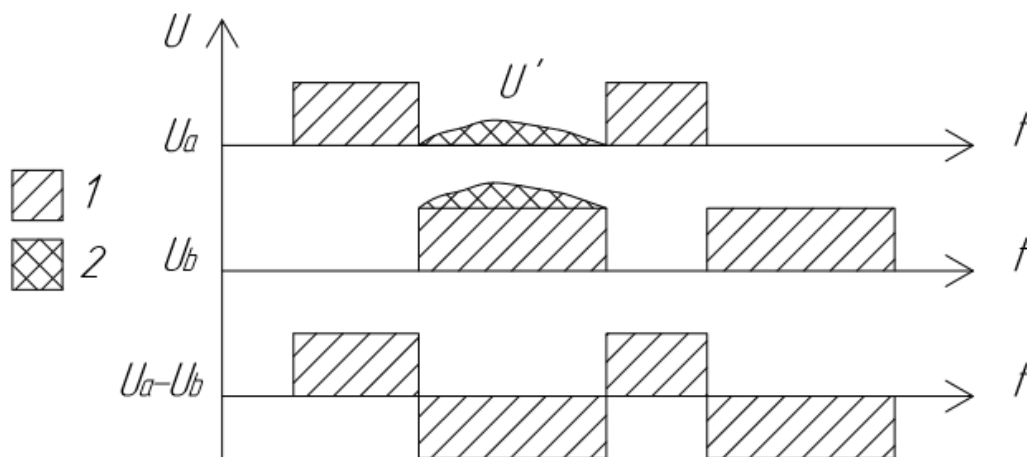


Рисунок 2.13 — Диференціальний спосіб передачі інформації.

Стабільність передачі даних забезпечується використанням лінії SG та резисторів-термінаторів. Лінія SG призначена для врівноваження потенціалів “земель” пристроїв. У разі передачі інформації на значні відстані може проявлятися ефект довгих ліній — для гасіння відбитих сигналів від кінців ліній застосовуються резистори-термінатори R_m . Номінал резисторів складає приблизно 100Ω . Додатковий захист від електромагнітних завад реалізується використанням екранованого кабеля.

Протокол Modbus передбачає архітектуру “master-slave” (M та S). В системі присутній один керуючий пристрій M, що передає інформацію підлеглим пристроям S у вигляді пакетів. В зальному вигляді передача пакета даних відбувається за наступною структурою:

[Адреса — Команда — Дані — Контрольна сума]

Керуючий пристрій M передає по шині пакет даних. Після передачі пакету пристрій M на деякий час (time-out) “відпускає” шину. Протягом цього відрізка часу керований пристрій S розпізнає свою адресу, розшифровує команду, обробляє дані та надсилає сигнал зворотного зв’язку у вигляді контрольної суми.

Таким, прийом і передача даних проходить по одній витій парі із розділенням у часі.

Функціональна схема електропривода

На рис. 2.14 зображено функціональну схему електропривода.

Лінія всмоктування компресора представлена клапанами всмоктування, що розміщені на кришці циліндра. Так, в робочу камеру компресора надходить повітря атмосферного тиску; лінія нагнітання з'єднана із системою ресиверів E , що забезпечена захисним шиберним вентилям V , відкриття якого дозволяє оперативно зменшити тиск в системі.

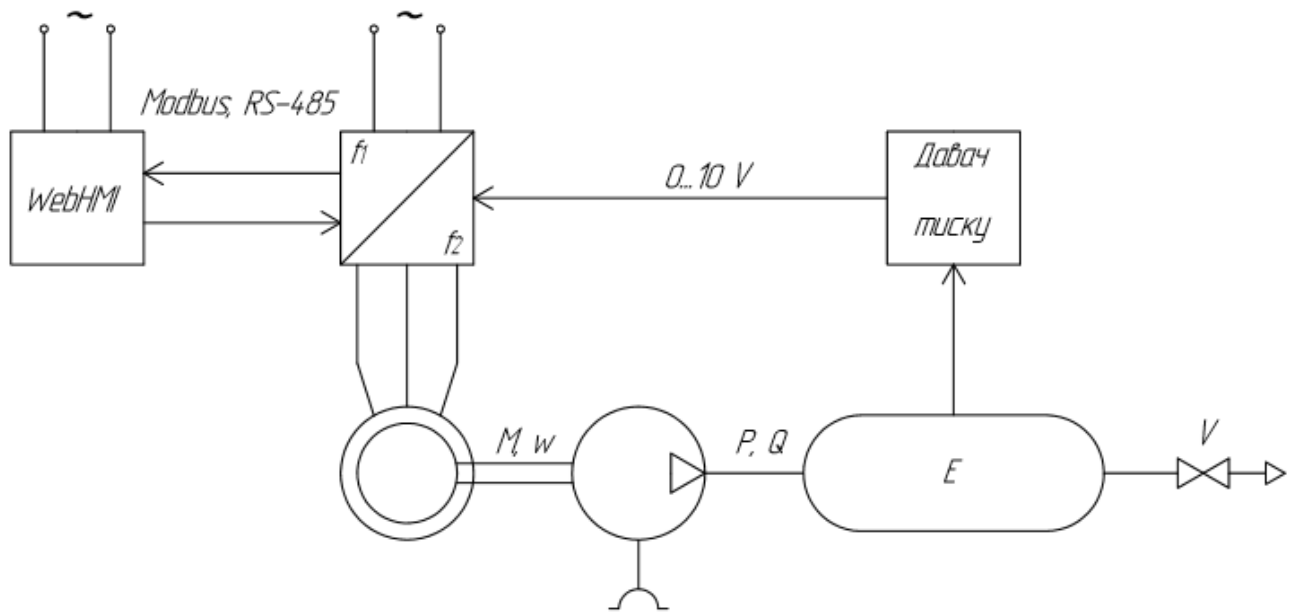


Рисунок 2.14 — Функціональна схема електропривода.

Компресор приводиться у рух від трифазного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Таким чином, для компресора вхідними величинами є момент M та швидкість ω , створювані двигуном, а вихідними — тиск P та продуктивність Q .

Керування двигуном, а отже і компресором, здійснюється за допомогою частотного перетворювача, що отримує живлення від однофазної мережі змінного струму.

Зворотний зв'язок реалізується за допомогою датчика тиску. Вимірюючи значення тиску P в системі ресиверів E , датчик здійснює перетворення значення тиску P в аналоговий сигнал $0 \dots 10$ В, що подається до входу перетворювача частоти.

					ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

З іншого боку, перетворювач частоти отримує сигнали керування від контролера WebHMI через веб-інтерфейс (рис. 2.15). Зв'язок здійснюється за комунікаційним протоколом Modbus за стандартом RS-485.

Як зазначалося вище, комунікація між контролером та ПЧ здійснюється за допомогою реєстрів (табл. 2.10).



Рисунок 2.15 — Веб-інтерфейс керування.

Кожному елементу веб-інтерфейсу відповідає реєстр. В цілому, елементи інтерфейсу можна розділити на 2 групи: елементи керування та моніторингу. Різниця полягає в можливих операціях із реєстром: для керування доступні як функції читання, так і запису, для елементів моніторингу — тільки читання.

Так до базових елементів керування належать функції надання дозволу на роботу, органи керування "старт/стоп", задання максимальної частоти на виході ПЧ, що може бути задана через інтерфейс, та безпосередньо встановлення задання на частоту. Обмеження та задання частоти можливе двома способами: за допомогою повзунків та введення дискретного значення. Взаємодія через реєстри виключає можливість задання невірної значення. Сигнал дозволу на роботу пов'язано із дискретним входом, тому доступна лише операція

зчитування — таким чином реалізується функція захисту від непередбачуваних запусків електропривода.

Зв'язок між контролером та ПЧ є двонаправленим — ПЧ передає дані стосовно роботи системи електропривода контролеру для подальшої обробки та візуалізації. До елементів моніторингу належать значення електричних параметрів системи (струм, потужність та момент двигуна), вихідна частота ПЧ та тиск, створений у системі ресиверів E , що можуть бути представлені як у вигляді дискретних значень, та і у вигляді графіків-трендів.

Таблиця 2.10 Регістри Web-інтерфейсу

Групи функцій	Функція	Код регістра	Адреса Modbus	Операції із регістром
Керування	Дозвіл на роботу	<i>IOLR</i>	5240	Read only
	Старт	<i>ACC</i>	9001	Read/Write
	Стоп	<i>dEC</i>	9002	Read/Write
	Завдання частоти	<i>LFr</i>	8052	Read/Write
	Обмеження частоти	<i>HSP</i>	3104	Read/Write
Моніторинг	Значення тиску	<i>AI1C</i>	5242	Read only
	Момент двигуна	<i>Otr</i>	3205	Read only
	Струм двигуна	<i>LCr</i>	3204	Read only
	Потужність двигуна	<i>OPr</i>	3211	Read only
	Вихідна частота ПЧ	<i>RFR</i>	3202	Read only

На основі функціональної схеми електропривода складається принципова електрична схема (рис. 2.16). Умовні позначення зведено до табл. 2.11.

Таблиця 2.11 Умовні позначення до принципової електричної схеми

Позначення	Пристрій
A1	Перетворювач частоти Altivar 312
A2	Датчик тиску OsiSense
A3	Контролер WebHMI
A4	Джерело живлення Delta Electronics

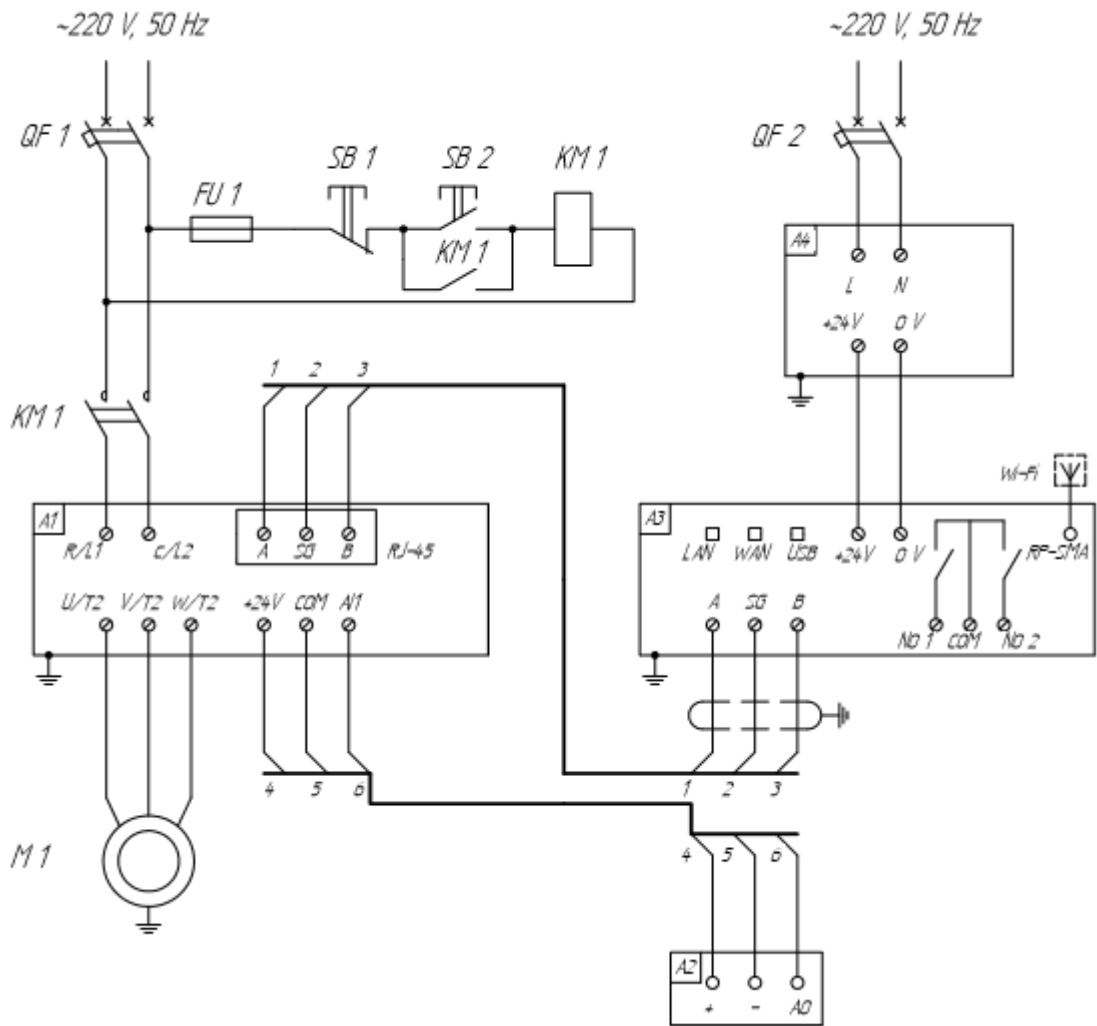


Рисунок 2.16 — Принципова електрична схема електропривода.

ЗМН	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.

Арк.

47

Висновки

В даному розділі був проведений аналіз виконавчого механізму КУ — конструкція, процес роботи та оптимальний закон керування. Були сформовані вимоги до електропривода.

На основі особливостей механізму було здійснено вибір складових комплектного електропривода та оптимального закону керування.

Розглянуто як пристрій керування, WebHMI, так і спосіб комунікації контролера із засобами автоматизації.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
						48
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Справ. №	Перв. примен.
----------	---------------

Розділ 3

Дослідження динаміки електропривода

Піп. и дата	Взам. Инв №	Инв. № дубл.	Піп. и дата
Піп. и дата	Инв. №	Инв. №	Инв. №
Инв. № підл.	Розроб.	Перев.	Т.
	Н.	Затв.	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

<i>Дослідження динаміки електропривода</i>		
Лім.	Арк.	Аркушів
Т		
141-16-5		

3.1 Визначення параметрів моделі

Для побудови моделі асинхронного двигуна (рис. 3.1) в Matlab Simulink необхідно визначити параметри схеми заміщення згідно табл. 2.3. Результати обчислень зведено до табл. 3.1.

Номинальний струм:

$$I_{\text{фн}} = \frac{P_{\text{н}}}{3U_{\text{ф}} \cdot \eta_{\text{н}} \cdot \cos\varphi} = \frac{370}{3 \cdot 220 \cdot 0.68 \cdot 0.66} = 1.25 \text{ А} \quad (3.1)$$

Базовий опір:

$$Z_{\text{б}} = \frac{U_{\text{ф}}}{I_{\text{фн}}} = \frac{220}{1.25} = 176 \text{ } \Omega \quad (3.2)$$

Активний опір обмотки статора :

$$R_1 = Z_{\text{б}} \cdot R'_1 = 100 \cdot 0.17 = 29.92 \text{ } \Omega \quad (3.3)$$

Активний опір обмотки ротора:

$$R_2 = Z_{\text{б}} \cdot R''_2 = 100 \cdot 0.14 = 24.64 \text{ } \Omega \quad (3.4)$$

Реактивний опір обмотки статора:

$$X_1 = Z_{\text{б}} \cdot X'_1 = 100 \cdot 0.086 = 15.14 \text{ } \Omega \quad (3.5)$$

Реактивний опір обмотки ротора:

$$X_2 = Z_{\text{б}} \cdot X''_2 = 100 \cdot 0.18 = 31.68 \text{ } \Omega \quad (3.6)$$

Реактивний опір ланцюгу намагнічування:

$$X_{\mu} = Z_{\text{б}} \cdot X'_{\mu} = 100 \cdot 1.4 = 246.4 \text{ } \Omega \quad (3.7)$$

Індуктивність обмотки статора:

$$L_1 = \frac{X_1 + X_{\mu}}{\omega_0} = \frac{8.6 + 140}{314} = 0.83 \text{ Гн} \quad (3.8)$$

Індуктивність обмотки ротора:

$$L_2 = \frac{X_2 + X_{\mu}}{\omega_0} = \frac{18 + 140}{314} = 0.88 \text{ Гн} \quad (3.9)$$

Максимальна взаємна індуктивність між обмотками статора і ротора:

$$L_m = \frac{X_{\mu}}{\omega_0} = \frac{140}{314} = 0.445 \text{ Гн} \quad (3.10)$$

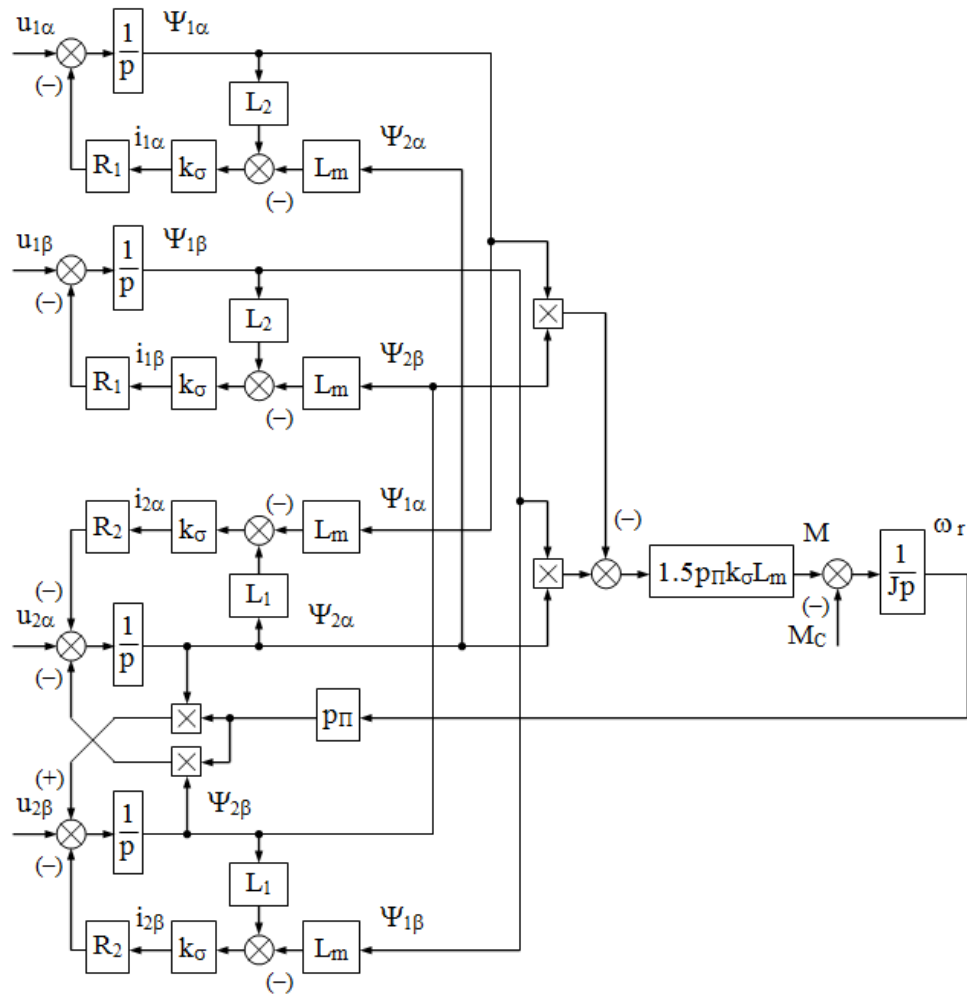
Коефіцієнт k_{σ} :

$$k_{\sigma} = \frac{1}{L_1 \cdot L_2 - L_m^2} = \frac{1}{0.47 \cdot 0.5 - 0.445^2} = \frac{1}{0.037} = 27 \quad (3.11)$$

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Таблиця 3.1 Параметри двигуна

Z_6	R_1	R_2	X_1	X_2	X_μ	L_1	L_2	L_m	k_σ
Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Ω	Гн	Гн	Гн	—
176	29.92	24.64	15.14	31.68	246.4	0.83	0.88	0.445	27

Рисунок 3.1 — Структурна схема АД в координатах α, β .

Для моделювання системи електропривода буде використана модель асинхронного електропривода AC2 з бібліотеки Matlab Simulink (рис. 3.2) [8].

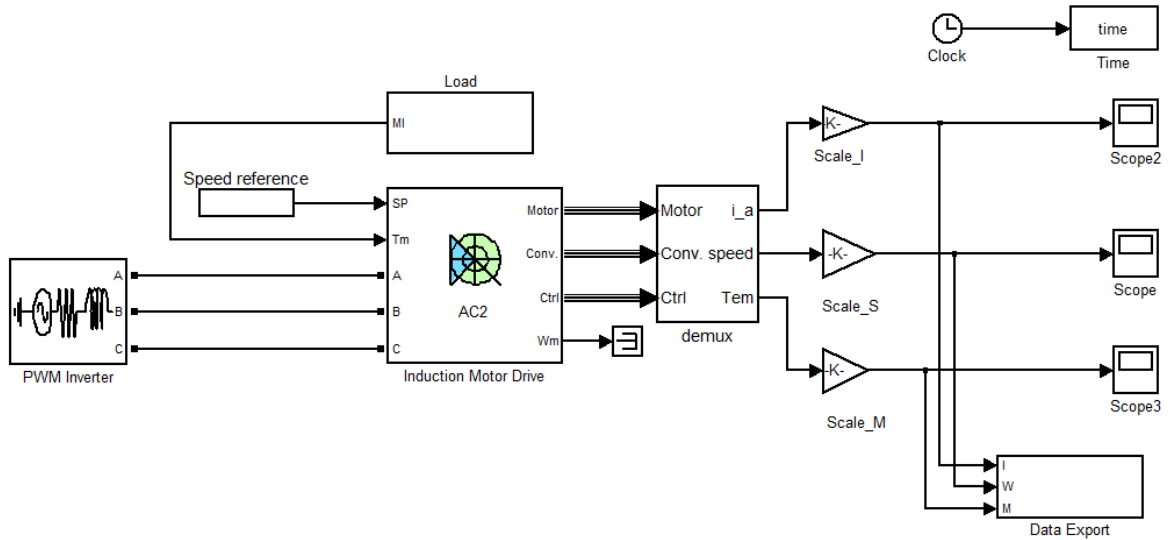


Рисунок 3.2 — Схема електропривода в Matlab Simulink.

3.2 Результати моделювання

На рис. 3.3 представлений сигнал завдання на швидкість, що подається на вхід системи. Перехідні процеси відпрацювання зображені на рис. 3.4, 3.5, 3.6, 3.7. Графіки побудовані у відносних одиницях.

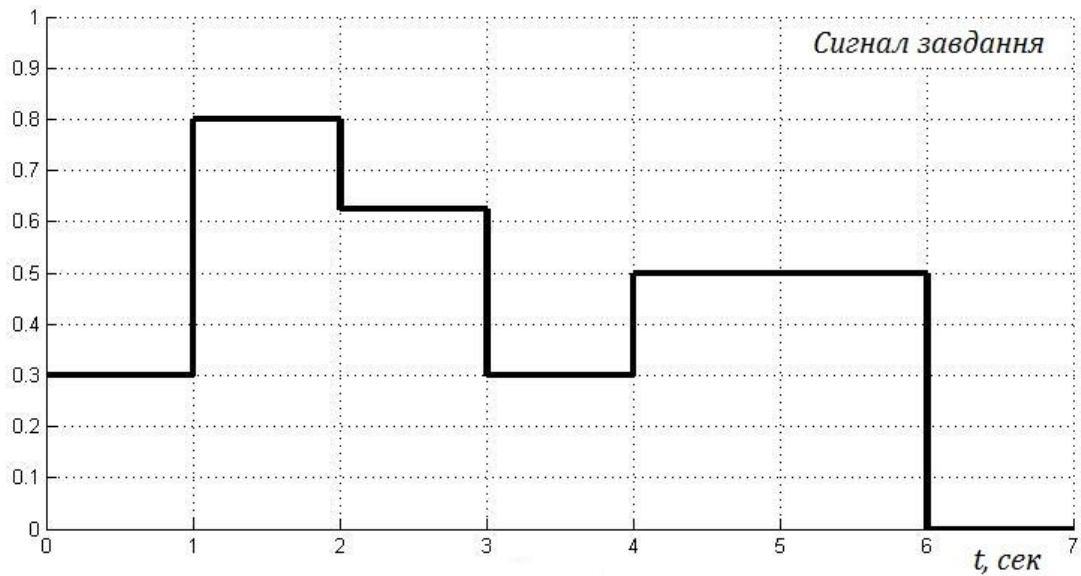


Рисунок 3.3 — Завдання на швидкість.

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

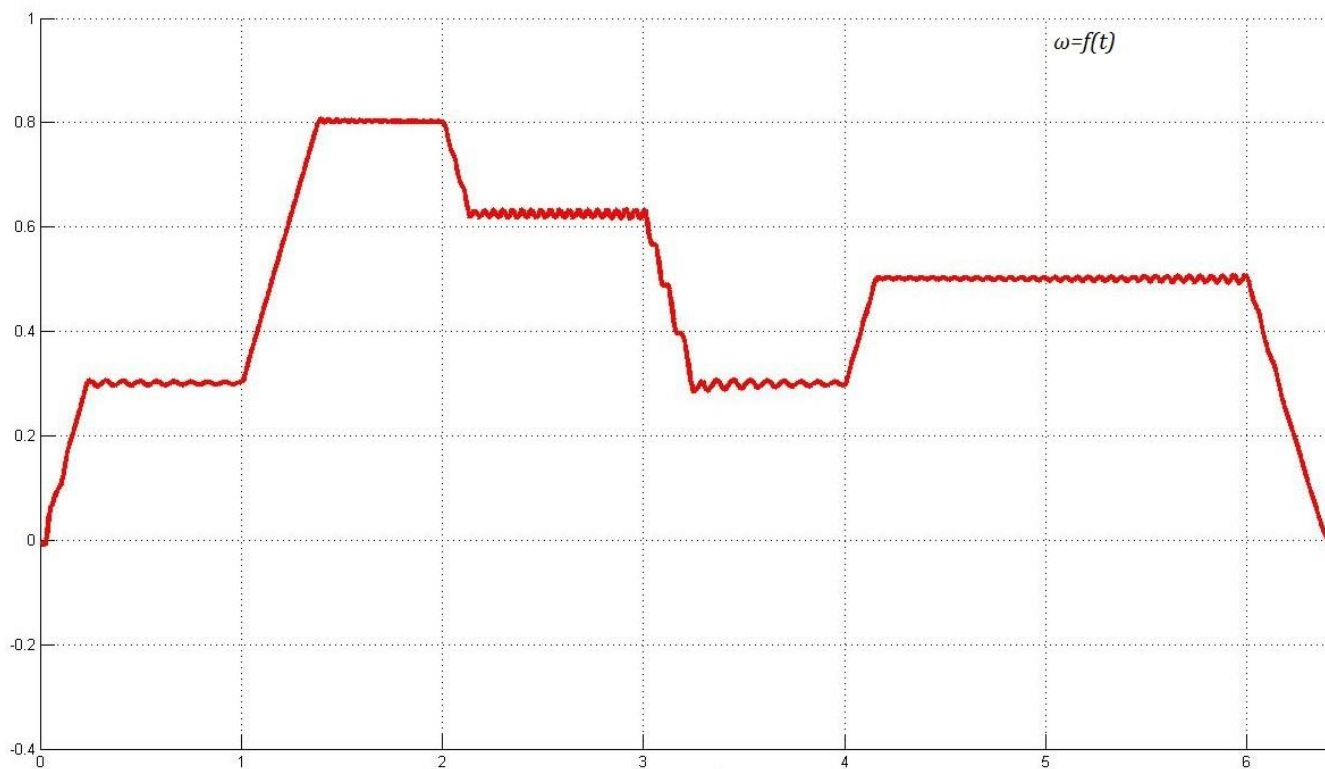


Рисунок 3.4 — Відпрацювання завдання на швидкість.

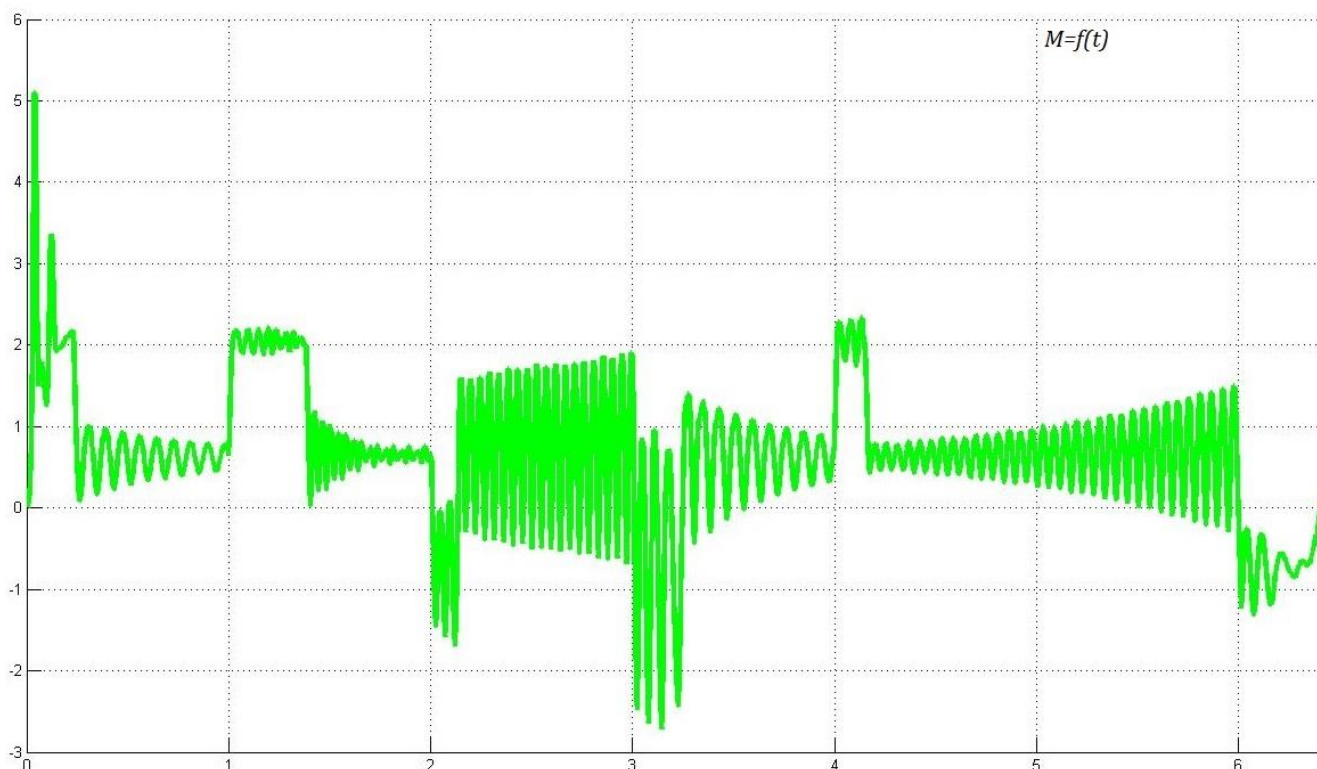


Рисунок 3.5 — Перехідний процес за моментом.

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.

Арк.

53

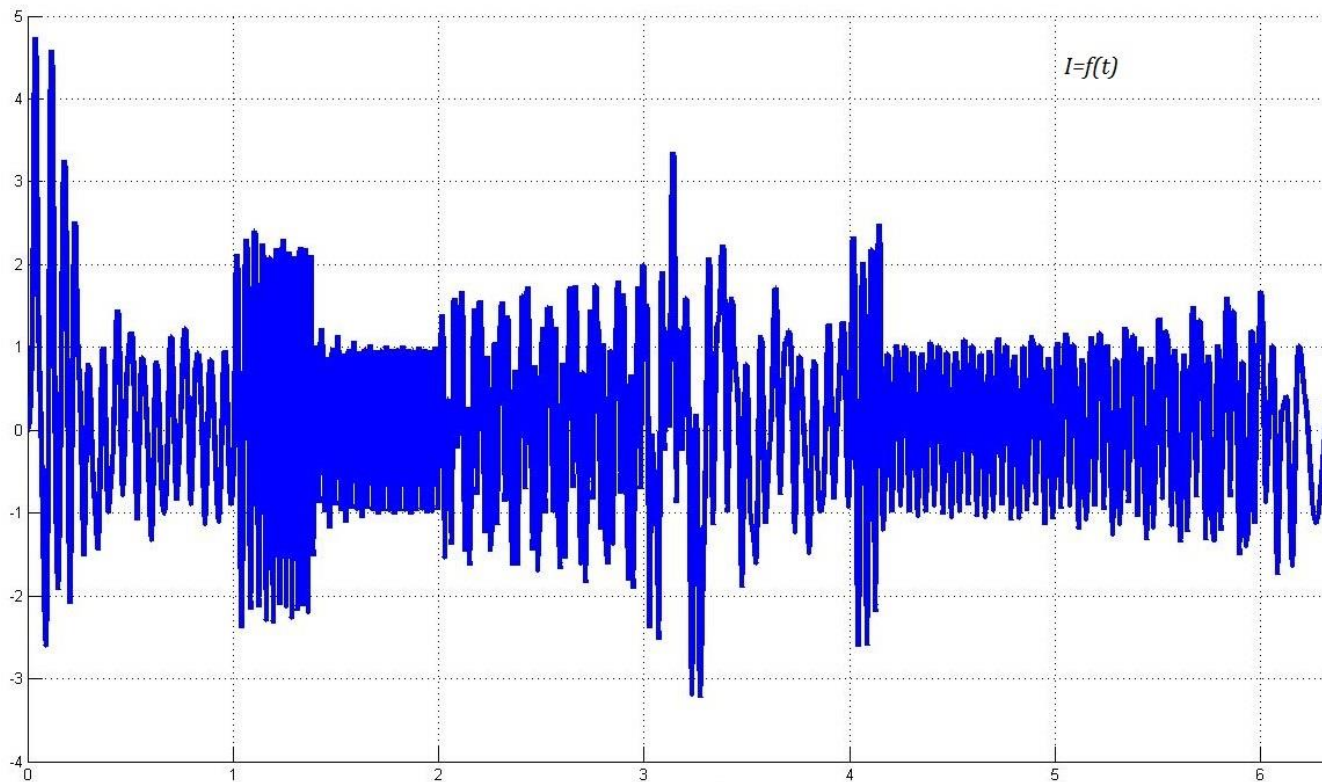


Рисунок 3.6 — Перехідні процеси за струмом.

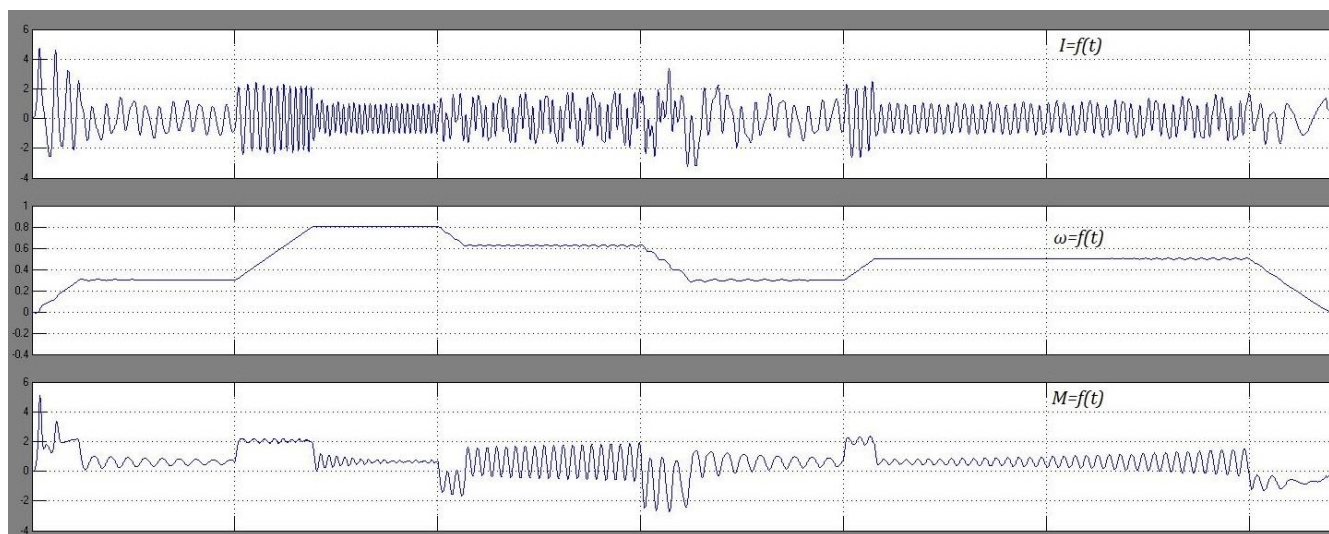


Рисунок 3.7 — Суміщені перехідні процеси за струмом, швидкістю та моментом.

Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.

Арк.

54

Висновки

В розділі були отримані перехідні процеси за струмом, швидкістю та моментом як реакція на відпрацювання сигналу завдання. Якість перехідних процесів підтверджує працездатність системи електроприводу, яка імітує навантаження на компресорну установку машинобудівного заводу.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		55

Справа. №	Перв. примен.
-----------	---------------

Підп. и дата	Инв. № дубл.	Взам. Инв №	Підп. и дата
--------------	--------------	-------------	--------------

Инв. № підп.	Розроб.	Супрун Є.О.	Підп.	Дата	Охорона праці	Літ.	Арк.	Аркушів
Перев.	Столбченко О.В.					Т		
Т.								
Н.	Казачковський							
Затв.								

Розділ 4

Охорона праці

141-16-5

Вступ

В даній дипломній роботі розглядається реалізація системи дистанційного керування електроприводом за допомогою інтеграційного контролера WebHMI.

В якості об'єкта керування виступає лабораторний стенд компресорної станції поршневого типу, що знаходиться у навчальному центрі Schneider Electric 5/34 кафедри електропривода. Лабораторна станція використовується як навчальний для підготовки студентів кафедри електропривода. Стенд імітує роботу компресорної установки як загальнопромислового, так і спеціального призначення.

WebHMI — це контролер, що працює з рядом промислових протоколів зв'язку, тобто об'єднує будь-які засоби автоматизації в єдину систему. Керування синтезованою системою може здійснюватися по локальній мережі або через інтернет практично з будь-якого пристрою. З іншого боку, WebHMI можна розглядати як SCADA-систему, бо контролер реалізує функцію моніторингу роботи системи в цілому або її окремих параметрів у режимі реального часу.

У попередніх розділах дипломної роботи було проведено аналіз робочого циклу компресора, здійснено вибір комутаційної апаратури, налагоджено перетворювач частоти та датчик зворотного зв'язку. Також було проведено узгодження комунікаційних параметрів WebHMI і частотного перетворювача, створено людино-машинний інтерфейс для керування реалізованою системою.

В даному розділі розглядаються питання небезпечних та шкідливих чинників, що супроводжують роботу промислової та лабораторної компресорної установки; приводяться засоби мінімізації впливу шкідливих факторів, заходи з пожежної профілактики для промислової та лабораторної установки. Проводиться розрахунок штучного освітлення аудиторії, в якій розміщено компресорну установку.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		57

4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників технологічного процесу

Компресорна установка (КУ) являє собою електропривод, що складається з компресора, привідного двигуна, системи керування та зворотних зв'язків, що представлені датчиками тиску, температури тощо.

Призначенням КУ є виробництво стислого повітря для живлення пневматичних систем. Сфера застосування компресорних машин охоплює такі виробничі галузі: машинобудування, медицина, фармацевтика, металургія, нафтохімічна, харчова та гірничо-промисловість.

Робота КУ тісно пов'язана із двома шкідливими чинниками — шумом та вібрацією, що зумовлюються невідповідністю сил та ударними процесами в механізмі компресора, що здійснює зворотно-поступальний рух.

Вібрація — це механічні коливання пружних тіл або коливальні рухи механічних систем, що передаються через підлогу, елементи машин та обладнання тілу людини.

КУ є джерелом як загальної (технічне обслуговування електропривода) та локальної вібрації (робота із пневматичним інструментом).

Вплив вібрації на людину відбувається у широкому спектрі частот. Так, характерними рисами впливу вібрації є ураження кістково-суглобної системи та центральної нервової системи (ЦНС). Систематична дія вібрації може призвести до стійких порушень фізіологічних функцій організму.

Основним документом нормування є Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації ДСН 3.3.6.039-99 [14]. Згідно документа основними нормованими величинами є середньоквадратичні значення віброприскорення та віброшвидкості або їх логарифмічні рівні.

Дія вібрації приводить до зміни структури конструктивних матеріалів, умов тертя, зносу на контактних поверхнях деталей машин, нагрівання конструкцій. В свою чергу це призводить до зменшення терміну експлуатації устаткування, зростання ймовірності аварійних ситуацій та виробничого травматизму. Крім того, коливання конструкцій часто є додатковим джерелом небажаного шуму.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Шум — це небажаний для людини звук, який наносить шкоду її здоров'ю, знижує працездатність та може обумовити травми внаслідок несприйняття попереджувальних сигналів.

Дія шуму на людину виявляється навіть за невеликих рівнів звуку (30 ... 70 дБА) — перевантаження ЦНС, зниження працездатності та уваги, уповільнення реакцій. Все це підвищує ризик отримання травм на виробництві та розвитку професійних захворювань. Шум рівнем понад 70 дБА здатний призвести до стійких порушень фізіологічних функцій органів слуху.

Основним документом, що нормує шум, є Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99 [13]. Основними нормованими величинами є звуковий тиск, інтенсивність звуку та частота.

До інших небезпечних чинників слід віднести:

- Надмірний нагрів робочих органів, привідних двигунів та робочого газу, що в свою чергу може призвести до порушення теплового режиму приміщення або пожежі;
- Надмірне перевантаження КУ може призвести до порушення цілісності виробничих механізмів, ресиверів, трубопроводів із можливістю вибуху.
- У разі аварійної ситуації можливі викиди токсичних газів та їх сумішей в атмосферу.

Навчальна КУ знаходиться в аудиторії Schneider Electric 5/34 на кафедрі електропривода. Це установка низького тиску та малої продуктивності — максимальний тиск, що можливо створити, становить 2 атм, максимальна продуктивність складає 30 л/хв. В процесі роботи компресор всмоктує атмосферне повітря і нагнітає його в систему ресиверів.

До небезпечних чинників варто віднести:

- Низький ступінь захищеності ІР компресора (відкрите виконання);
- Можливість ураження електричним струмом при недотриманні правил техніки безпеки;
- Підвищення припустимого рівня шуму та вібрації.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

Вплив токсичних, легкозаймистих газів та їх сумішей є неможливим адже в процесі КУ працює із атмосферним повітрям. Ризик підвищення температури газу, робочих органів компресора та привідного двигуна виключається через неможливість створення перевантаження КУ.

4.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

Як було показано вище, основними шкідливими чинниками КУ є вібрація та шум.

Для запобігання шкідливої дії вібрації на організм працюючих здійснюються інженерно-технічні, організаційні та профілактичні медичні заходи.

Інженерно-технічні заходи спрямовані на:

- Зменшення вібрації у джерелі її виникнення або зниження вібрації на шляху її розповсюдження;
- Компенсація перекосів та деформацій в процесі експлуатації;
- Зниження ударних навантажень.

Одним із способів є вібродемпфування. Спосіб передбачає використання у конструкціях матеріалів із великим внутрішнім тертям, нанесення шару пружних матеріалів на вібруючі поверхні. Товщина покриття вібродемпфуючими матеріалами має перевищувати товщину віброізолюючих тонкостінних деталей у 2 – 3 рази.

КУ рекомендується встановлювати на масивні фундаменти чи віброізолюючі опори — сталеві або пневматичні пружини, гумові прокладки та пластмаси. Таким чином, у коливальну систему вводиться додатковий пружний зв'язок, що запобігає передачі вібрації від однієї частини конструкції до іншої. Між фундаментами під устаткуванням і стінами будівель повинна бути відстань. Віброізоляція є найефективнішим заходом зменшення локальної вібрації, що передається на руки від пневматичного інструмента.

Зменшення рівня шуму, створюваного КУ, здійснюється шляхом:

- Використанням засобів звукової ізоляції/поглинання;
- Балансування та врівноваження частин обладнання;
- Використанням гнучких з'єднань;

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

- Використанням зубчастих передач із спеціальним профілем або їх заміною на малошумні передач;
- Поліпшенням змащування;
- Заміною підшипників кочення на підшипники ковзання.

Застосування засобів звукової ізоляції передбачає створення спеціальних пристроїв-перешкод у вигляді стінок, перегородок, кожухів, що перешкоджають поширенню шуму з одного приміщення в інше або в межах одного приміщення. Принцип дії полягає в тому, що більша частина звукової енергії відбивається від перешкоди, і лише незначна доля поширюється приміщенням.

Ефективним способом боротьби із шумом є концентроване розташування компресорних машин і подальша звукова ізоляція, що виконується за допомогою екранів, кожухів, перетинок.

Звукоізолюючі кожухи закривають найбільш шумні агрегати, вони виготовляються із сталі, дюралюмінію. З внутрішнього боку кожухи облицьовуються звукопоглинальними матеріалами завтовшки 30 – 50 мм. Прикладами звукопоглинальних матеріалів є плити із скляного та мінерального волокна, картон, гума тощо. Перевагою цього способу є суттєве зниження шуму.

Іншим засобом є встановлення звукопоглинаючих перешкод, що виконуються у вигляді кубів, конусів, перфорованих екранів. Матеріалами для їх виготовлення є мінеральна повсть, вата, поролон, скловата.

Обов'язковою частиною КУ є глушники. Активні глушники (трубчасті, екранні) поглинають звукову енергію, пасивні (камерні, резонансні) — відбивають назад до джерела.

Для зменшення негативного впливу від вібрацій та шуму необхідне раціональне розташування устаткування та робочого місця, організація дистанційного керування виконавчими механізмами та дотримання режиму роботи і відпочинку працівників.

Якщо технічними засобами не вдається зменшити рівень вібрацій та шуму до норми, необхідно забезпечити працівників індивідуальними засобами захисту.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	<i>Арк.</i>
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>61</i>

Головним недоліком лабораторної КУ є відкрите виконання компресора та розміщення привідного двигуна та компресора на підлозі аудиторії. В процесі роботи із лабораторною установкою це призводить до підвищення рівня шуму в аудиторії та перевантаження ЦНС у разі тривалої роботі зі стендом.

Для зменшення ймовірності отримання травм рекомендується використання звукоізолюючого кожуху. Це дозволить зберегти існуючу схему підключення компресора, зменшити створюваний установкою шум та виключити можливість отримання травм через відкриту конструкцію компресора. Для боротьби із створюваною вібрацією доцільним рішенням є встановлення привідного двигуна та компресора на віброізолюючу гумову прокладку.

4.3 Пожежна профілактика

Можливими джерелами виникнення пожежі при роботі КУ є:

- Іскри механічного походження при виникненні биття приводу КУ;
- Електричні розряди, що виникають при неправильному виборі електроустаткування, не припустимому зносі комутаційної апаратури;
- Непомірне нагрівання поверхонь приводних двигунів, робочих органів КУ;
- Неправильний монтаж та експлуатація КУ;
- Порухення роботи системи змащування ;
- Надмірне нагрівання газу при механічному стисканні;
- Внесення відкритого джерела запалювання внаслідок порушення правил пожежної безпеки.

Шляхи поширення пожежі:

- По паро- газоповітряній хмарі (часто з вибухом);
- По спорожнених технологічних трубопроводах і комунікаціях;
- Через технологічні і будівельні прорізи.

Таким чином, основною причиною виникнення пожежі при роботі КУ є перевантаження електропривода, несправність комутаційної та запобіжної апаратури та суворі порушення правил Техніки безпеки та Правил пожежної безпеки.

До заходів пожежної профілактики відносять:

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

- Установка газоаналізаторів та датчиків-сповіщувачів для системи пожежної сигналізації;
- Установка запобіжних клапанів з відводом в усмоктувальну порожнину;
- Використання справних датчиків тиску та температури газу та устаткування;
- Систематичний контроль та своєчасний ремонт виробничого обладнання.

В залежності від потужності КУ та типу робочого приміщення можуть бути використані датчики-сповіщувачі наступних типів.

Теплові — це датчики, основним органом яких є теплове реле, через це вони дуже інерційні. Використання датчиків цього типу є виправданим тільки у разі виділення значної кількості тепла на початку пожежі.

Димові — це датчики, що реагують на появу диму навколо робочої точки. Такі пристрої є економічно вигідними, проте їх використання обмежується небезпекою пожежі без виникнення диму, також можливі помилкові спрацювання.

Газові — це датчики, що аналізують хімічний склад повітря. При реєстрації вмісту продуктів горіння в атмосфері подається сигнал сповіщення. Датчики цього типу відрізняються швидкодією та чутливістю, проте їх використання повинно бути економічно доцільним.

Лабораторна КУ розміщена в навчальній аудиторії кафедри електропривода. Основну небезпеку представляє можливість виникнення пожежі класу Е (горіння електроустановок, що знаходяться під напругою).

Можливі причини займання носять електричний характер — коротке замикання, перевантаження та іскріння струмоприймачів, несправність стартерів люмінесцентних світильників.

Спираючись на перелічені можливі причини, пожежна профілактика передбачає:

- Контроль справності електрообладнання та комутаційної апаратури;
- Забезпечення аудиторії необхідними засобами пожежогасіння;
- Встановлення датчиків-сповіщувачів;

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

- Рациональне розміщення обладнання та меблів для швидкої евакуації у разі виникнення пожежі;
- Регулярне проведення інструктажів з техніки безпеки та пожежної профілактики.

Для навчальної аудиторії оптимальним є використання газових, димових або комбінованих датчиків. При виникненні пожежі необхідне використання вуглекислотних вогнегасників.

Порядок дій при виникненні пожежі [10]

- У разі виявлення ознак пожежі (горіння) кожний громадянин зобов'язаний: негайно повідомити про це за телефоном 101. При цьому необхідно назвати місцезнаходження об'єкта, вказати кількість поверхів будинку, місце виникнення пожежі, обстановку на пожежі, наявність людей, а також повідомити своє прізвище;
- Вжити (за можливості) заходів щодо евакуювання людей, гасіння (локалізації) пожежі первинними засобами пожежогасіння та збереження матеріальних цінностей; якщо пожежа виникла на підприємстві, повідомити про неї керівника чи відповідну компетентну посадову особу та (або) чергового на об'єкті;
- У разі необхідності викликати інші аварійно-рятувальні служби.

4.4 Розрахунок штучного освітлення

У даному дипломному проекті проводиться дослідження лабораторної КУ, НТУ «Дніпровська політехніка», яка знаходиться в лабораторії Schneider Electric на кафедрі електропривода (5/34), і слугує для навчання студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

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

Вхідними даними слугують розміри та тип приміщення, характеристика зорової роботи для проектного технологічного процесу. Розміри приміщення зведені до табл. 4.1.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

У даному дипломному проєкті буде проводитись розрахунок методом коефіцієнта використання.

Табл.4.1

Розміри приміщення

Параметр	Умовне позначення	Розміри	Одиниці виміру
Довжина	A	12	м
Ширина	B	9	м
Висота	H	3	м
Площа	S	108	м ²

Необхідний світловий потік ламп у кожному світильнику визначається:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta}, \text{ де} \quad (4.1)$$

E — нормована мінімальна освітленість, [лк];

S — освітлювана площа, [м²];

k — коефіцієнт запасу;

z — коефіцієнт мінімальної освітленості;

N — число світильників у приміщенні;

η — коефіцієнт використання світлового потоку.

Величина E приймається відповідно до “Норм освітленості робочих поверхонь у виробничих приміщеннях” (табл. 5.1 [11]). Для навчальної аудиторії обираємо норму V розряду. При загальному освітленні приймаємо $E = 150$ лк.

Площа приміщення приймається $S = 108$ м², згідно табл. 4.1.

Коефіцієнт запасу обирається згідно типу приміщення та світильників, ступеня забруднення атмосфери виробничих приміщень пилом, димом, кіптявою. Відповідно до табл. 5.4 [11], для суспільних приміщень з світильниками з газорозрядними лампами приймаємо коефіцієнт запасу $k = 1.5$.

Коефіцієнт мінімальної освітленості для люмінесцентних ламп приймаємо $z = 1.1$.

Розрахункова висота підвісу h світильників задається, як правило, розмірами приміщення. Найбільш вигідне співвідношення відстані між світильниками до розрахункової висоти підвісу приймається по табл. 5.5 [11].

$$\lambda = \frac{L}{h}, \text{ де} \quad (4.2)$$

L — відстань між світильниками з крапковими джерелами світла, [м];

h — розрахункова висота, [м].

У відповідності до ДСТ І3828-74, для навчальної аудиторії рекомендується використання світильників прямого світла, типова крива — “глибока”. Приймаємо $\lambda = 0.9$ згідно табл. 5.5 [11].

Відстань між крайніми світильниками та стіною визначається:

$$l = 0.3 \cdot L \quad (4.3)$$

Розрахункова висота визначається:

$$\begin{aligned} h &= H - h_{зв} - h_{рп} = \\ &= 3 - 0.1 - 0.8 = 2.1 \text{ м, де} \end{aligned} \quad (4.4)$$

H — загальна висота приміщення, [м]. Приймається згідно табл.

$h_{зв}$ — висота звису світильників, [м]. Приймаємо $h_{зв} = 0.2$ м.

$h_{рп}$ — висота робочої поверхні над підлогою, [м]. Приймаємо $h_{рп} = 0.8$ м.

Відстань між рядами світильників:

$$L_p = \lambda \cdot h = 0.9 \cdot 2.1 = 1.89 \text{ м} \quad (4.5)$$

Кількість рядів світильників:

$$N_p = \frac{A}{L_p} = \frac{12}{1.89} \approx 6 \quad (4.6)$$

Кількість світильників у ряді:

$$N_k = \frac{B - l}{L_p} = \frac{9 - 0.567}{1.265} \approx 4 \quad (4.7)$$

Загальна кількість світильників:

$$N = N_p \cdot N_k = 4 \cdot 6 = 24 \quad (4.8)$$

Індекс приміщення:

$$i = \frac{A \cdot B}{h \cdot (A + B)} = \frac{12 \cdot 9}{2.1 \cdot (12 + 9)} = \frac{108}{42} \approx 2.5 \quad (4.9)$$

Для визначення коефіцієнта використання світлового потоку η визначаємо за табл. 5.6 [11] коефіцієнти відображень поверхонь приміщення — стелі, стін та робочої поверхні.

Приймаємо $\rho_c = 0.7, \rho_{ст} = 0.5, \rho_{рп} = 0.1$.

Спираючись на індекс приміщення та коефіцієнти відбиття, приймаємо згідно табл. 5.7 [11] значення $\eta = 0.7$ для люмінесцентних світильників прямого світла та “глибокої” кривої сили світла.

Необхідний світловий потік ламп у кожному світильнику:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{150 \cdot 108 \cdot 1.5 \cdot 1.1}{24 \cdot 0.7} = 1591 \text{ лм} \quad (4.10)$$

Згідно виконаних розрахунків, обираємо лампи типу ЛХБ30-4, параметри яких зведено до табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Параметри ламп типу ЛХБ30-4

Тип лампи	Потужність, Вт	Напруга на лампі, В	Світловий потік, лм, потік після 100 ч горіння		
			номінальний	мінімальний	розрахунковий
ЛХБ30-4	30	104	1720	1490	1605

Висновки

У даному розділі дипломного проекту було проведено опис шкідливих та небезпечних факторів, які можуть виникнути при роботі з компресорними установками в цілому, а також з досліджуванним лабораторним стендом.

Було розглянуто способи мінімізації впливу шкідливих та небезпечних факторів пов'язаних із роботою компресорного обладнання.

Розглянуто причини виникнення пожеж та заходи з їх попередження для компресорних установок. Для лабораторного стенда, що знаходиться в навчальній аудиторії, було наведено можливі причини виникнення пожежі та необхідний порядок дій у разі її виникнення.

Проведено розрахунки штучного освітлення в аудиторії. Згідно розрахунків необхідний світловий потік в кожному світильнику становить 1591 лм, для організації штучного освітлення необхідне використання люмінесцентних ламп типу ЛХБ30-4 загальною кількістю 24 шт.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		68

Перв. примен.

Справ. №

Підп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. інв №

Підп. и дата

Инв. № підп.

Розділ 5

Техніко-економічне обґрунтування

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Розроб.	Супрун Є.О.			
Перев.	Тимошенко Л.В.			
Т.				
Н.	Казачковський			
Затв.				

Техніко-економічне обґрунтування		
Літ.	Арк.	Аркушів
Т		
141-16-5		

Вступ

В даній дипломній роботі розглядається реалізація системи дистанційного керування електроприводом за допомогою інтеграційного контролера WebHMI.

В якості об'єкта керування виступає лабораторний стенд компресорної станції, що знаходиться у навчальному центрі Schneider Electric (5/34) кафедри електропривода. Стенд імітує роботу компресорної установки як загальнопромислового, так і спеціального призначення. Таким чином, робота зі стендом дозволяє вдосконалити практичні навички з побудови систем автоматичного керування електроприводом широкого профілю.

WebHMI — це контролер, що працює з рядом промислових протоколів зв'язку, тобто об'єднує будь-які засоби автоматизації в єдину систему. Керування синтезованою системою може здійснюватися по локальній мережі або через інтернет практично з будь-якого пристрою. З іншого боку, WebHMI можна розглядати як SCADA-систему, бо контролер реалізує функцію моніторингу роботи системи в цілому або її окремих параметрів у режимі реального часу. Окрім моніторингу, контролер надає можливість запису статистичної інформації стосовно стану системи в цілому, окремих параметрів для подальшого аналізу і представлення у вигляді таблиць та діаграм.

Актуальність впровадження WebHMI підтверджується світовими тенденціями розвитку промисловості — інтенсивною автоматизацією виробництва та впровадженням технологій бездротового зв'язку.

У попередніх розділах дипломної роботи було проведено аналіз робочого циклу компресора, здійснено вибір комутаційної апаратури, налагоджено перетворювач частоти та датчик зворотного зв'язку. Також було проведено узгодження комунікаційних параметрів WebHMI і частотного перетворювача, створено людино-машинний інтерфейс для керування реалізованою системою.

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

					<i>Е.П.П.Д.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

5.1 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні інвестиції — це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації. Капітальні інвестиції з реалізації проектного технічного рішення включають витрати на придбання, транспортування обладнання та витрати, пов'язані з проведенням монтажних-налагоджувальних робіт [15].

При визначенні величини проектних капіталовкладень $K_{пр}$ можна скористатися формулою:

$$K_{пр} = K_{об}(\sum_{i=1}^k C_i) + Z_{тзс} + Z_m + Z_n + Z_{пр}, \quad (5.1)$$

де $K_{об}(\sum_{i=1}^k C_i)$ — вартість придбання електрообладнання (програмного забезпечення, засобів автоматизації тощо) за проектом або сумарна вартість комплектуючих елементів i - го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення;

k — кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{тзс}$ — транспортно-заготівельні і складські витрати;

Z_m — витрати на монтажні роботи;

Z_n — витрати на налагоджувальні роботи;

$Z_{пр}$ — інші одноразові вкладення грошових коштів.

Витрати на придбання технічних засобів та комплектуючих виробів зведені до табл. 5.1.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
						71
<i>ЗМН</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

Зведення капітальних витрат

№ з/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн	Обґрунтування
1	Силовий автомат Schneider Electric EZ9F34206 Easy9	1	191	191	[16]
2	Промислове джерело живлення Delta Electronics DRP024V060W1AZ	1	815	815	[17]
3	Інтеграційний контролер WebHMI	1	17916	17916	[18]
ВСЬОГО				18922	

Транспортно-заготівельні і складські витрати $Z_{\text{тзс}}$ визначаються наступним чином.

Вартість транспортно-заготівельних витрат на придбання силового автомата Schneider Electric за представленими даними та тарифами служби перевезень «Нова Пошта» (URL: <https://novaposhta.ua/delivery>) за доставку посилки вагою 0.23 кг та габаритами 81 × 36 × 67 мм на відстань 474 км, маршрут Київ — Дніпро становить:

$$Z_{\text{тз1}} = 51 \text{ грн}$$

Вартість транспортно-заготівельних витрат на придбання промислового джерела живлення Delta Electronics за представленими даними та тарифами служби перевезень «Нова Пошта» (URL: <https://novaposhta.ua/delivery>) за доставку посилки вагою 0.3 кг та габаритами 121 × 32 × 113 мм на відстань 474 км, маршрут Київ — Дніпро становить:

						<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			72

$$З_{ТЗ2} = 56 \text{ грн}$$

Вартість транспортно-заготівельних витрат на придбання інтеграційного контролера WebHMI за представленими даними та тарифами служби перевезень «Нова Пошта» (URL: <https://novaposhta.ua/delivery>) за доставку посилки вагою 0.3 кг, та габаритами 101 × 35 × 120 мм на відстань 98 км, маршрут Запоріжжя — Дніпро становить:

$$З_{ТЗ3} = 154 \text{ грн}$$

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

$$З_{ТЗс} = З_{ТЗ1} + З_{ТЗ2} + З_{ТЗ3} = 51 + 56 + 154 = 261 \text{ грн} \quad (5.2)$$

Темою даної дипломної роботи є вдосконалення існуючого стенда компресорної установки. Капітальні витрати на придбання обладнання компресорної установки зведені до табл. 5.2.

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

$$З_{м} = \sum (Ч_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{см} \cdot K_{пр}, \quad (5.3)$$

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

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

$t_i = 8$ — час, необхідний для виконання певного обсягу 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:

$$\begin{aligned} З_{м} &= \sum (Ч_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{см} \cdot K_{пр} = \\ &= (2 \cdot 44,64 \cdot 8) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 1006 \text{ грн} \end{aligned} \quad (5.4)$$

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

Капітальні витрати на придбання обладнання компресорної установки

№ з/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн	Обґрунтування
1	Автоматичний вимикач ЕТІ 002163514	1	270	270	[19]
2	Трифазний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором серії АИР63В4У2	1	1320	1320	[20]
3	Датчик тиску Osi Sense XMLF010D2115	1	7753	7753	[21]
4	Перетворювач частоти для асинхронних електродвигунів 0,18 кВт Schneider Electric Altivar312 (ATV 312H018M2)	1	5352	5352	[22]
5	Компресор мембранний	1	990	990	[23]
ВСЬОГО				15685	

Витрати на налагоджувальні роботи Z_n можна визначити наступним чином:

$$Z_n = \sum (C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{cm} \cdot K_{np}, \quad (5.5)$$

де $C_i = 2$ — чисельність працівників V розряду, необхідних для виконання певного обсягу налагоджувальних робіт, чел.;

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

$t_i = 24$ — час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних робіт, год.;

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		74

$K_d = 1,1$ — 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 монтажних робіт.

Витрати на налагоджувальні роботи становлять:

$$\begin{aligned} Z_H &= \sum(C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{cm} \cdot K_{пр} = \\ &= (2 \cdot 50,52 \cdot 24) \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 3417 \text{ грн} \end{aligned} \quad (5.6)$$

Інші одноразові вкладення грошових коштів $Z_{пр}$ відсутні, тому не будуть враховуватись у розрахунку.

$$Z_{пр} = 0 \text{ грн}$$

Розрахунок проектних капіталовкладень:

$$\begin{aligned} K_{пр} &= K_{об}(\sum_{i=1}^k C_i) + Z_{тзс} + Z_m + Z_H + Z_{пр} = \\ &= 18922 + 15685 + 261 + 1006 + 3417 = 39291 \text{ грн} \end{aligned} \quad (5.7)$$

5.2 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 теми даної дипломної роботи буде виконано розрахунок амортизаційних відрахувань та витрат на технічне обслуговування і ремонт.

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складають:

$$C = AO + C_T \quad (5.8)$$

5.2.1 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання. Строк корисного використання (експлуатації) об'єктів основних засобів визначається підприємством самостійно виходячи з очікуваних економічних вигоди, технічних і якісних характеристик основного засобу, морального і фізичного зносу, а також інших факторів, які можуть вплинути на можливість використання. Термін корисного використання повинен

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		75

бути не менший мінімально допустимого терміну корисного використання. У табл. 5.2 наведено мінімально допустимі терміни корисного використання для окремих груп основних засобів.

Таблиця 5.2

Мінімально допустимі терміни корисного використання за окремими групами основних засобів

Група	Основні засоби	Термін корисного використання, років
3	Будівлі	20
	Споруди	15
	Передавальні пристрої	10
4	Машини і обладнання	5
	ЕОМ, машини для автоматичної обробки інформації, пов'язані з ними засоби зчитування або друку інформації, комп'ютерні програми, інформаційні системи тощо.	2
5	Транспортні засоби	5
6	Інструменти, прилади, інвентар (меблі)	4

Відповідно до табл. 5.2 придбане устаткування відноситься до групи 4, мінімальний допустимий термін використання становить 2 роки.

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:

$$\Phi_a = \Phi_{\Pi} - Л, \quad (5.9)$$

де Φ_{Π} — первісна вартість об'єкта основних засобів; $Л$ — розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

У випадку придбаного обладнання ліквідаційну вартість приймаємо як 10 % первісної вартості :

$$Л = \Phi_{\Pi} \cdot 0,1 = (18922 + 15685) \cdot 0,1 = 3461 \text{ грн} \quad (5.10)$$

Тоді вартість основних засобів, що амортизується Φ_a дорівнює:

$$\Phi_a = \Phi_{\Pi} - Л = 34607 - 3461 = 31146 \text{ грн} \quad (5.11)$$

Амортизаційні відрахування знаходяться за прямолінійним методом за наступною формулою:

$$AO = \Phi_a / T_{\Pi}, \quad (5.10)$$

де T_{Π} — термін корисного використання (амортизаційний період);

Річний фонд амортизаційних відрахувань становить:

$$AO = \Phi_a / T_{\Pi} = 31146 / 2 = 15573 \text{ грн} \quad (5.11)$$

5.2.2 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 обслуговуючому персоналу на оновлення версії програмного забезпечення.

Аналогічне обладнання потребує витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт в обсязі 500 грн на рік:

$$C_T = 500 \text{ грн}$$

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		77

Висновки

В даному розділі була проведено розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат.

Для реалізації даного дипломного проекту проектні капіталовкладення становлять 39 291 гривень, річні експлуатаційні витрати — 16 073 гривень.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		78

Перв. примен.

Справ. №

Висновки

Підп. и дата

Інв. № дубл.

Взам. інв №

Підп. и дата

Інв. № підп.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата

Розроб.	Супрун Є.О.			
Перев.	Азюковський			
Т.				
Н.	Казачковський			
Затв.				

--	--	--

--

--

Висновки

Літ.	Арк.	Аркушів
Т		
141-16-5		

Висновки

Метою даної дипломної роботи була інтеграція контролера WebНМІ в систему електропривода лабораторної компресорної установки для реалізації функцій віддаленого керування та моніторингу.

Для виконання поставленої мети було проаналізовано конструкцію, робочий термодинамічний цикл мембранного компресора, що є основною складовою компресорної установки. Спираючись на кінематичні, пневматичні схеми установки та її цикл роботи, було сформовано вимоги до електропривода. На основі вимог був здійснений вибір складових комплектного електроприводу — приводний двигун, перетворювач частоти, датчик зворотного зв'язку за тиском, комутаційна апаратура — та оптимальний закон керування.

Після вибору складових електропривода був розглянутий контролер WebНМІ, його технічні можливості та способи комунікації із перетворювачем частоти. Віддалене керування та моніторинг реалізовано шляхом створення веб-інтерфейсу у вигляді мнемосхеми.

Дослідження динаміки електропривода було здійснено за допомогою моделі Matlab Simulink. Отримані перехідні процеси свідчать про працездатність системи та відповідність вимогам до електропривода.

В розділі, присвяченому охороні праці, були розглянуті шкідливі і небезпечні чинники, що супроводжують роботу компресорної установки як промислового, так і лабораторного призначення, та їх можливі наслідки; були запропоновані заходи усунення шкідливих факторів для обох випадків. Описані заходи пожежної профілактики для компресорних установок. Для навчальної аудиторії, в якій розміщено лабораторний стенд, був виконаний розрахунок штучного освітлення.

У наступному розділі була проведена оцінка проектних капіталовкладень, необхідних для інтеграції контролера в систему електропривода. Також було розраховано очікувані експлуатаційні витрати.

Спираючись на проведену роботу, можна зробити висновок, що найефективнішим способом керування компресорною установкою є використання регульованого електропривода. Запровадження функцій віддаленого керування та

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		80

моніторингу забезпечує подальшу автоматизацію виробництва та відповідає світовим тенденціям розвитку промисловості, що підтверджує актуальність застосування технологій віддаленого керування та моніторингу.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
<i>Змн</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		<i>81</i>

Справа. №	
Перв. примен.	

Список використаних джерел

Підп. и дата	
Ив. № дубл.	
Взам. івв №	
Підп. и дата	
Ив. № підп.	

Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Супрун Є.О.		
Перев.		Азюковський		
Т.				
Н.		Казачковський		
Затв.				

<i>Список використаних джерел</i>		
Літ.	Арк.	Аркушів
Т		
141-16-5		

Посилання

1. Автоматизированный электропривод промышленных установок/ Г.Б. Онищенко, М.И. Аксенов, В.П. Грехов, М.Н. Зарницкий, А.В. Куприков, А.И. Нитиевская (под общей редакцией Г.Б.Онищенко) – М.: РАСХН – 2001. – 520 с.
2. Воздухоснабжение промышленного предприятия: учеб. пособие / В.В. Портнов. Воронеж: ГОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2007, 228 с.
3. Методичні вказівки до практичних робіт з дисципліни «Вентильний електропривод загальнопромислових механізмів» для студентів спеціальності 141 «Електротехніка, електроенергетика та електромеханіка» / Бородай В.А., Боровик Р.О.; НТУ «Дніпровська політехніка». — Д.: НТУ «ДП», 2018 — 24 с.
4. Altivar 312. Перетворювачі частоти для асинхронних двигунів: Керівництво користувача. – К. Schneider Electric, 2009. – 46 с.
5. Перетворювачі частоти Altivar 312: Комунікаційні параметри – К. Schneider Electric, 2009. – 68 с.
6. Altivar 312. Перетворювачі частоти: Каталог UAM-DIA2ED2090404. – К. Schneider Electric, 2011. – 70 с.
7. Sensors for pressure control OsiSense XM: Каталог. – К. Schneider Electric, 2011. – 202 с.
8. WebHMI Wiki (URL: <http://wiki.webhmi.com.ua>).
9. Demo AC2 URL: <https://uk.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/ac2-space-vector-pwm-vsi-induction-3hp-motor-drive.html>
10. Методичні вказівки до виконання розділу „Охорона праці“ в дипломних проектах (роботах) бакалаврів інституту електроенергетики / В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2012. – 8 с.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		83

11. Методичні вказівки з виконання розрахункової частини розділу „Охорона праці” в дипломних проектах студентів інституту електроенергетики. Частина 1 /Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Я.Я. Лебедев, В.Є. Колесник – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. – 2004. – 34 с.
12. Правила пожежної безпеки в Україні.
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#n14>
13. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99>
14. Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації ДСН 3.3.6.039-99
URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va039282-99/sp:java-:max20>
15. Методичні рекомендації до виконання розділу “Техніко-економічне обґрунтування” дипломного проекту бакалавра напряму підготовки 6.050702 “Електромеханіка” /Укл.: Тимошенко Л.В. – Дніпропетровськ: НГУ, 2012. – 12 с.
16. 220volt URL: <https://220volt.com.ua/avtomaticheskij-viklyuchatel-schneider-electric-easy9-2p-6a-har-ka-c-4-5ka-ez9f34206/> (дата звернення 29.05.2020)
17. Mean Well URL: <https://meanwell.kiev.ua/p678728877-drp024v060w1az-blok-pitaniya.html> (дата звернення 29.05.2020)
18. Весса-Україна URL: <https://vessa-ukraine.all.biz/integracionnyj-kontroller-webhmi-g17592050> (дата звернення 29.05.2020)
19. AxiomPlus URL: <https://axiomplus.com.ua/avtomaticheskije-vyklyuchateli/product-96677/> (дата звернення 29.05.2020).
20. Днепропетровский электротехнический завод
URL: https://detzdnipro.all.biz/elektrovdigatel-air-63-v4-0-37-kvt1500-obmin-g11330464?gclid=EAIaIQobChMI-pbpxuPY6QIVjZiYCh0Xaw6cEAYYCSABEGJ-8vD_BwE (дата звернення 29.05.2020).

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
ЗМН	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		84

21. Schneider Electric URL: <https://www.se.com/ua/ru/product/XMLF010D2115>
(дата звернення 29.05.2020)
22. Schneider Electric URL:
<https://www.se.com/ua/ru/product/ATV312H018M2B>
(дата звернення 29.05.2020)
23. Sunsun URL: https://sunsun.ua/p/429-sunsun-dy-30_30_1_m.html
(дата звернення 29.05.2020)
24. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Налагодження ПЧ з ПД-регулятором в системи електропривода підлеглого керування за технологічним параметром. Компресорна установка» з професійно-орієнтованої дисципліни «Вентильний електропривод загальнопромислових установок» для студентів спеціальності 7.092203 «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод» напряму «Електромеханіка» / Упорядн.: Р.О. Боровик, Д.В. Якупов. – Дніпропетровськ: НГУ, 2015 – 7 с.
25. Теорія електроприводу: Навчальний посібник. / Колб Ант. А, Колб А. А. – 2-е вид. перероб. і доп. –Д., Національний гірничий університет, 2010. – 540 с.

					<i>ЕП.ПД.20.14.1.ПЗ.</i>	Арк.
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		85

