

Міністерство освіти і науки України  
Національний Технічний Університет  
«Дніпровська політехніка»

Електротехнічний  
(факультет)

Кафедра Електропривода  
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

дипломного проекту

бакалавр

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

галузь знань 0507 електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва галузі знань)

напрямок підготовки 6.05070204 «Електромеханічні системи автоматизації та

(код і назва напряму підготовки)

електропривод»

спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(код і назва спеціальності)

освітній рівень бакалавр

(назва освітнього рівня)

кваліфікація фахівець у галузі електромеханіки

(код і назва кваліфікації)

на тему: Модернізація автоматизованого електропривода компресорної  
установки ВПЗ-20/9.

Виконавець: студент 3 курсу, групи ЕМс-15-1

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Сподаренко Б.Ю.  
(п.і.б.)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка	Підпис
проекту	Худолій С.С.		
розділів:			
Спеціальна частина	Худолій С.С.		
Охорона праці	Голінько В.І.		
Економіка	Дементьева Н.В.		
Рецензент			
Нормоконтроль	Казачковський М.М.		

Дніпро  
2018

Міністерство освіти і науки України  
Національний Технічний Університет  
«Дніпровська політехніка»

ЗАТВЕРДЖЕНО:  
Завідувач кафедри  
електроприводу  
Казачковський М.М.  
(прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2018 року

**ЗАВДАННЯ**

на дипломний проект

бакалавр

(назва освітньо-кваліфікаційного рівня)

студенту ЕМс-15-1

(група)

Сподаренко Б.Ю.

(п.і.б.)

Тема дипломного проекту: Модернізація автоматизованого електропривода  
компресорної установки ВПЗ-20/9.

затверджена наказом ректора НТУ "ДП" від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_

Розділ	Зміст	Термін виконання
Спеціальний		2.05 23.05.18
Охорона праці		23.05 30.05.18
Економічний		30.05 05.06.18

Завдання видав

\_\_\_\_\_ (підпис)

Худолій С.С.

(п.і.б.)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис)

Сподаренко Б.Ю.

(п.і.б.)

Дата видачі завдання: 25.01.2018

Термін подання дипломного проекту до ДЕК 22.06.2018

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 65 с., 11 рисунків, 15 таблиць, 13 джерел, 4 аркуші креслень.

Об'єкт детальної розробки: електропривод компресорної установки.

Мета роботи: розробка частотного регулювання автоматизованого електропривода компресорної установки.

Вибрані елементи силового обладнання: асинхронний двигун АИР, перетворювач частоти Danfoss HVAC Drive FC102, та додаткове обладнання (фільтр гармонік, автоматичний вимикач, Zelio Logic, датчик тиску)

В пакеті Matlab/Simulink розроблені моделі асинхронного двигуна, перетворювача частоти, насосу та мережі водоспоживання. Отримані залежності напору, швидкості та подачі від часу.

Проаналізовані небезпечні та шкідливі фактори та вжити заходи що до їх усунення.

Економічний ефект 25931 грн/рік отримано за рахунок зменшення кількості споживаної електроенергії електроприводом шляхом впровадження системи автоматичного регулювання швидкості обертання.

					ЕП.ДП.18.10.Р.ПЗ	Арк.
						<b>3</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ABSTRACT

Explanatory note 65 p., 11 figures, 15 tables, 13 sources, 4 sheets of drawings.

The object of detailed development: the electric drive of the compressor installation.

Purpose: development of frequency regulation of automated electric drive of the compressor installation.

Selected components of power equipment: asynchronous motor AIR, frequency converter Danfoss HVAC Drive FC102, and additional equipment (harmonic filter, automatic switch, Zelio Logic, pressure sensor)

The Matlab / Simulink package has developed models for asynchronous motor, frequency converter, pump and water consumption network. Pressure, velocity and time dependencies are obtained.

Hazardous and harmful factors analyzed and measures taken to eliminate them.

The economic effect of 25,931 UAH/year was obtained by reducing the amount of electricity consumed by the electric drive by introducing a system for automatically adjusting the speed of rotation.

					ЕП,ДП.18.10.Р.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>4</b>

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	<b>7</b>
<b>1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА</b>	<b>9</b>
1.1. Загальні відомості	10
1.2. Вимоги до компресорної установки	14
<b>2. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВІД</b>	<b>15</b>
2.1. Загальна відомості	16
2.2. Вибір потужності двигуна	21
2.3. Вибір обладнання	24
2.3.1. Перетворювач частоти	24
2.3.2. Автоматичний вимикач	29
2.3.3. Фільтр на вході ПЧ	29
2.3.4. Датчик тиску	30
<b>3. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА</b>	<b>31</b>
3.1. Розробка математичної моделі	32
3.2. Моделювання роботи електропривода	39
<b>4. ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	<b>43</b>
4.1. Загальна характеристика шкідливих та небезпечних факторів	44
4.2. Перелік реалізованих засобів охорони праці	45
4.3. Пожежна безпека	49
<b>5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ</b>	<b>51</b>
5.1. Вступ	52
5.2. Розрахунок капітальних витрат	52
5.2.1. Витрати на придбання обладнання	53
5.2.2. Витрати на монтажні та налагоджувальні роботи	53
5.3. Розрахунок експлуатаційних витрат	56
5.3.1. Розрахунок амортизаційних відрахувань	57
5.3.2. Розрахунок річного фонду заробітної плати	

					ЕП.ДП.18.10.3.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>5</b>

5.3.3. Соціальні відрахування	59
5.3.4. Річні витрати на поточний ремонт та обслуговування	59
5.3.5. Вартість споживаної електроенергії	61
5.3.6. Інші витрати	63
5.4. Висновок	64
<b>ЛІТЕРАТУРА</b>	<b>65</b>

					ЕП.ДП.18.10.3.ПЗ	Арк.
						<b>6</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ 23000-78 – вимоги до органів керування, засобів зв'язку, засобів відображення інформації.
2. ДСТУ 3497-97 - Метрологія. Державна повірочна схема для засобів вимірювань рівня рідини.
3. ГОСТ 12.0.003-74. - Небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Класифікація
4. СНиП 2.09.02-85 - «Виробничі будівлі»
5. ПУЕ, розд. VII «Електрообладнання спеціальних установок»
6. ВСН 294-72 «Інструкція по монтажу електрообладнання пожежонебезпечних установок напругою до 1000 В»
7. Князевський Б.А. (1983) Охорона праці в електроустановках
8. ГОСТ 34.602-89 - Комплекс стандартів на автоматизовані системи. Технічне завдання на створення автоматизованої системи
9. Асинхронні двигуни серії 4А: Довідник/А 90 О.Е. Кравчик, М.М. Шалаф, В.І. Афонін – М: Енерговидав, 1982 – 504 с.
10. Довідник по автоматизованому електроприводу. Під редакцією В.А. Єлісеєва, А.В. Шинянського. – М: Енергоатомвидав, 1983. – 616 с.
11. Холоменюк М.В. Насосні та компресорні установки: Навч. посібник – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2005. – 330 с
12. Теорія електроприводу: навч. посібник / Ант.А. Колб, А.А. Колб. – 2-е видання – Д: Національний гірничий університет, 2011. – 565 с.
13. Глобальна мережа Інтернет

					ЕП.ДП.18.17.Л.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

# ВСТУП

Метою даного дипломного проекту є розгляд питання модернізації компресорної станції в умовах Відокремленого структурного підрозділу «Верхівцевське вагонне депо» ДП «Придніпровська залізниця». Компресорні установки застосовуються в залізничному транспорті – локомотивах та вагонних депо для забезпечення стислим повітрям пневматичного інструмента, перевірки гальмівної системи рухомого складу.

Електрична енергія широко застосовується в усіх галузях народного господарства, особливо для електричного приводу різних механізмів (компресорів, насосів, верстатів та ін.), для електро-технологічних установок, а також для електролізу.

Для забезпечення подачі електроенергії в необхідній кількості і відповідній якості від енергосистем до промислових об'єктів, пристроїв і механізмів служать системи електропостачання промислових підприємств що складаються з мереж напругою 1кВ і вище, трансформаторних, перетворювальних, розподільчих підстанцій.

Залізничний транспорт повинен постійно задовольняти потреби підприємств та населення в перевезеннях на основі його подальшого переозброєння. Всі ланки залізничного транспорту, в тому числі й вагонне господарство, повинні працювати чітко та злагоджено, щоб забезпечити високу ефективність використання засобів перевезень при мінімальних витратах на їх технічне обслуговування та ремонт.

У забезпеченні надійності та чіткої роботи залізничного транспорту важлива роль належить вагонному господарству, яке поєднує вагони та матеріально-технічну базу їх технічного обслуговування та ремонту. Від ритмічної та злагодженої роботи усіх підрозділів вагонного господарства багато у чому залежить безперебійність та безпека руху поїздів, своєчасне забезпечення перевезень технічно справним рухомим складом. Таким чином, розвиваючи

					ЕП.ПД.18.10.ВС.ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



технічну базу для технічного обслуговування та ремонту вагонів, залізничний транспорт набуває міцне індустріальне підґрунтя для забезпечення високого рівня працездатності вагонного парку.

Відокремлений структурний підрозділ «Верхівцевське вагонне депо» ДП «Придніпровська залізниця» - підприємство залізничного транспорту, метою якого являється експлуатація та ремонт вагонів.

Вагонні депо розділені на основні і допоміжні виробничі дільниці і як правило мають різні обслуговуючі пристрої та обладнання.

Депо розміщуються в пунктах масового навантаження, переробки транзитних вагонів (на сортувальних станціях).

До вагонних депо в межах залізничної мережі приписані пункти підготовки до перевезень, пункти технічного обслуговування та інші пункти вагонного господарства.

Всі ремонтні підприємства працюють, ґрунтуючись на єдиній системі технічного обслуговування і ремонту вагонів. Система включає контроль технічного стану на технічних станціях, технічне обслуговування, деповський і капітальний ремонт. Вагонне депо є основним виробничим підприємством вагонного господарства.

Вагонне депо має три основних напрямки робіт:

– поточне технічне утримання вагонів виконується в експлуатаційних підрозділах депо — різних пунктах технічного обслуговування (ПТО) та пунктах підготовки вагонів до перевезень (ППВ);

– ремонт і ревізії вагонів великого обсягу виконуються в ремонтних підрозділах депо — виробничих дільницях і відділеннях;

– обслуговування основного виробництва — здійснюється на допоміжних дільницях і відділеннях депо.

					ЕП.ПД.18.10.ВС.ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

					ЕП.ПД.18.10.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

## 1.1 Загальні відомості

Проектованим механізмом є поршневий компресор ВПЗ-20/9.

Компресор ВПЗ-20/9 – двоступінчастий крейцкопфний на кутовій базі. Він забезпечений системою автоматичного регулювання продуктивності, автоматичним розвантаженням при пуску і зупинці, автоматичної аварійної захистом, що забезпечує безпеку роботи, зручність обслуговування і вимагає мінімальної кількості обслуговуючого персоналу. Шафа управління призначена для управління компресором ВПЗ-20/9 з одношвидкісним електродвигуном і забезпечує автоматичну підтримку всіх робочих режимів.

Шафа управління розділена на два відсіки, в одному знаходяться манометри, а в іншому електрична схема управління. Аварійна зупинка компресора ВПЗ-20/9 супроводжується звуковим і світловим сигналами.

Для забезпечення безперебійної роботи компресору діє система змазки. Електродвигун маслонасосу вмикається до запуску електродвигуна компресора і відключається автоматично при достатньому тиску в маслопроводі. Змащуються гарячі частини компресора (поршні, циліндр, клапани) і холодні частини (підшипники, спрямовуючі та ін.)

На компресорах здійснюється контроль температури повітря, тому що нагрів може привести до виходу зі строю компресори. Тому схемою передбачені спеціальні реле, які сигналізують про підвищення температури повітря.

В приміщенні компресорної передбачається вентиляція, виконана за допомогою проточного вентилятора, який нагнітає в приміщення свіже повітря. Схема компресора наведена на рисунку 1.1.

					ЕП.ПД.18.10.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

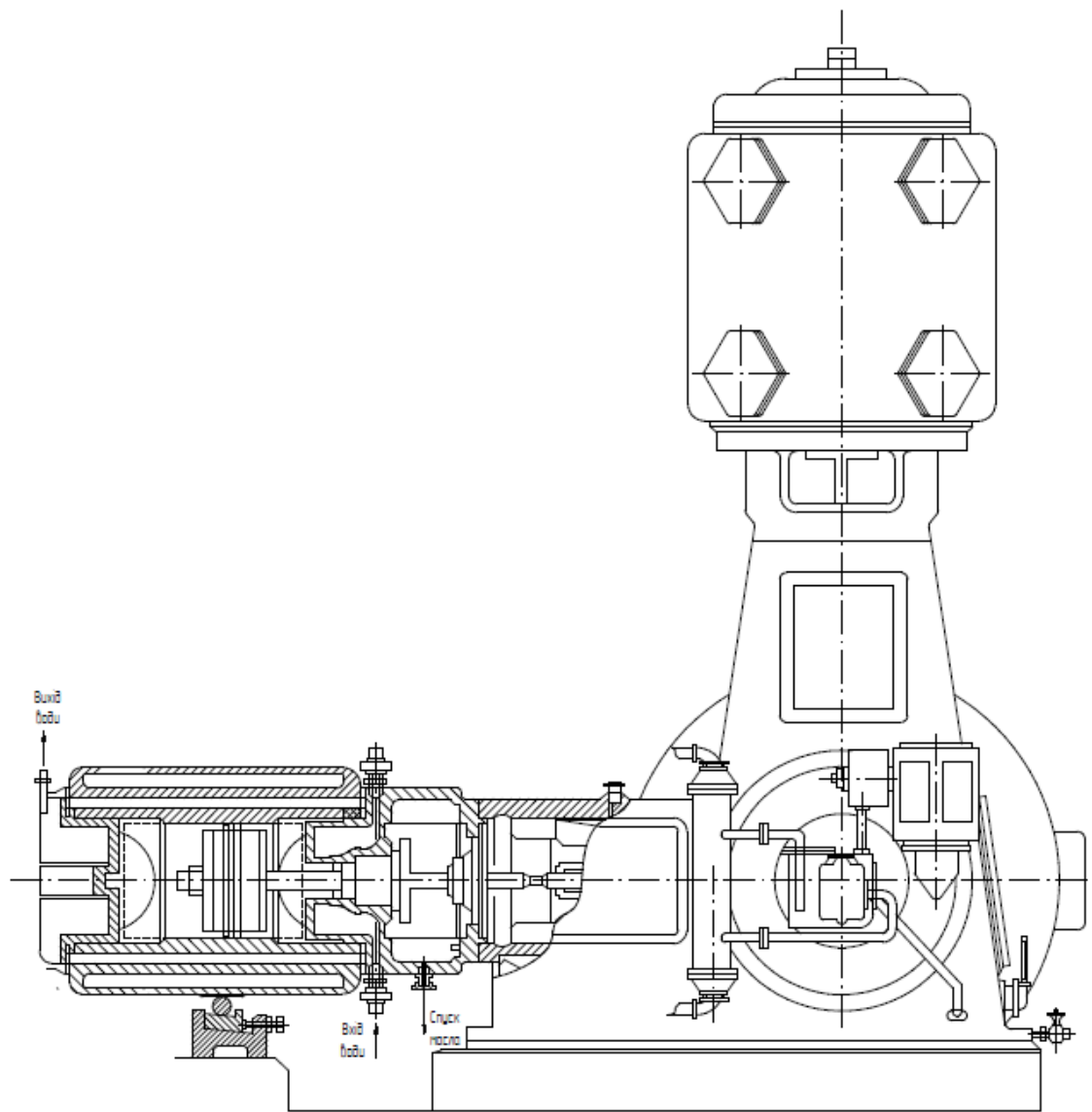


Рис. 1.1 – кінематична схема компресорної установки типу ВПЗ - 20/9

Характеристика компресора наведена в таблиці 1.1.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.18.10.01.ПЗ

Арк.

11

Таблиця 1.1 – Характеристика компресора

Найменування	Величина	Одиниці виміру
Продуктивність	0,36	м <sup>3</sup> /с.
Тиск надмірний	$8 \cdot 10^5$	Па
Потужність приводу	132	кВт
Робота	$240 \cdot 10^3$	Дж/м <sup>3</sup>
К.К.Д. компресора	80	%
К.К.Д. приводу	95	%

Автоматика компресора, яка використовується зараз, забезпечує контроль над основними параметрами і захист компресора при відхиленні параметрів від допустимих значень, та виконує наступні функції:

- управління пуском і зупинкою двигуна компресора;
- контроль розвантаження компресора під час пуску (заборона пуску при наявності тиску в циліндрах компресора);
- автоматичне розвантаження компресора при його пуску і зупинці;
- автоматичне ступеневу регулювання продуктивності: 100%, 75% і 0% номінальної (включення соленоїдного вентиля на лінії розвантаження компресора - продуктивність 0%);
- аварійну зупинку компресора при відхиленні від допустимих значень наступних параметрів:
  - тиску і температури повітря на кожному ступені стиснення;
  - тиск масла в системі змащення механізму руху;
  - проток охолоджуючої води;
  - відсутність струму збудження в ланцюзі харчування ротора електродвигуна компресора.
- світлову і звукову сигналізацію режимів роботи;

– реферати управління розвантаженням компресора тумблерами на щиті управління.

Релейно-контакторні системи управління, незважаючи на їх широке поширення, мають істотні недоліки, зумовленими в першу чергу тим, що апарати управління мають рухомі частини та рухливі замикають і розмикають контакти. Контакти і рухливі частини досить швидко зношуються, що призводить до порушення з'єднання між контактами і виходу з ладу деяких апаратів і всієї схеми управління. Імовірність порушення контактів стає дуже істотною і робота системи – ненадійною. Також недоліками є обмежена швидкодія, підвищені масо-габаритні показники і енергоспоживання, значне зростання пускового струму, моменту при відповідному збільшенні статичного моменту і моменту інерції на валу двигуна. Також великим недоліком є керування приводом, оскільки воно має всього декілька положень.

Для усунення більшості із перерахованих недоліків, доцільно встановити перетворювач частоти. Це забезпечить повну автоматизацію роботи двигуна, включаючи пуск та зміну швидкості обертання електродвигуна, здатність регулювати струм в потрібних межах, що зменшує кількість помилок, котрі виникають під час пуску, збільшує продуктивність всієї системи в цілому. Також використання частотного керування дозволяє уникнути одного із суттєвих недоліків електродвигунів з короткозамкненим ротором – постійну частоту обертання ротору двигуна, яка не залежить від навантаження. ПЧ створює можливість управління швидкістю двигуна в залежності від характеру навантаження. Це, в свою чергу, дозволяє працювати обладнанню в найбільш економічному режимі. Отже головне, чого досягнемо модернізацією – це автоматизація та економічна користь.

					ЕП.ПД.18.10.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

## 1.2 Вимоги до компресорної установки

Компресорні станції повинні забезпечувати проектну або планову продуктивність подачі стиснутого повітря, що використовується підприємством, при здійсненні заміру, контролю та управління технологічними параметрами роботи компресорної станції

Ефективність, надійність, безпека та економічність обладнання установки повинні забезпечуватися:

- постійним та періодичним контролем технічного стану обладнання візуально, за показаннями штатної контрольно-вимірювальної апаратури і з допомогою технічних засобів діагностики;
- підтриманням обладнання та комунікацій у справному стані;
- оптимальним режимом роботи технологічних установок компресорної установки;
- ремонтами, модернізацією, реновацією або реконструкцією морально та фізично застарілого обладнання.

Обладнання установки повинно мати технологічну станційну нумерацію, нанесену фарбою, що не змивається або іншим способом.

Компресорні установки повинні бути обладнані системою автоматичного збирання, обробки та передачі на вищий рівень інформації про стан обладнання та параметри технологічних процесів на них. Ця інформація є вхідною для роботи автоматичних систем діагностування.

Якість мастила, охолоджуючих рідин, технічної води, рівень загазованості робочих зон контролює експлуатаційний персонал відповідно до вимог виробничих інструкцій. Періодичність та порядок контролю встановлює виробничий підрозділ або газотранспортне підприємство (філія).

					ЕП.ПД.18.10.01.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

# АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

					ЕП.ПД.18.10.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		15



## 2.1 Загальна відомості

Компресори відносяться до групи механізмів, що отримали широке розповсюдження на усіх промислових підприємствах. Їх використовують для отримання стиснутого повітря або ж іншого газу тиском більше  $4 \cdot 10^5$  Па, з ціллю використання його енергії в приводах пневматичних молотів та пресів, в різному пневматичному інструменті, в пристроях пневмоавтоматики і т.д.

Поршневий компресор ВПЗ-20/9 – виконаний на кутовій, крейцкопфній базі і має два ступені стиснення повітря. Перший ступінь компресора розташований вертикально, а другий ступінь - має горизонтальне положення, повітря що подається стискається – послідовно в першому і другому ступені. На виході з першого ступеня гаряче повітря надходить в проміжній холодильник, охолоджується і послідовно надходить в циліндр другого ступеня, а після в кінцевий газоохолоджувач, далі стиснене повітря надходить в збірники повітря.

Мастило компресора ВПЗ-20/9 – механізми руху змащуються від масляного насоса, масло через фільтр-сітку «першого» очищення піднімається маслонасосом з нижньої порожнини станини і потрапляє в фільтр «тонкого» очищення, далі по свердлінням клонували змащує шатунні вкладиші. За свердлінням надходить до верхньої частини головки шатунів. На вході стисненого повітря встановлено фільтр. У конструкції газоохолоджувачів першого і другого ступенів передбачений пристрій для відокремлення вологи – в результаті виходить чисте повітря на виході компресора.

Компресор ВП-20/9 (ВП-20/8) дуже зручний як для монтажу, так і заміни механізмів котрі зношуються та запасних частин. Ремонтнопридатний без використання спеціального інструменту та інших складних пристроїв.

Всі установки працюють та підключені до однієї лінії. При пуску компресорної станції, відразу працюють чотири установки, доки в лінії не буде досягнуто потрібного значення тиску, після чого три установки відключаються,

					ЕП.ПД.18.10.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

і активною залишається лише одна. Ця установка підтримує тиск на заданому рівні з великою точністю, котрий визначається працівником станції.

Таблиця 2.1 – технічні характеристики – ВПЗ-20/9

Продуктивність при всмоктуванні, м <sup>3</sup> /хв	22,0 ± 5%
Температура повітря, К (0С):	
- На всмоктуванні, не більше	313,0 (40,0 0С)
- На виході з компресора після кінцевого холодильника, не більше	333,0 (60,0 0С)
Тиск, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ):	
- Абсолютна всмоктування, не більше	0,107 (1,09)
- Надмірне нагнітання, не більше	0,780 (8,00)
Потужність, споживана на валу компресора, кВт	132,0
Витрата води на охолодження компресора з урахуванням кінцевого холодильника:	
- При t° води на вході 150С (для країн з помірним і холодним кліматом), не більше м <sup>3</sup> /год	5,05
- При збільшенні t° води на вході витрата її повинен бути збільшений, не більше м <sup>3</sup> /год	12,00

Перш за все, при проектуванні електроприводу, слід детально ознайомитися з умовами роботи механізму. Високу продуктивність можливо отримати тільки при відповідності характеристик приводу та робочої машини. Тому, зважаючи на це, проектування електроприводу доцільне разом з проектуванням робочої машини.

Асинхронні двигуни – прості, компактні, не загрузають мережу струмом. У синхронних двигунів навпаки. Також недоліком синхронних двигунів є їх велика маса і великі габарити. Тому для нашого приводу обираємо асинхронний двигун.

Найбільш перспективними і широко використовуваними в даний час способами регулювання швидкості АД є частотний спосіб. Тахограма роботи двигуна та навантажувальна діаграма при даному способі зображена на рисунку 2.2. Цей спосіб забезпечує плавне регулювання в широкому діапазоні, а одержувані характеристики мають високу жорсткість. Частотний спосіб до того ж відрізняється і ще однією досить важливою властивістю: при регулюванні швидкості АД не

відбувається збільшення його ковзання, як це має місце, наприклад, при реостатному регулюванні.

Дуже важливо зробити правильний вибір перетворювача. Від нього буде залежати ефективність і ресурс роботи перетворювача частоти і всього електроприводу в цілому.

					ЕП.ПД.18.10.02.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>18</b>

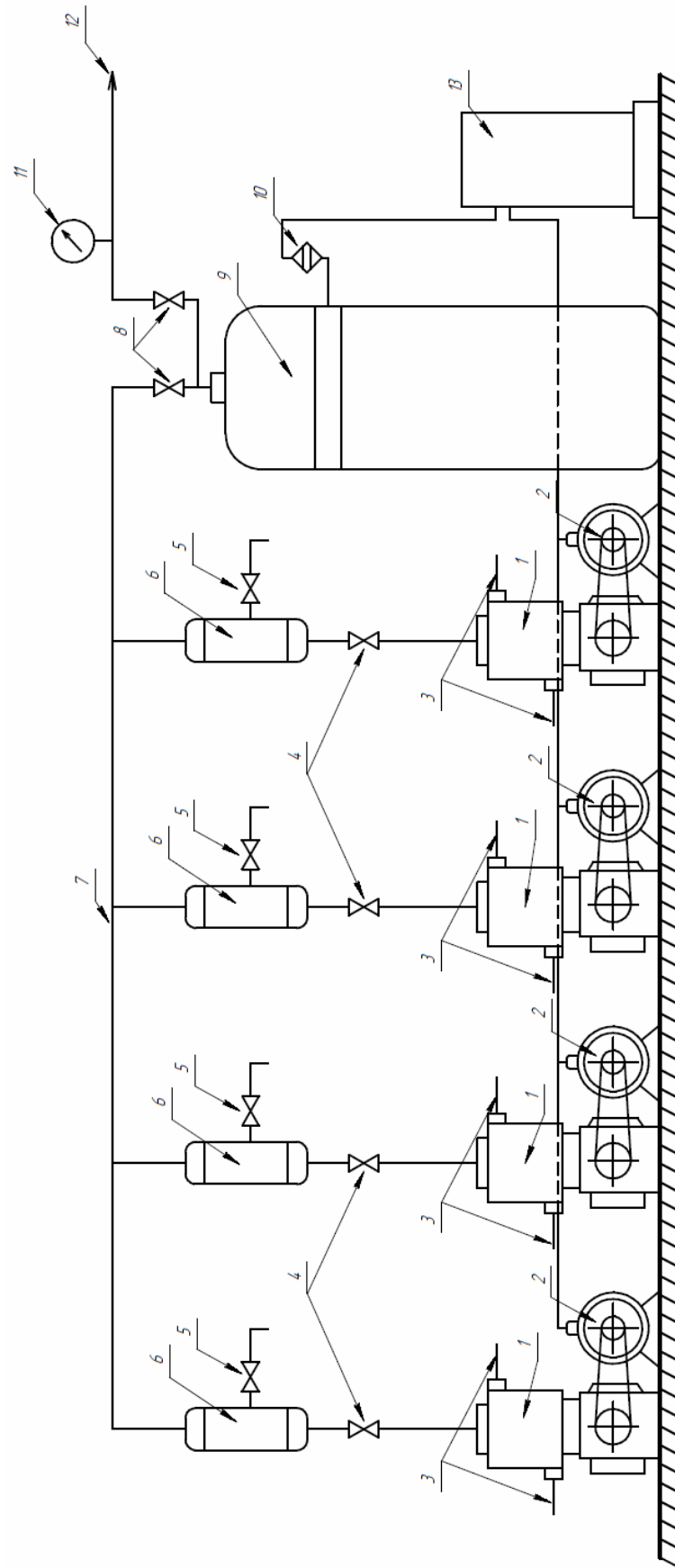


Рис.2.1 – технологічна схема компресорної станції

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.18.10.02.ПЗ

Арк.

19

Опис елементів технологічної схеми на рис. 2.1

1	компресор
2	асинхронний двигун
3	трубопроводи охолоджуючі
4	зворотні клапани
5	повітряний клапан
6	повітряний пристрій
7	повітряна магістраль
8	зворотний клапан
9	ресивер
10	датчик тиску
11	манометр
12	повітряна магістраль (до споживача)
13	Перетворювач частоти

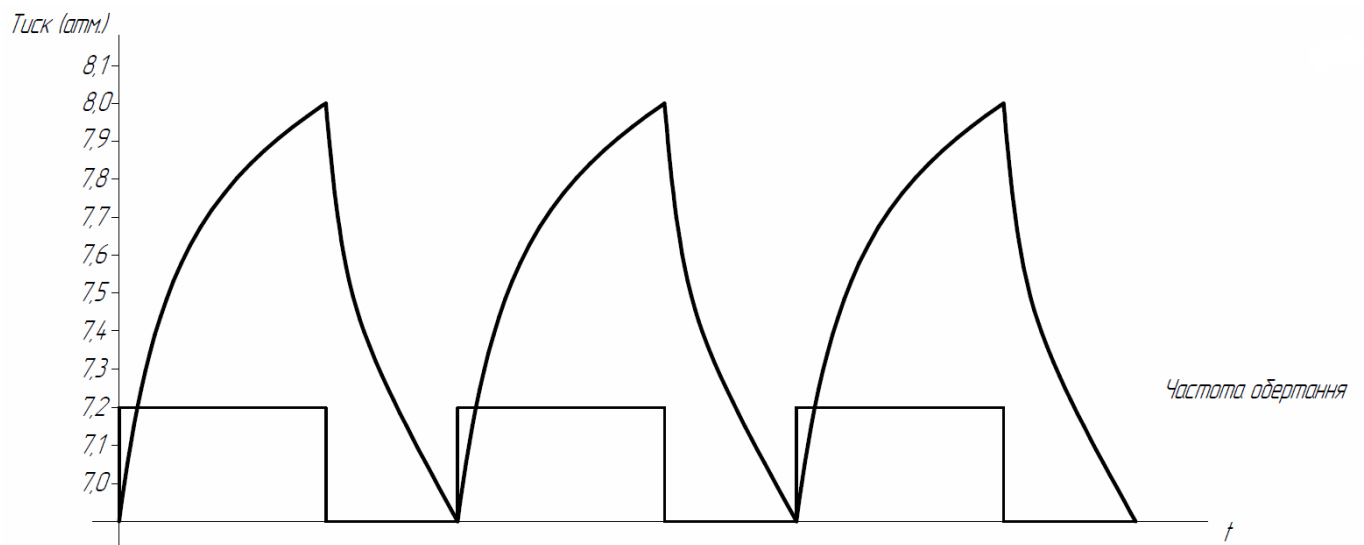


Рис 2.2 – навантажувальна діаграма та тахограма

## 2.2 Вибір потужності двигуна

Розрахункова потужність електродвигуна компресора становить:

$$P_{\text{об.р.}} = \frac{K_3 \cdot Q \cdot A}{1000 \cdot \eta_k \cdot \eta_n} = \frac{1,1 \cdot 0,36 \cdot 240 \cdot 1000}{1000 \cdot 0,8 \cdot 0,95} = 127 \text{ кВт}$$

де  $K_3$  - коефіцієнт запасу,  $K_3=1,1$ ;

$Q$  - продуктивність компресора,  $Q=0,36 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

$A$  - робота стискання;  $\text{Дж}/\text{м}^3$ ;  $A = f(P_2)$

При кінцевому тиску 8 атмосфер робота становить  $A = 240 \cdot 10^3 \text{ Дж}/\text{м}^3$  ;

$\eta_k, \eta_n$  -к.к.д. компресора і передачі.

За розрахунковим струмом обираємо асинхронний двигун з коротко замкнутим ротором типу АИР280М4.

Асинхронні електродвигуни АИР (раніше випускалися двигуни 4А, 4АМ) з короткозамкненим ротором, завдяки простоті конструкції, відсутності рухомих контактів, високої ремонтпридатності, невисокою ціною в порівнянні з іншими електричними двигунами застосовуються практично у всіх галузях промисловості та сільського господарства. Вони використовуються для приводу вентиляційного устаткування, насосів, компресорних установок, верстатів, ескалаторів та багатьох інших машин.

Технічну характеристику обраного електродвигуна заносимо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічна характеристика двигуна

Тип електродвигуна	Потужність, кВт	Об/хв	Струм, при 380В	К.К.Д. %	Коеф. потуж.	$\frac{I_n}{I_n}$	$\frac{M_n}{M_n}$	$\frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$	$j_{\text{дв}}$ , кг·м <sup>2</sup>
АИР280М4	132	1465	230	95,5	0,88	6,5	2	2,2	7

Обраний двигун перевіряємо по пусковим умовам.

Номінальний момент на валу двигуна:

$$M_n = \frac{P_n \cdot 9550}{n_n} = \frac{132 \cdot 9550}{1500} = 840,4 \text{ Нм}$$

Статичний момент:

$$M_c = \frac{P_{\text{об.р.}} \cdot 9550}{n_p} = \frac{127 \cdot 9550}{1465} = 827,88 \text{ Нм}$$

Максимальний момент електродвигуна:

$$M_{\text{макс}} = K_1 \cdot M_n = 2,2 \cdot 840,4 = 1848,88 \text{ Нм}$$

$$K_1 = \frac{M_{\text{макс}}}{M_n} = 2,2$$

Пусковий момент двигуна:

$$M_n = K_2 \cdot M_n = 2 \cdot 840,4 = 1680,8 \text{ Нм}$$

$$K_2 = \frac{M_n}{M_n} = 2$$

Пусковий середній момент:

$$M_{\text{н.ср.}} = 0,45 (M_{\text{макс}} + M_n) = 0,45 (1848,88 + 1680,8) = 1588,36 \text{ Нм}$$

Момент інерції двигуна, приведений до вала двигуна:

$$j_{\text{пр}} = c \cdot j_{\text{об}} + j_{\text{мех}} = 1,1 \cdot 4 + 0,2 \cdot 4 = 5,2 \text{ кг м}^2$$

					ЕП.ПД.18.10.02.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаємо час пуску двигуна:

$$t_n = \frac{n_c}{a} = \frac{1465}{1396,7} = 1,05c$$

$$a = \frac{9,55 \cdot (M_{n.сп.} - M_c)}{j_{np}} = \frac{9,55 \cdot (1588,36 - 827,88)}{5,2} = 1396,7$$

Динамічний момент:

$$M_{дин} = \frac{j_{np} \cdot \omega_n}{t_n} = \frac{5,2 \cdot 157,07}{1,92} = 415,46 Нм$$

$$\omega_n = \frac{P_n}{9,55} = \frac{1500}{9,55} = 157,07c^{-1}$$

Пусковий потрібний момент:

$$M_{n.тр.} = M_c + M_{дин} = 827,88 + 415,46 = 1243,34 Нм$$

Перевіряємо на умову:

$$M_{n.сп.} > M_{n.тр.}$$

$$1588,36 > 1243,34$$

Умова виконується.

					ЕП.ПД.18.10.02.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## 2.3 Вибір обладнання

### 2.3.1 Перетворювач частоти

Перетворювач частоти призначений для зміни параметрів живлячої напруги двигуна відповідно вибраного закону керування, підтримання заданих параметрів на необхідному рівні відповідно до сигналів зворотних зв'язків.

Високі пускові струми вимагають застосування кабелів великого перерізу. Струмові перевантаження викликають осідання напруги в мережі, збої в роботі контактної апаратури і її передчасний вихід з ладу. Уникнути цього можливо використовуючи пристрої плавного пуску або перетворювачі частоти, що дозволить істотно знизити аж до повного усунення струмові перевантаження і ударні механічні перевантаження, що виникають при пуску двигунів. Це призведе до збільшення терміну служби контактної апаратури, двигуна і компресора, зниження витрат на ремонт.

Також при роботі компресора в режимі розвантаження або холостого ходу виникають додаткові втрати електроенергії і зайве навантаження на устаткування. Наявність надлишкового тиску збільшує втрати електроенергії. Регулювання тиску з використанням регулятора, вбудованого в перетворювач частоти забезпечує зміну частоти обертання двигуна в залежності від необхідного режиму. При цьому усувається надлишковий тиск, скорочується час роботи компресора в режимах розвантаження і холостого ходу, оптимізується споживання електроенергії. Отже використання такого регулятора приведе до зниження споживаної електроенергії, оптимізація технологічного процесу та зниження витрат на експлуатацію та ремонт обладнання

Ще одною проблемою є порушення технологічного процесу при обриві ременя приводу компресора.

Рішенням даної проблеми є функція захисту від втрати навантаження, яка забезпечує постійний контроль рівня навантаження і здійснює аварійну зупинку

					ЕП.ПД.18.10.02.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двигуна при зниженні навантаження нижче допустимого рівня. Це дозволить отримати попередження про вихід з ладу компресора, збільшить термін служби і скоротить витрати на ремонт.

Застосування пристроїв плавного пуску для управління компресорами дозволяє:

- істотно знизити пускові струми і усунути виникаючі при пуску осідання напруги в мережі живлення;
- виключити прослизання ременів в ремінних передачах;
- забезпечити всі види електричних захистів;
- продовжити термін служби компресорного устаткування.

Застосування перетворювачів частоти для керування компресорами забезпечує всі функції пристрою плавного пуску (софтстартери) крім цього перетворювачами частоти забезпечується:

- повне усунення струмових перевантажень двигуна і виключення прослизання ременів;
- зниження споживаної електроенергії на 20-60%, завдяки виключенню скидання надлишкового тиску через запобіжний клапан (кожен 1 бар надлишкового тиску збільшує енергоспоживання на 6-8%);
- автоматична підтримка тиску в пневмомережі з точністю до 0,1 бар.

При роботі одного перетворювача частоти з одним двигуном його вибір може проводитися за такими параметрами:

1.1 Паспортна потужність перетворювача [кВт] повинна бути більше або дорівнювати паспортній потужності двигуна [кВт]. Причому, виробники частотників завжди вказують, що цей критерій поширюється на двигуни з двома парами полюсів ( $2p = 4$  і синхронна швидкість обертання відповідно дорівнює 1500 об / хв), що працюють на навантаження з постійним моментом (транспортер, конвеєр), для перетворювачів з перевантажувальною здатністю 150%.

					ЕП.ПД.18.10.02.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Номінальний тривалий струм перетворювача частоти повинен бути більше або дорівнювати фактичного тривалого струму, споживаного двигуном.

$$\left\{ \begin{array}{l} I_{\text{нпч}} \geq I_{\text{нд}} \\ P_{\text{нпч}} \geq P_{\text{нд}} \end{array} \right\}$$

Для управління компресорною установкою обираємо перетворювач частоти компанії Danfoss серії HVAC Drive модель FC-102, основним призначенням якого є робота з механізмами, призначеними для вентиляторного характеру навантаження. Характеристики ПЧ приведено в таблиці 2.3. Блок-схема ПЧ та схема підключення наведена на рис. 2.3 та рис. 2.4 відповідно.

Таблиця 2.3 – характеристики ПЧ

Потужність, кВт	160
Напруга мережі, В	380
Частота мережі, Гц	50
Вихідна напруга, В	0..380
Вихідна частота, Гц	0..1000
Вихідний струм, А – неперервний – преривний	299,5 315
ККД, %	98
Тип управління	Векторний
Клас захисту	IP20

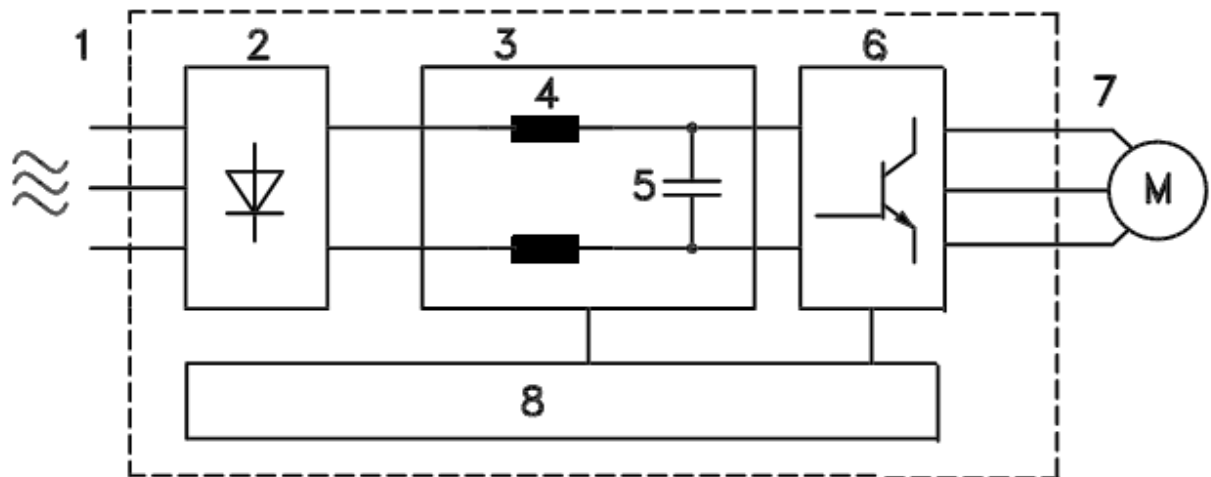


Рис. 2.3 – Блок-схема перетворювача частоти

1 – Вхід живлячої мережі; 2 – випрямляч; 3 – шина постійного струму; 4 – реактори постійного струму; 5 – конденсаторна батарея; 6 – інвертор; 7 – вихідний сигнал на двигун; 8 – схема керування.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.18.10.02.ПЗ

Арк.

27

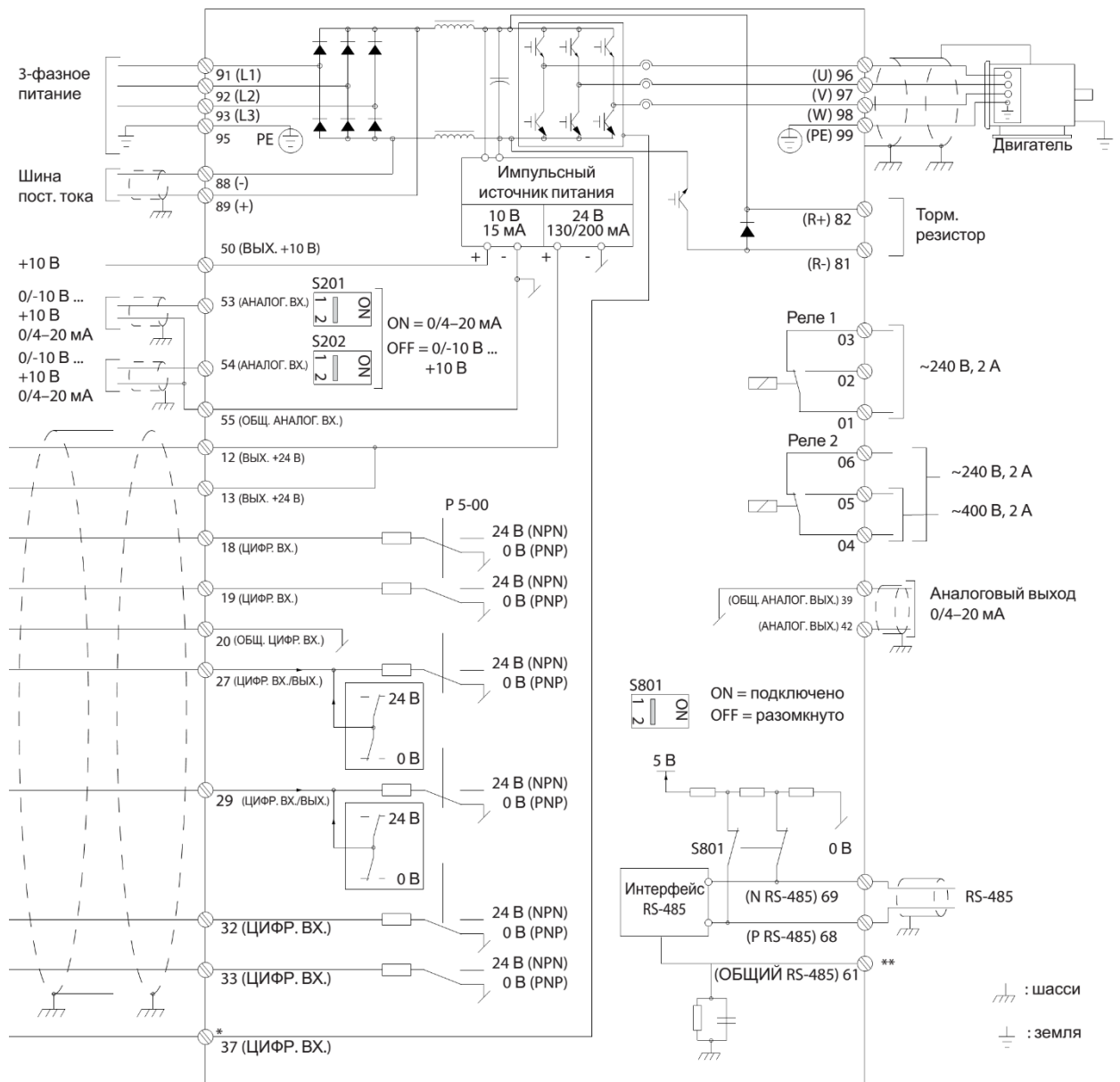


Рис 2.4 – Схема підключення перетворювача частоти (з офіційної документації виробника)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

## 2.3.2 Автоматичний вимикач

Автоматичний вимикач – це апарат комутації, котрий призначений для автоматичного розмикання електричного кола в момент виникнення коротких замикань або перевантажень.

Автоматичні вимикачі обираються за наступними параметрами:

- Кількість полюсів
- Номінальна напруга
- Максимальний робочий струм
- Здатність відключення

Обрано 3-фазний автоматичний вимикач ІЕК ВА88-37. Характеристики вимикача наведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – характеристика автоматичного вимикача

Назва	Значення	Одиниця виміру
Кількість полюсів	3	-
Струм навантаження	320	А
Відключаюча здатність	35	кА
Напруга	380	В

## 2.3.3 Фільтр на вході ПЧ

Послідовність прямокутних пульсацій з високою швидкістю наростання на виході із ПЧ з регульованою шириною і частотою імпульсу може в ряді випадків становити небезпеку для ізоляції статора електродвигуна і створювати додаткове навантаження. Основне призначення фільтрів – знизити крутизну наростання фронту імпульсу міжфазної напруги на клеммах двигуна, усунути вищі гармонійні складові, забезпечити, при необхідності, збільшення довжини сполучної силової лінії між перетворювачем частоти і електродвигуном, мінімізувати негативний вплив «ефекту відбитої хвилі напруги» на двигун. Фільтри створюють мінімальні

втрати потужності, вносять зневажливо малий реактивний опір в силову лінію, згладжують і коригують деформації і пульсації напруги і струму. Простіше і дешевше синусних фільтрів так, як використовують менші індуктивності і ємності.

Обрано фільтр VLT ® Advanced Active Filter Aaf 006. Характеристики фільтра наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – характеристики фільтра

Частота мережі, Гц	Струм, А	Максимальна потужність, кВт	Акустичний шум, dBa
50	190-400	192	<72

### 2.3.4 Датчик тиску

Датчик тиску – пристрій, фізичні параметри якого змінюються в залежності від тиску вимірюваного середовища (в нашому випадку повітря). Тиск вимірюваного середовища перетворюється в електричний сигнал або цифровий код.

Датчик складається з первинного перетворювача, в складі якого чутливий елемент і приймача, схеми вторинної обробки сигналу, корпусних деталей та пристрої виведення.

Основною відмінністю одних приладів від інших є точність реєстрації тиску, яка залежить від принципу перетворення тиску в електричний сигнал.

Для передачі результатів застосовують проміжне перетворення неелектричного сигналу в електричний. Потім цей сигнал знімається керуючим пристроєм для подальшого управління приводом.

Датчик тиску обирається а максимальним рівнем тиску з наявністю аналогового входу. Обираємо датчик на 10 кПа Schneider Telemecanique XMLK010B2C21.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

					ЕП.ПД.18.10.03.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		<b>31</b>



Дослідження режимів роботи електропривода поршневого компресора при частотному керуванні здійсимо на математичній моделі. Для проведення досліджень використаємо середовище *Simulink* математичного пакету MathLab. Для цього нам необхідно створити математичні моделі як двигуна, так і всіх необхідних додаткових елементів: навантаження, перетворювача, за датчиків тощо

### 3.1 Розробка математичної моделі

Для дослідження роботи асинхронного короткозамкненого двигуна (АД) при частотному керуванні підходить модель, яка може бути отримана представленням рівнянь АД в системі координат  $x$ - $y$ , пов'язаній дійсною віссю  $x$  з вектором напруги статора, яка обертається з синхронною швидкістю. Система координат  $x$ - $y$  є комплексною прямокутною системою координат, в якій вісь  $x$  дійсна, а вісь  $y$  – уявна та випереджає вісь  $x$  на  $90^\circ$ .

Вихідними рівняннями для побудови моделі будуть:

$$\bar{U}_s = \bar{I}_s R_s + \frac{d\bar{\Psi}_s}{dt} + j\omega_c \bar{\Psi}_s,$$

$$\bar{U}_r = \bar{I}_r R_r + \frac{d\bar{\Psi}_r}{dt} + j(\omega_c - \omega) \bar{\Psi}_r.$$

$$\bar{\Psi}_s = \bar{I}_s L_s + \bar{I}_r L_m,$$

$$\bar{\Psi}_r = \bar{I}_s L_m + \bar{I}_r L_r,$$

де  $\bar{U}_s, \bar{I}_s, \bar{\Psi}_s$  – узагальнені вектори напруги, струму і потокозчеплення статора;  $\bar{U}_r, \bar{I}_r, \bar{\Psi}_r$  – узагальнені вектори напруги, струму і потокозчеплення статора ротора;  $R_s, R_r$  – активні опори статора і ротора;  $\omega_c$  – швидкість обертання системи координат;  $\omega$  – механічна швидкість обертання ротора;

$L_s, L_r, L_m$  – індуктивність статора, ротора и взаємна індуктивність статора и ротора відповідно;  $j = \sqrt{-1}$ ,  $Z$  – число пар полюсів.

Визначимо з рівнянь потокозчеплення струми статора і ротора.

$$\bar{I}_s = \frac{\bar{\Psi}_s - \bar{I}_r L_m}{L_s},$$

$$\bar{I}_r = \frac{\bar{\Psi}_r - \bar{I}_s L_m}{L_r},$$

Виконаємо взаємну підстановку

$$\bar{I}_s = \frac{1}{L_s} \left( \bar{\Psi}_s - L_m \left[ \frac{\bar{\Psi}_r - \bar{I}_s L_m}{L_r} \right] \right)$$

Помножимо обидві частини рівняння на  $L_s L_r$  і отримаємо наступний вираз:

$$\bar{I}_s = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\bar{\Psi}_s L_r - \bar{\Psi}_r L_m)$$

Аналогічно знайдемо струм ротора:

$$\bar{I}_r = \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\bar{\Psi}_r L_s - \bar{\Psi}_s L_m)$$

Підставимо отримані рівняння для струму в перші два рівняння системи:

$$\bar{U}_s = R_s \left[ \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\bar{\Psi}_s L_r - \bar{\Psi}_r L_m) \right] + \frac{d\bar{\Psi}_s}{dt} + j\omega_c \bar{\Psi}_s,$$

$$\bar{U}_r = R_r \left[ \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\bar{\Psi}_r L_s - \bar{\Psi}_s L_m) \right] + \frac{d\bar{\Psi}_r}{dt} + j(\omega_c - \omega Z) \bar{\Psi}_r.$$

Виконаємо заміну  $\frac{d_s}{dt} \rightarrow p$ , та попередньо представивши рівняння в формі

Каші, отримаємо:

$$\bar{\Psi}_s = \frac{1}{p} \left[ \bar{U}_s - R_s \left( \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\bar{\Psi}_s L_r - \bar{\Psi}_r L_m) \right) - j\omega_c \bar{\Psi}_s \right],$$

$$\bar{\Psi}_r = \frac{1}{p} \left[ \bar{U}_r - R_r \left( \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\bar{\Psi}_r L_s - \bar{\Psi}_s L_m) \right) - j(\omega_c - \omega Z) \bar{\Psi}_r \right].$$

Розкладемо векторні рівняння за проекціями на осі x-y:

$$\Psi_{sx} = \frac{1}{p} \left[ U_{sx} - R_s \left( \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\Psi_{sx} L_r - \Psi_{rx} L_m) \right) + \omega_c \Psi_{sy} \right]$$

$$\Psi_{sy} = \frac{1}{p} \left[ U_{sy} - R_s \left( \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\Psi_{sy} L_r - \bar{\Psi}_{ry} L_m) \right) - \omega_c \Psi_{sx} \right]$$

$$\Psi_{rx} = \frac{1}{p} \left[ U_{rx} - R_r \left( \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\Psi_{rx} L_s - \Psi_{sx} L_m) \right) + j(\omega_c - \omega Z) \Psi_{ry} \right]$$

$$\Psi_{ry} = \frac{1}{p} \left[ U_{ry} - R_r \left( \frac{1}{L_s L_r - L_m^2} (\Psi_{ry} L_s - \Psi_{sy} L_m) \right) - j(\omega_c - \omega Z) \Psi_{rx} \right]$$

Отримані вирази описують електромагнітні процеси в статорі і роторі. Для повноти опису додаємо рівняння для моменту і рівняння механічного руху:

$$M = \frac{3}{2} Z \frac{L_m}{L_s L_r - L_m^2} (\Psi_{sy} \Psi_{rx} - \Psi_{ry} \Psi_{sx})$$

$$M - M_c = J \frac{d\omega}{dt}$$

Структурна схема моделі асинхронного двигуна для частотного керування при живленні від джерела напруги, побудована за наведеними рівняннями, представлена на рис.3.1

Для проведення розрахунків необхідно визначити параметри схеми заміщення двигуна у абсолютних одиницях. У табл.3.1 наведені дані асинхронного короткозамкненого двигуна, який використовується у компресорі, що розглядається.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані асинхронного двигуна

Тип двигуна	АИР280Б4У3
Номінальна потужність $P_n$ , кВт	132
Номінальна фазна напруга $U_{фн}$ , В	220
Номінальний ККД $\eta_n$	0,955
Номінальний $\cos\varphi_n$	0,88
Момент інерції $J$ , кг*м <sup>2</sup>	2,5
Число пар полюсів $Z_p$	3
Номінальне ковзання $s_n$	0,063
Активний опір статора $R_s^*$ , в.о.	0,021
Зведений активний опір ротора $R_r^*$ , в.о.	0,018
Індуктивний опір статора $X_s^*$ , в.о.	0,115
Зведений індуктивний опір ротора $X_r^*$ , в.о.	0,15
Індуктивний опір повітряного зазору $X_\mu^*$ , в.о.	4,5

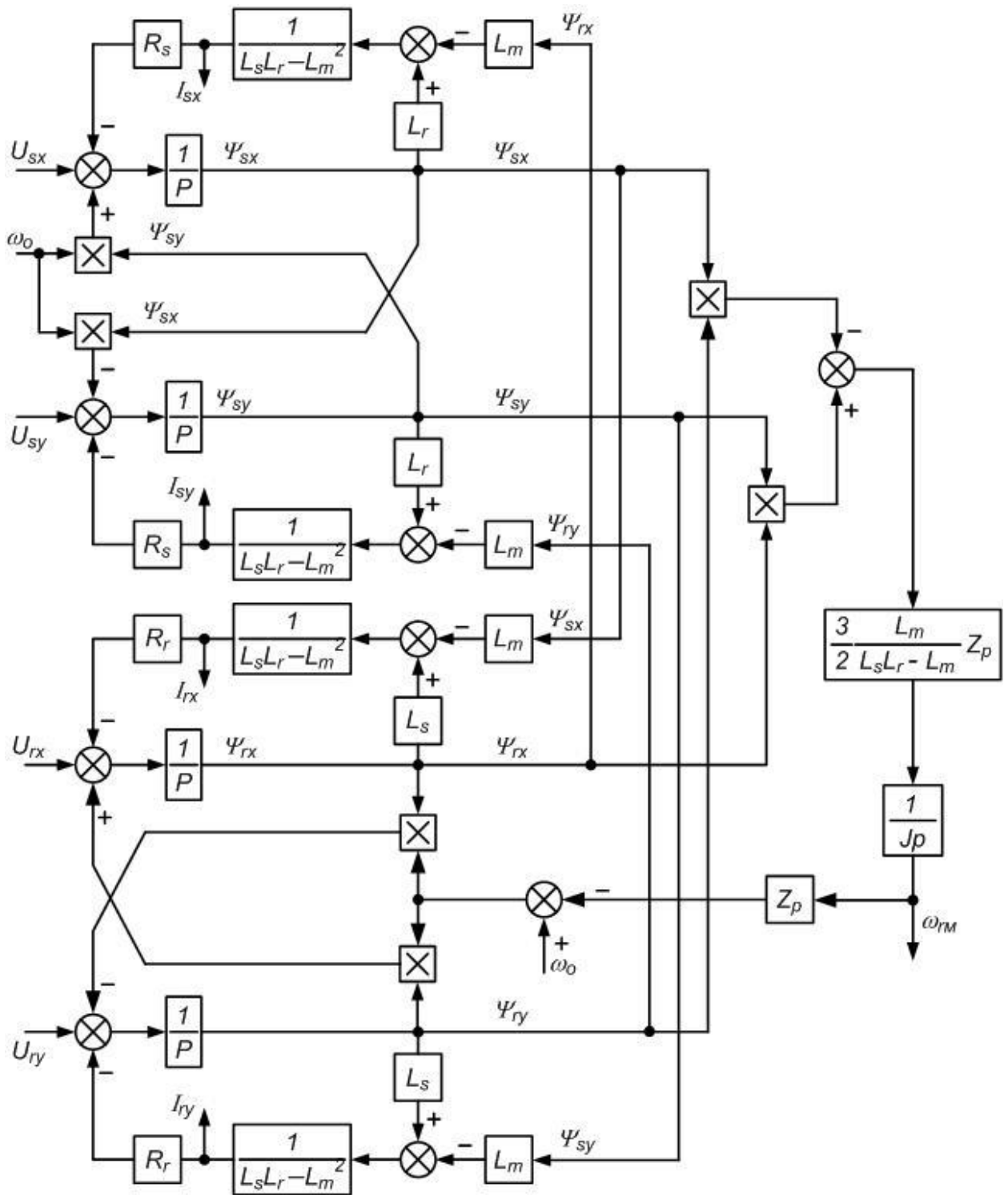


Рис 3.1 – Структурна схема асинхронного двигуна в системі координат x-y, орієнтованій за вектором напруги статора

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для переводу опорів з відносних одиниць в абсолютні скористаємося виразом:

$$Z = Z^* \cdot Z_B = Z^* \cdot \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}}$$

де  $Z_B = \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}}$  – базовий опір; Ом;  $Z^*$  – опір у відносних одиницях;  $Z$  – шуканий опір, Ом.

Визначимо базовий опір:

$$Z_b = \frac{U_{\phi n}}{I_{\phi n}} = \frac{220}{230} = 0,95 \text{ Ом}$$

Активний опір статора:

$$R_1 = 0,021 \times 0,95 = 0,02 \text{ Ом}$$

Активний опір ротора:

$$R_2 = 0,018 \times 0,95 = 0,017 \text{ Ом}$$

Індуктивний опір статора:

$$X_1 = 0,15 \times 0,95 = 0,11 \text{ Ом},$$

Індуктивний опір ротора:

$$X_2 = 0,15 \times 0,95 = 0,14 \text{ Ом},$$

Індуктивний опір кола намагнічування:

$$X_\mu = 4,5 \times 0,95 = 4,2750 \text{ Ом},$$

Індуктивний опір короткого замикання:

$$X_K = X_1 + X_2 = 0,11 + 0,14 = 0,25 \text{ Ом}.$$

Частота живлячої мережі:

$$\omega_0 = 2\pi f = 2\pi \times 50 = 314,159 \text{ с}^{-1}$$

Індуктивність розсіювання обмотки статора:

$$L_{s\sigma} = X_1 / \omega_o = 0,11 / 314,159 = 0,00035 ,$$

де  $\omega_o = 2 \pi f$  – кутова частота живлячої мережі, рад/с;  $f = 50$  Гц – номінальна частота живлячої мережі.

Індуктивність розсіювання обмотки ротора:

$$L_{r\sigma} = X'_2 / \omega_o = 0,14 / 314,159 = 0,00044 \text{ Гн.}$$

Максимальна взаємна індуктивність між обмотками статора и ротора:

$$L_m = X_\mu / \omega_o = 4,275 / 314,159 = 0,0136 \text{ Гн.}$$

Повна індуктивність обмотки статора:

$$L_{1s} = L_{s\sigma} + L_m = 0,00035 + 0,0136 = 0,0139 \text{ Гн.}$$

Повна індуктивність обмотки ротора:

$$L_r = L_{r\sigma} + L_m = 0,00044 + 0,01368 = 0,014 \text{ Гн.}$$

Розраховані параметри двигуна зведені до табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Дані двигуна АИР280М4У3

Активний опір статора $R_s$ , Ом	0,02
Зведений активний опір ротора $R_r$ , Ом	0,017
Індуктивність обмотки статора $L_s$ , Гн	0,0139
Індуктивність обмотки ротора $L_r$ , Гн	0,014
Індуктивність намагнічування $L_m$ , Гн	0,0136
Номінальний момент $M_n$ , Нм	840
Номінальний фазний струм $I_{\phi n}$ , А	230
Номінальна частота обертання $\omega_n$ , рад/с	147,8
Мала некомпенсована постійна часу контуру струму (силового перетворювача) $T_\mu$ , с	0,0005

## 3.2 Моделювання роботи електропривода

Модель двигуна в Simulink , побудована за вище наведеною схемою представлена на (рис. 3.2).

Модель системи регулювання представлена на рис. 3.3.

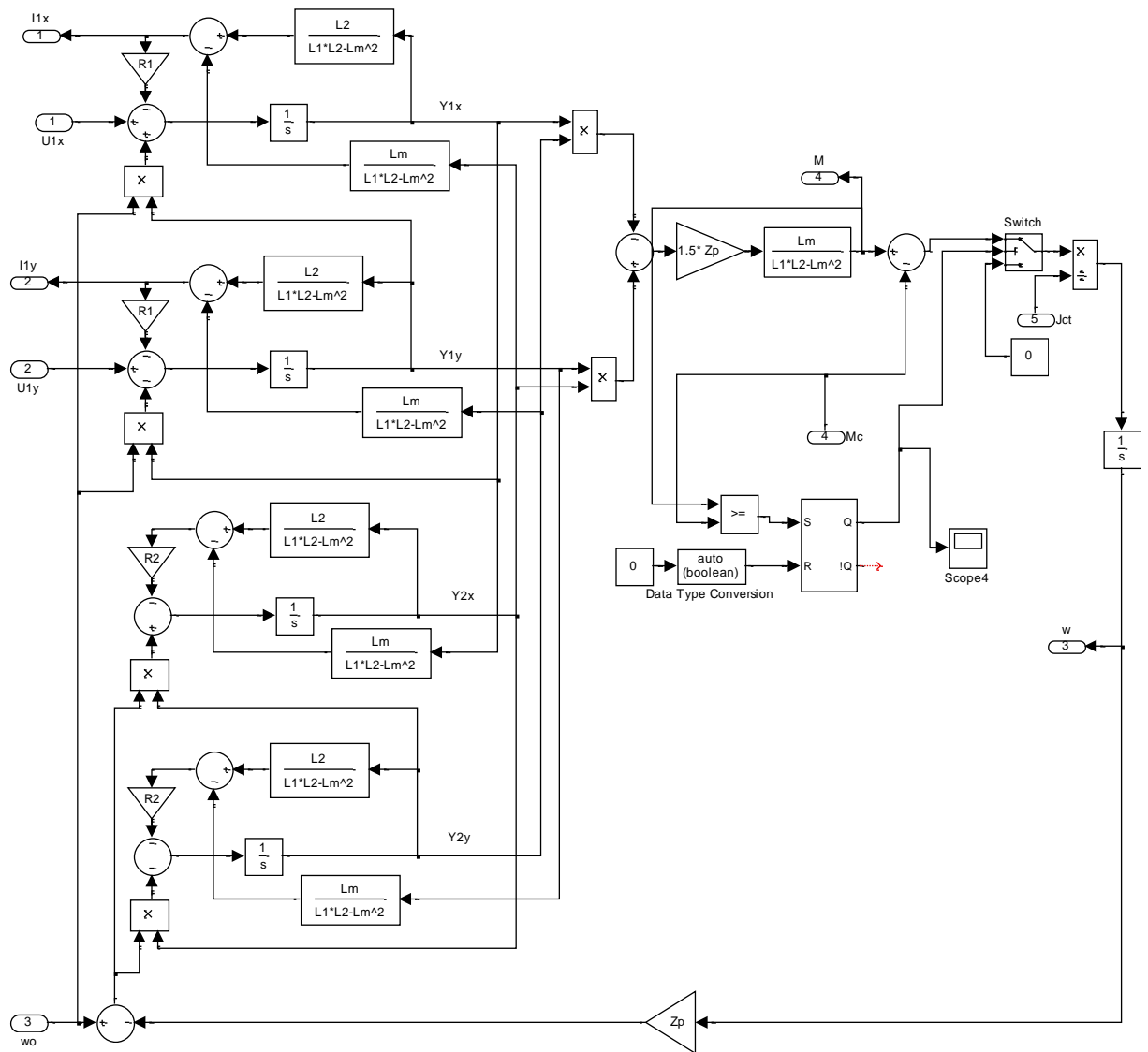


Рис. 3.2 – Модель двигуна

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата



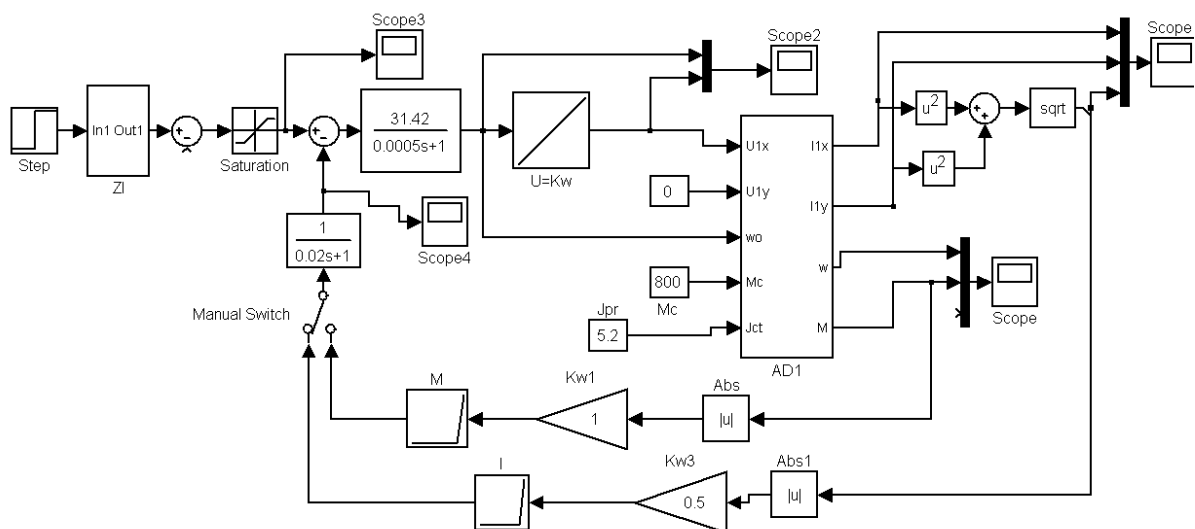


Рис. 3.3 – Модель електропривода

Робота моделі в режимі частотного керування проходить наступним чином. Пуск двигуна здійснюється від за датчика інтенсивності  $ZI$ , вихід якого обмежено на рівні максимального завдання. Далі вихід з блоків обмеження подається на вхід аперіодичної ланки, що моделює перетворювач, і з виходу якої виходить сигнал частоти  $\omega$  з виходу перетворювача сигнал подається на ланку  $U=K\omega$ , яка перетворюють вхідний сигнал завдання на сигнал напруги та частоти  $u$  відповідності до заданого співвідношення  $U/f$ . Саме співвідношення  $U/f$  задається в блоці  $U=K\omega$  каналу формування напруги. Сингали напруги та частоти подаються на відповідні входи блоку  $AD$ , в якому реалізовано модель двигуна у відповідності до структурної схеми, наведеної раніше. На вхід  $M_c$  подано сигнал моменту з блоку  $M_c$ , який реалізує момент статичний. Аналогічно реалізовано введення значення зведеного моменту інерції системи на вхід  $J_{ct}$ . З виходу блоку  $AD$  виводяться сигнали складових струмів статора  $I_{sx}$ ,  $I_{sy}$  та ротора  $I_{rx}$ ,  $I_{ry}$  за відповідними осями системи координат  $x$ - $y$ , момент та швидкість двигуна. Окремо розраховується струм статора  $I_s$ . В системі реалізована можливість вводити обмеження сигналу завдання як за струмом, так і за моментом. Це необхідно для обмеження струму та моменту при пуску.

На рис.3.4 представлені графіки швидкості та моменту двигуна при пуску компресора с номінальним навантаженням (пуск на протитиск). На рис.3.5 представлені струми статора: складові  $I_{sx}$ ,  $I_{sy}$  та дійсний струм статора  $I_s$ .

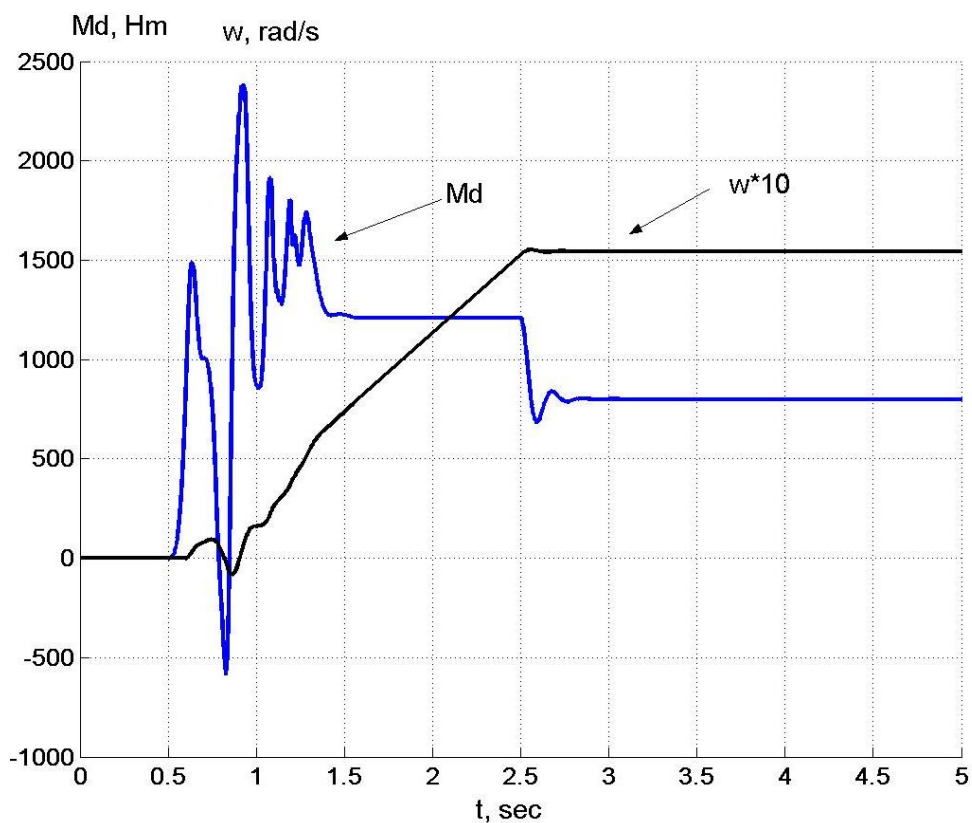


Рис. 3.4 – Швидкість та момент двигуна при пуску.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

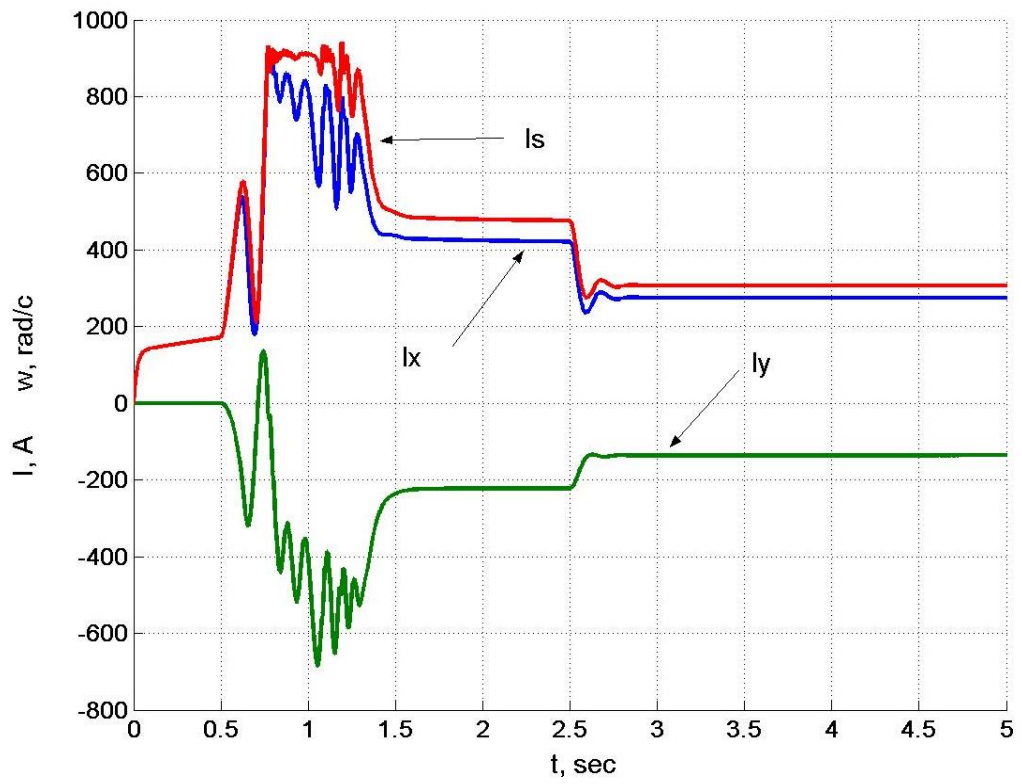


Рис. 3.5 – Струми двигуна при пуску

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕП.ПД.18.10.03.ПЗ

Арк.

42

# ОХОРОНА ПРАЦІ

					ЕП.ПД.18.10.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

## 4.1 Загальна характеристика шкідливих та небезпечних факторів

При обслуговуванні компресорних установок на працівника можуть діяти наступні шкідливі та небезпечні для життєдіяльності фактори:

- рухомі незахищені частини виробничого обладнання;
- підвищена чи знижена температура поверхонь техніки, обладнання й матеріалів;
  - при експлуатації посудин, що працюють під тиском, можливе виникнення аварій та аварійних ситуацій, пов'язаних з руйнуванням їх стінок та миттєвим виділенням у довкілля великої кількості енергії;
  - небезпеку становлять також витоки горючих та токсичних газів або кисню, який підвищує можливість виникнення пожежі;
  - підвищений рівень шуму на робочому місці (три установки під час роботи значно підвищують рівень шуму);
  - підвищений рівень вібрації (чотири потужні двигуни в одному приміщенні);
  - підвищене значення напруги в електричному ланцюзі (компресорна установка має власний електропривід, котрий живиться від мережі 380 В змінного струму частоти 50Гц), замикання якого може пройти через тіло людини;
  - недостатня освітленість робочої зони (через осідання пилу на приборах освітлення та вікнах, рівень освітленості дуже малий);
  - гострі кромки, задирки і шорсткість на поверхні муфт та різного рухомого обладнання.

					ЕП.ПД.18.10.04.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## 4.2 Перелік реалізованих засобів охорони праці

Основними вимогами з охорони праці, що ставляться до машин і механізмів, є їх безпечність для людини, надійність і зручність експлуатації. Безпечність виробничого обладнання, машин і механізмів досягається за рахунок правильного вибору принципів дії, кінематичних схем, конструктивних рішень, робочих тіл, параметрів технологічних процесів та використанням різноманітних засобів захисту. Зручність експлуатації машин і механізмів досягається за рахунок удосконалення конструкції машин та робочого місця оператора.

Робота з технічного обслуговування компресорної установки виконується працівниками підприємства, котрі перш за все пройшли інструктаж з техніки безпеки, отримали допуск о роботи та відмітку в спеціальному журналі обслуговування.

При експлуатації компресорних установок необхідно додержуватися правил безпеки при роботі з посудинами під тиском згідно з НПАОП 0.00-1.59-87 та НПАОП 0.00-1.13-71 «Правила будови і безпечної експлуатації стаціонарних компресорних установок, повітропроводів газопроводів».

Для створення безпечних умов експлуатації та обслуговування, установки оснащено приладом для вимірювання тиску, температури та рівня рідини, запірною та запірно-регулювальною апаратурою. Кожна посудина оснащується вентилем для контролю відсутності тиску перед її відкриттям з відводом залишків речовини, що зберігалась у посудині, в безпечне місце, штуцерами для наповнення, зливу води і видалення повітря при гідравлічних випробуваннях.

Усі працюючі під тиском посудини оснащені манометрами, на які нанесені мітки максимального і мінімального рівнів тиску. Оскільки посудина працює при змінній температурі стінок, то вона має прилади для контролю нагрівання.

З метою попередження підвищення тиску в посудинах понад допустимого останні оснащуються запобіжними пружинними клапанами. Задля запобігання

					ЕП.ПД.18.10.04.ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

несправностей балони проходять огляд після монтажу до пуску в роботу, періодично в процесі експлуатації та позачергово. Обсяги, методи і періодичність технічного огляду встановлюються згідно з Правилами.

Безпека експлуатації компресорів досягається використанням спеціальних змащувальних матеріалів, застосуванням систем охолодження та очищення.

Для змащування робочих циліндрів повітряних компресорів використовуються термічно стійкі, добре очищені мастила, здатні протистояти окислювальній дії гарячого повітря. Змащування інших механізмів здійснюється звичайними мастилами. Перед пуском компресорів перевіряють наявність мастила.

З метою попередження гідравлічних ударів передбачене відведення сконденсованої рідини з холодильника, додаткове осушення та контроль відносної вологості повітря, яке засмоктується в компресор. Для усунення іскроутворення внаслідок виникнення розрядів статичної електрики компресори заземлюють.

Для зменшення впливу сонячного проміння повітрязбірники пофарбовано у сріблястий колір. На видному місці чорною фарбою нанесено реєстраційний номер, допустимий тиск, місяць та рік наступного внутрішнього огляду та гідравлічного випробовування.

Людина є найважливішим фактором надійного функціонування технологічного обладнання, але її психічні і фізіологічні можливості обмежені, що зумовлює звертати значну увагу на конструкцію технічних засобів з метою створити безпечні умови праці та забезпечити максимальну продуктивність при мінімальних витратах енергії робітника.

Працівники застосовують індивідуальні, а також і колективні засоби захисту.

Засоби колективного захисту, які використовуються на підприємстві, підрозділяються на класи: нормалізації повітряного середовища виробничих

					ЕП.ПД.18.10.04.ПЗ	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

приміщень і робочих місць, нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць, захисту від іонізуючих випромінювань, інфрачервоних випромінювань, ультрафіолетових випромінювань, електромагнітних випромінювань, магнітних і електричних полів, випромінювання оптичних квантових генераторів, шуму, вібрації, ультразвуку, враження електричним струмом, електростатичних зарядів, від підвищених і знижених температур поверхонь устаткування, матеріалів, виробів, заготовок, від підвищених і знижених температур повітря робочої зони, від впливу механічних, хімічних, біологічних факторів. Засоби колективного захисту конструктивно і функціонально пов'язані з виробничим процесом, виробничим обладнанням та приміщенням, і поділяються на огорожувальні, запобіжні, блокувальні та сигнальні.

Для захисту від ураження електричним струмом застосовуються різні технічні заходи, такі як малі напруги; електричне розділення мережі; контроль і профілактика пошкодження ізоляції; захист від випадкового дотику до струмоведучих частин; захисне заземлення; захисне відключення.

Індивідуальні засоби захисту застосовуються в тих випадках, коли безпека виконання робіт не може бути повністю забезпечена організацією виробництва, конструкцією обладнання та засобами колективного захисту.

Використовують засоби захисту органів дихання – протигази; респіратори; спеціальний одяг – комбінезони, напівкомбінезони; куртки; брюки; костюми; халати; плащі; кожушки, кожухи; фартухи; жилети; нарукавники; спеціальне взуття – чоботи, черевики, калоші; засоби захисту рук – рукавиці гумові, рукавички гумово-шкіряні; засоби захисту голови – каски; шоломи, підшоломники; шапки, берети, капелюхи; засоби захисту особи – захисні маски, захисні щитки; засоби захисту органів слуху – протишумові шоломи; навушники; вкладиші; засоби захисту очей – захисні окуляри; запобіжні

					ЕП.ПД.18.10.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47



пристосування – пояси запобіжні; діелектричні килимки; ручні захвати; маніпулятори; наколінники, налокітники, наплечники;

Використання ЗІЗ забезпечує максимальну безпеку, а незручності, пов'язані з їх застосуванням, зведені до мінімуму.

Під час роботи в електроустановках напругою до 1000 В без зняття напруги на струмопровідних частинах чи поблизу від них необхідно:

- обгородити розташовані поблизу робочого місця інші струмопровідні частини, що перебувають під напругою, і до яких можливий випадковий дотик;
- працювати в діелектричному взутті чи стоячи на ізолювальній підставці або на діелектричному килимі;
- застосовувати інструмент із ізолювальними руків'ями (у викруток, крім того, має бути ізольований стрижень); за відсутності такого інструменту слід користуватися діелектричними рукавичками.

Під час виконання робіт без зняття напруги на струмопровідних частинах за допомогою ізолювальних засобів захисту необхідно:

- тримати ізолювальні частини засобів захисту за руків'я до обмежувального кільця;
- розміщувати ізолювальні частини засобів захисту так, щоб не виникла небезпека перекриття по поверхні ізоляції між струмопровідними частинами двох фаз чи замикання на землю.

## 4.3 Пожежна безпека

Приміщення, в котрому розміщується компресорна установка, відноситься до категорії «Г». До даної категорії відносяться приміщення, в яких знаходяться негорючі речовини та матеріали в гарячому, розжареному або розплавленому стані, процес обробки яких супроводжується виділенням променистого тепла, іскор, полум'я; горючі гази, спалимі рідини, тверді речовини, які спалюються або утилізуються як паливо.

До основних джерел запалювання відносять: тепловий прояв електричної, механічної та сонячної енергії, тепловий прояв хімічної реакції та інші джерела. Джерелом запалювання можуть бути також іскри, які виникають при роботі електричних машин.

Серед найбільш поширених та небезпечних є джерела запалювання, які пов'язані з такими тепловими проявами електричної енергії, як короткі замикання в електричних мережах, струмові перевантаження, розряди статичної та атмосферної електрики, електричні іскри, розігрів місць з'єднання проводів та контактів у комутуючому електрообладнанні внаслідок їх значного перехідного опору, електрична дуга та розжарені краплі металу, що утворюються при електрозварюванні та плавленні ниток розжарювання електричних ламп загального призначення тощо.

Для запобігання можливості розповсюдження пожежі та забезпечення шляхів під'їзду для пожежної техніки між сусідніми будівлями та спорудами встановлені протипожежні відстані згідно із ступенем вогнестійкості будівлі.

Для ліквідації осередків пожежі в початковій стадії їх розвитку силами робітників приміщення забезпечене первинними засобами пожежогасіння, пожежним ручним інструментом і інвентарем. Серед них є: внутрішні пожежні крани, ручні вогнегасники, гідропульти, ручні насоси, бочки з водою, ящики з

					ЕП.ПД.18.10.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

піском, покривала з повстини, ручний пожежний інструмент і інвентар (відра, ломи, сокири, лопати, кирки, багри, пожежні стенди, щити тощо).

У разі необхідності гасіння пожежі, до прибуття бригади, не відключеного електрообладнання водою із ствола пожежного водопроводу, щоб уникнути ураження електричним струмом необхідно дотримуватись наступних вимог:

- керівником гасіння пожежі до прибуття бригади пожежників є старший із числа працівників, або ж відповідальний за електричне господарство;
- відключення з'єднань, на яких горить обладнання, проводиться черговим персоналом;
- гасіння водяними струями допускається тільки у відкритих для обзору електроустановках, при цьому рукав має бути заземлений, а той хто тримає його, повинен бути в діелектричних рукавичках та ботах, і знаходитися від вогню на відстані не менше 3,5 м;
- не дозволяється використовувати для гасіння солону або сильно забруднену воду;
- піною гасити забороняється, тому що вона має підвищену електропровідність;
- силовий трансформатор повинен бути вимкнений.

Підходи до вогнегасників та інших первинних засобів пожежогасіння зручні і не захаращені. Для кращої видимості елементи будівельних конструкцій (частини колон і огорож, підлоги) у місцях розташування цих засобів виділено червоними смугами шириною 200–400 мм, а засоби пожежогасіння фарбовано в червоний колір.

					ЕП.ПД.18.10.04.ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

					ЕП.ПД.18.10.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

## 5.1 Вступ

В дипломному проекті розглядається система автоматичного керування приводом, а саме – асинхронним двигуном, компресорної установки шляхом використання перетворювача частоти. Однією з причин вибору даного методу є економічна ефективність. Дане технічне рішення дозволить зменшити експлуатаційні витрати на технічне обслуговування установки та споживання електроенергії і збільшити надійність роботи системи в цілому. Основним завданням техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) є розрахунок економічної доцільності використання асинхронного двигуна з перетворювачем частоти (ПЧ), як приводу компресорної установки, а також визначення капітальних витрат і експлуатаційних витрат проектного механізму.

## 5.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні інвестиції – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів та нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні інвестиції реалізації проекту включають в себе:

- витрати на придбання обладнання;
- витрати на монтаж і налагодження обладнання;

Підрахунок витрат здійснюється на основі цін, наведених у прайс-листах виробників обладнання та інших довідкових матеріалів.

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

$$K_{пр} = K_{об}(\sum_{i=1}^k C_i) + Z_{тпс} + Z_{м} + Z_{н} + Z_{пр},$$

Де  $k$  - кількість необхідних комплектуючих елементів;

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

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

					ЕП.ПД.18.10.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

$Z_n$  - витрати на налагоджувальні роботи;

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

### 5.2.1 ВИТРАТИ НА ПРИДБАННЯ ОБЛАДНАННЯ

Ціни на комплектуючі елементи було взято з офіційних сайтів виробників цього обладнання: Danfoss – м.Київ, вул. В.Хвойки 15/15/6, тел. (044) 461-87-00 <http://drives.danfoss.ua/> та Schneider – м.Київ, пр. Степана Бендери, 13-В, літера А, тел. (044) 538-14-70 <https://www.schneider-electric.ua/> . Ціни актуальні на 15.06.2018 року.

Таблиця 5.1 – зведені витрати на придбання обладнання

№	Назва	Кількість, шт	Ціна, грн	Сума, грн
1	Перетворювач частоти Danfoss HVAC Drive FC- 102	1	386 300	386 300
2	Автоматичний вимикач ІЕК ВА88-37	1	3955	3955
3	Фільтр VLT ® Advanced Active Filter Aaf 006	1	985130	985130
4	Датчик тиску Schneider Telemecanique XMLK010B2C21	5	2200	11000
Всього				1 386 385

### 5.2.2 ВИТРАТИ НА МОНТАЖНІ ТА НАЛАГОДЖУВАЛЬНІ РОБОТИ

Витрати на монтажні-налагоджувальні роботи розраховуються за наступною формулою:

$$Z_M = \sum(C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{cm} \cdot K_{пр},$$

Час для виконання робіт монтажника визначено відповідним органом підприємства та затверджено начальником. Всі документи, в яких зазначені норми часу, для виконання тих чи інших робіт, знаходяться у нормувальника.

Мінімальний оклад працівника першого розряду, на підприємстві, на посаді монтажника становить 3723 грн. Він зазначений у документації підприємства, яка знаходиться у бухгалтерії.

Монтаж виконується працівником V розряду, його тарифна заробітна плата з урахуванням тарифного коефіцієнта розряду за єдиною тарифною сіткою (1,36) буде складати 5063,28 грн.

Звідси знайдемо годинну тарифну ставку:  $5063,28 / 168 = 30,13$  грн / год.

Таблиця 5.2 – витрати на монтаж

Найменування витрат	Позначення	Значення
Чисельність працівників V розряду, чол.	$Ч_i$	2
Годинна ставка працівників монтажника V розряду, грн.	$a_i$	30,13
Час, необхідний для виконання монтажних робіт, год	$t_i$	8
Коефіцієнт, що враховує розряд працівника	$K_{роз}$	1,36
Коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок	$K_{соц.вн.}$	1,22
Коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних робіт	$K_{ін}$	1,07

Витрати на монтаж:

$$З_m = \sum(2 * 30.13 * 8) * 1.36 * 1.22 * 1.07 = 856 \text{ грн.}$$

Мінімальний оклад працівника першого розряду, на підприємстві, на посаді наладчика становить 5830 грн. Він зазначений у документації підприємства, яка знаходиться у бухгалтерії.

Монтаж виконується працівником VI розряду, його тарифна заробітна плата з урахуванням тарифного коефіцієнта розряду за єдиною тарифною сіткою (1,45) буде складати 8453,5 грн.

Звідси знайдемо годинну тарифну ставку:  $8453,5 / 168 = 50,3$  грн / год.

Таблиця 5.3 – витрати на налагодження

Найменування витрат	Позначення	Значення
Чисельність працівників VI розряду, чол.	$Ч_i$	1
Годинна ставка працівників монтажника VI розряду, грн.	$a_i$	50,3
Час, необхідний для виконання монтажних робіт, год	$t_i$	4
Коефіцієнт, що враховує розряд працівника	$K_{роз}$	1,45
Коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок	$K_{соц.вн.}$	1,22
Коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних робіт	$K_{ін}$	1,07

Витрати на налагодження:

$$Z_n = \sum(1 * 50.3 * 4) * 1.45 * 1.22 * 1.07 = 381 \text{ грн.}$$

Транспортні витрати розраховуємо згідно з цінами у курерській службі Нова Пошта ([https://novaposhta.ua/tarifi korporativnie klienti/](https://novaposhta.ua/tarifi_korporativnie_klienti/)). Доставка із складу в Києві до складу в Дніпро складає:



Таблиця 5.4 – зведені транспортні затрати

№	Назва транспортованого грузу	Ціна, грн.
1	Перетворювач частоти	120 грн.
2	Автоматичний вимикач	25 грн.
3	Фільтр	950 грн.
4	Датчик тиску	45 грн.
Всього		1140 грн.

Загальна сума витрат становить:

$$K_{\text{пр}} = 1140 + 856 + 381 + 1\,386\,385 = 1\,388\,762 \text{ грн.}$$

## 6.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

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

До основних статей експлуатаційних витрат електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування ( $C_a$ );
- заробітна плата обслуговуючого персоналу ( $C_з$ );
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж ( $C_T$ );
- вартість електроенергії, що буде споживана об'єктом проектування або витрат електроенергії ( $C_e$ );
- інші експлуатаційні витрати ( $C_{\text{пр}}$ ).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_з + C_T + C_e + C_{\text{пр}}, \text{ грн.}$$

### 5.3.1 РОЗРАХУНОК АМОРТИЗАЦІЙНИХ ВІДРАХУВАНЬ

Мінімально допустимий термін корисного використання по групам основних засобів 10 років.

Визначимо норму амортизації:

$$O_a = O_{\Pi} - Л = 1\,396\,650 - 0 = 1\,396\,650 \text{ грн.}$$

де  $O_{\Pi}$  - первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;

$Л$  - розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів. Якщо визначити очікувану ліквідаційну вартість об'єкта основних засобів складно, то при прямолінійній методі амортизації дозволяється вважати її рівною нулю.

Електрообладнання відноситься до IV групи основних засобів з мінімальним терміном корисного використання  $T_k = 5$  років.

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом всього амортизаційного періоду і визначається за формулою:

$$H_a = \frac{O_{\Pi} - Л}{O_{\Pi} * T_k} * 100\% = \frac{1\,396\,650 - 0}{1\,396\,650 * 5} * 100\% = 20\%$$

Таблиця 5.5 – результати розрахунків амортизаційних витрат

Найменування	Капітальні витрати, грн	Норма амортизації, %	Сума амортизації, грн.
Проектний варіант	1 388 762	20	277 752

### 5.3.2 РОЗРАХУНОК РІЧНОГО ФОНДУ ЗАРОБІТНОЇ ПЛАТИ

Розрахунок річного фонду заробітної плати здійснюється за категоріями персоналу (робочі, РСС), який обслуговує об'єкт проектування, відповідно до їх чисельністю, режиму роботи, вартовими тарифними ставками, посадовими

окладами, які застосовуються на підприємстві формами і системами оплати праці та преміювання.

Основна заробітна плата працівників - це винагороди за виконану роботу відповідно до встановлених норм праці (норми часу, виробітку, обслуговування, посадові обов'язки).

Додаткова заробітна плата - це винагорода за працю понад установлені норми, за особливі умови праці. До додаткової заробітної плати відносяться премії, пов'язані з виконанням виробничих завдань і функцій, доплати і надбавки, гарантійні і компенсаційні виплати, передбачені чинним законодавством.

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника визначається відповідно до режиму роботи (кількістю робочих днів, числом і тривалістю змін).

Розрахунок номінального річного фонду робочого часу одного працівника можна визначити за формулою:

$$T_{\text{НОМ}} = T_p * t_{\text{ЗМ}} = 245 * 8 = 1960 \text{ год.}$$

де  $T_p$  - кількість робочих днів (відповідно до режиму роботи підприємства на 2017 рік - 245 днів)

$t_{\text{ЗМ}}$  - тривалість зміни;

Мінімальний оклад працівника першого розряду, на підприємстві, на посаді чергового електрика становить 2570 грн. Він зазначений у документації підприємства, яка знаходиться у бухгалтерії.

Монтаж виконується працівником III розряду, його тарифна заробітна плата з урахуванням тарифного коефіцієнта розряду за єдиною тарифною сіткою (1,18) буде складати 3032,6 грн.

Звідси знайдемо годинну тарифну ставку:  $3032,6 / 168 = 18,05$  грн / год.

					ЕП.ПД.18.10.05.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5.6 – розрахунок річної заробітної плати

№	Назва професії робітника	Штат працівників	Часова тарифна ставка, грн.	Номінальний річний фонд робочого часу, год.	Основна зарплата, грн.
1.	Черговий електромонтер	1	18,05	1960	35 380

Обсяг доплат до основної заробітної плати 12% від основного фонду, тобто 4245,64 грн.

Загальний обсяг фонду заробітної плати:

$$O_3 = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} = 35\,380 + 4245 = 39\,625 \text{ грн.}$$

де  $Z_{\text{осн}}$  - основна заробітна плата;

$Z_{\text{доп}}$  - обсяг доплат до основної заробітної плати;

### 5.3.3 СОЦІАЛЬНІ ВІДРАХУВАННЯ

Відрахування на соціальні заходи (єдиний соціальний внесок) визначається на підставі встановленого чинним законодавством відсотка від суми основної та додаткової заробітної плати. Станом на 2017 рік він становить 22% від заробітної плати.

$$C_{\text{вн}} = C_3 * 22\% = 39\,625 * 22\% = 8717 \text{ грн}$$

### 5.3.4 РІЧНІ ВИТРАТИ НА ПОТОЧНИЙ РЕМОНТ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного обладнання включають витрати на матеріали і запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам.

					ЕП.ПД.18.10.05.ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати за формулою:

$$P_{\text{т.р.}} = \sum_{i=1}^n (R \cdot t \cdot m \cdot R_{\Sigma} + \frac{S \cdot \Pi}{T} \cdot T_{\phi})$$

де R - годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн;

t - трудомісткість одного ремонту (для малого приймаємо 1,2 од / год.)

m - кількість ремонтів в рік;

R<sub>Σ</sub> - сумарна категорія складності ремонту (приймаємо 10);

S - вартість однотипних замінних елементів, грн;

Π - кількість однотипних замінних елементів, грн;

T - середній термін служби деталей одного типу, час;

T<sub>φ</sub> - число годин роботи обладнання в рік, годину.

Номінальний річний фонд робочого часу електрообладнання становить:

$$T_{\text{н}} = T_{\text{р}} \cdot K_{\text{зм}} \cdot t_{\text{зм}} = 245 \cdot 1 \cdot 8 = 1960 \text{ год.}$$

де K<sub>зм</sub> - кількість робочих змін;

(245 робочих днів, зміна о 8:00, робота в 1 зміну)

Час на проведення ремонтних попереджувальних робіт:

$$T_{\text{п.рем.}} = 6 \cdot 8 = 48 \text{ год.}$$

Технічна зупинка на обслуговування становить 1 годину в зміні. Тривалість зупинки визначили шляхом дослідження, скільки часу в середньому витрачає працівник на обслуговування. Загальний час обслуговування:

$$T_{\text{обсл}} = 48 + 245 = 293 \text{ год.}$$

Загальний час роботи обладнання складає:

$$T_{\text{р}} = 1960 - 293 = 1667 \text{ год.}$$

Загальні витрати на технічне обслуговування та ремонт складають:

					ЕП.ПД.18.10.05.ПЗ	Арк.
						<b>60</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Z_{т.р.} = 24,59 * 1,2 * 4 * 10 + \frac{250 \cdot 6}{600} * 1667 = 5348 \text{ грн.}$$

### 5.3.5 ВАРТІСТЬ СПОЖИВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

При розрахунку вартості спожитої електроенергії використовується спеціальне програмне забезпечення Eсо8.

Програма Eсо8 компанії Schneider-Electric призначена для швидкого розрахунку економії електроенергії від застосування перетворювачів частоти в компресорних установках. Базовим варіантом є установка з механічним регулюванням витрати, проєктованим – з регулюванням частоти обертання.

Початковими даними для розрахунку є:

1. Інформація про установку:
  - різновид турбомеханізму (компресор або насос);
  - режим роботи (добова, тижнева, місячна або річна погодинна діаграма витрат, число робочих годин, днів, тижнів або місяців в році);
  - електричні параметри двигуна;
  - вартість електроенергії.
2. Спосіб механічного регулювання продуктивності в базовому варіанті.
3. Інформація про перетворювач частоти:
  - номінальні параметри;
  - вартість перетворювача і комплектуючих

Після вводу всіх необхідних даних було отримано результат, проілюстрований на рис 5.1.

					ЕП.ПД.18.10.05.ПЗ	Арк.
						<b>61</b>
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

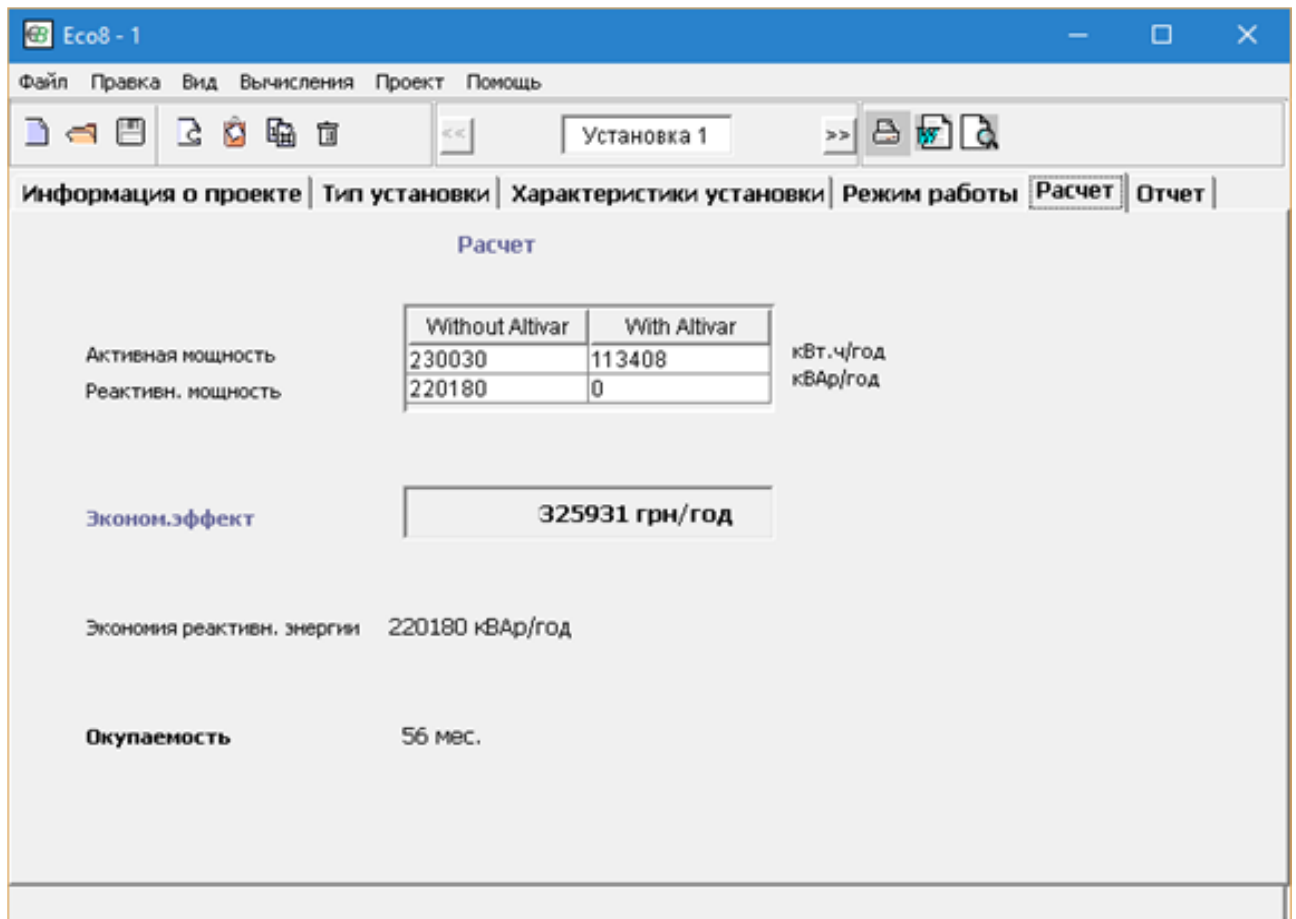


Рис 5.1 – результати досліджень

Отже при використанні регульованого електроприводу за рік буде спожито 563618 кВт\*год по тарифу 1.56 грн. за 1 кВт. Як наслідок маємо:

$$C_e = 113408 \cdot 1.56 = 176916 \text{ грн}$$

При використанні не регульованого електроприводу:

$$C_e = 230030 \cdot 1.56 = 328846 \text{ грн}$$

### 5.3.6 ІНШІ ВИТРАТИ

Інші витрати по експлуатації об'єкта проектування включають витрати з охорони праці, на спецодяг та ін. Відповідно до практики, ці витрати визначаються в розмірі 4% від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу. І складають:

$$C_{\text{ін}} = 35\,380 * 0,04 = 1415,2 \text{ грн.}$$

Таким чином, всі розраховані витрати ведено в таблиці 5.6, котрі становлять:

$$C = 39\,625 + 525\,905 + 5348 + 1\,396\,095 + 1415 = 1\,968\,943 \text{ грн.}$$

Таблиця 5.6 – зведені загальні витрати

Вид витрат	Значення
Амортизаційні відрахування	1 396 650
Заробітна плата персоналу	39 625
Витрати на техобслуговування та поточний ремонт	5348
Вартість електричної енергії	525 905
Інші витрати	1415
Всього	1 968 943



## 5.4 Висновок

В даному розділі була визначена загальна вартість капітальних витрат на впровадження розробленого технологічного рішення, яка становить 1 388 762 грн.

Установка нового обладнання дозволить значно скоротити витрати на електроенергію за рахунок зменшення втрат і раціонального використання електроенергії. Досягнуто це за рахунок сучасних технологій управління електродвигуном, за допомогою перетворювача частоти. Хоча капітальні затрати значно більші, проте щорічна економія електричної енергії в розмірі 151 930 грн дозволяє за 56 місяців повністю окупити капітальні затрати.

					ЕП.ПД.18.10.05.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64