

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**

студента Куманьова Романа Костянтиновича

(ПІБ)

академічної групи ЕТФ -141-18ск-3

(шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(код і назва спеціальності)

спеціалізації<sup>1</sup> Електропривод, мехатроніка та робототехніка

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему «Автоматизований електропривод компресора киснево-компресорного цеху в умовах ПАТ «ДМК»

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинговою	інституційною	
кваліфікаційної роботи	Худолій С.С.			
розділів:				
Технологічна частина	Худолій С.С.			
Автоматизований електропривод	Худолій С.С.			
Охорона праці	Столбченко О.В.			
Техніко-економічне обґрунтування	Тимошенко Н.В.			
Рецензент				
Нормоконтролер				

Дніпро  
2021

**ЗАТВЕРДЖЕНО:**

завідувач кафедри  
електропривода  
\_\_\_\_\_

(повна назва)

Казачковський М.М.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 року

**ЗАВДАННЯ**  
**на кваліфікаційну роботу**  
**ступеня бакалавра**  
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студенту Куманьову Р.К. академічної групи ЕТФ -141-18ск-3  
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

спеціалізації<sup>1</sup> Електропривод, мехатроніка та робототехніка

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(офіційна назва)

на тему «Автоматизований електропривод компресора киснево-компресорного цеху в умовах ПАТ «ДМК»

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 12.04.2021 №201-С

Розділ	Зміст	Термін виконання
Технологічна частина	Призначення та технічна характеристика механізму, Опис обраного механізму, Вимоги до електроприводу	07.06.2021
Автоматизований електропривод	Розрахунок силових електричних навантажень, Моделювання системи частотного регульованого асинхронного електропривода	08.06.2021
Охорона праці	Електробезпека Розрахунок штучного освітлення Пожежна профілактика	11.06.2021
Техніко-економічне обґрунтування	Розрахунок капітальних витрат Визначення річних витрат	14.06.2021

Завдання видано \_\_\_\_\_  
(підпис керівника)

Худолій С.С.  
(прізвище, ініціали)

Дата видачі \_\_\_\_\_

Дата подання до екзаменаційної комісії \_\_\_\_\_

Прийнято до виконання \_\_\_\_\_  
(підпис студента)

\_\_\_\_\_ (прізвище, ініціали)

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	7
1.1 Призначення та технічна характеристика механізму	7
1.2 Вимоги до електроприводу. Обґрунтування вибору системи електроприводу.	10
1.3 Опис обраного механізму, його конструкція, параметри та розміри	13
2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД	14
2.1 Відомості споживачів електричної енергії з виказанням необхідних даних для проектування	14
2.2 Вибір роду струму та величини напруги живлення	15
2.3 Вибір схеми електропостачання, типу силових збірок, марки дроту(кабелю) та засобів їх прокладки	17
2.4 Розрахунок силових електричних навантажень та вибір силових трансформаторів	22
2.5 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна з перевіркою по пусковим умовам, комп'ютерна побудова механічної характеристики	24
2.5.1 Розрахунок змінної потужності	30
2.5.2 Розрахунок максимальної потужності	33
2.5.3 Визначення розрахункових силових навантажень методом коефіцієнту максимуму	35
2.5.4 Вибір силових трансформаторів	36
2.6 Розрахунок річного споживання електроенергії	37
2.7 Вибір схеми управління з елементами автоматизації. Опис роботи схеми управління	39
2.8 Розрахунок і вибір апаратів керування і захисту	40
2.9 Розрахунок і вибір силової мережі	42
2.10 Система перетворювач частоти - асинхронний двигун	43
2.10.1 Методи управління	44
2.10.2 Побудова системи управління перетворювачів частоти	45

2.10.3	Вибір перетворювача частоти для приводу змінного струму	50
2.10.4	Вибір перетворювача частоти по енергетичних і зовнішніх характеристиках	51
2.10.5	Переваги та недоліки застосування перетворювачів частоти	54
2.10.6	Моделювання системи частотного регульованого асинхронного електропривода зі скалярним управлінням	55
	<b>3 ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ</b>	<b>61</b>
	<b>4 ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	<b>65</b>
4.1	Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів	65
4.2	Заходи з техніки безпеки та пожежної безпеки	67
4.3	Електробезпека	70
4.4	Пожежна профілактика	72
4.5	Розрахунок штучного штучного освітлення виробничих приміщень	73
	<b>5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ</b>	<b>75</b>
5.1	Розрахунок капітальних витрат	76
5.2	Розрахунок експлуатаційних витрат	79
5.3	Розрахунок амортизаційних відрахувань	79
5.4	Визначення річних витрат на технічне обслуговування і ремонт	80
5.5	Розрахунок вартості спожитої електроенергії	81
	<b>ВИСНОВОК</b>	<b>83</b>
	<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b>	<b>84</b>

## ВСТУП

ПАТ ДМК - єдиний в Україні постачальник катаної осьової заготівлі для залізничного транспорту, шпунтувальних швів типу Ларсен, рельсів контактних для метрополітену, сталених мелючих шарів, трубної заготівлі. Сталеплавильний комплекс обладнаний сучасними технічними засобами та технологією, що забезпечують високу якість киснево-конверторної сталі за макро- та мікроструктурою: десульфурація чавуну, комплексна дробка металу.

Публічне акціонерне товариство "Дніпровський металургійний комбінат" - найбільше підприємство промислового комплексу України з повним металургійним циклом по випуску 5600 тис. тон агломерату, 4350 тис. тон чавуна, 3850 тис. тон сталі, 3829 тис. тон готового прокату. Одне з найбільших підприємств гірничо-металургійного комплексу України, що налічує 128-річну історію видатних досягнень. ПАТ «ДМК» входить до числа шести провідних металургійних комбінатів країни за обсягами виробництва і реалізації металопродукції.

В складі комбінату входять наступні виробничі підрозділи:

- цех підготовки залізорудної сировини для виробництва агломерату
- доменний цех
- киснево-конвертерний комплекс з 2-ма 250-тонні перетворювачами з верхнім очищенням, 2-ма сортовими шестиручними криволінійними машинами безперервного лиття заготовок, 1-ї сортової семирухової криволінійної машини безперервного лиття заготовок, станції комплексної обробки металу
- прокатний цех з комплексом прокатного обладнання: блюмінг "1150", трубозаготовочний стан "900 \* 750 \* 3", універсальний стан "1200", клеїте "800", рельсозберігаючий цех із комплексом прокатного обладнання: блюмінг "1050", рельсоболочний стан "925", заготовочна кліть "925", сортопрокатний відділ з 15-клетевим полунеперпенізним станом "350",

осепрокатна ділянка з станом поперечно-гвинтової прокатки "250" і двома шаропрокатними станами "40-80"

- 9 ремонтно-механічних цехів
- 5 енергетичних цехів
- 3 транспортних цеха
- 11 допоміжних цехів
- науково-виробниче об'єднання
- лабораторії

В 2007 році в експлуатацію було введено нова підстанція Н-3біс, для електропостачання доменних печей №1М, підстанцій ДРЗ-11 і ФКУ, забезпечуючи живленням установок печей ковш конверторного цеха, а також підстанції ДРЗ-4біс, для нового стана 200/400.

# 1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Призначення та технічна характеристика механізму.

Установка компресорна ВВ-32/8М1У3 повітряна з гвинтовим компресором і приводом від електродвигуна призначена для постачання стисненого повітря в різні пневмо інструменти і обладнання.

Технічна характеристика наведена в таблиці 1.1.1

Таблиця 1.1.1 Технічна характеристика механізму [8]

Найменування параметрів	Одиниці виміру	ВВ-32/8 М1 У3
Стислий газ	Повітря	
Продуктивність по всмоктуванню	м <sup>3</sup> /с (м <sup>3</sup> /хв)	0,533 (32)
Тиск початковий, номінальний	МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,101(1,033)
Тиск кінцевий, номінальний	МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	0,78(8,0)
Температура повітря початкова (навколишнього середовища )	К(°С)	Від 233(-40) до 313(+40)
Температура кінцева, не більше	К(°С)	333(+60)
Потужність споживана компресором не більше	кВт	180,3
Потужність споживана вентилятором не більше	кВт	10
Охолодження масла	Повітряне	
Охолодження стислого газу	Повітряне	
Тип маслооходжувача	Пластинчато-ребристий	
Кількість необхідного масла	250л	
Марка компресора	CF-180R	
Тип компресора	Гвинтовий масло заповнений	

Продовження таблиці 1.1.1

Установка компресорна Довжина/ширина/висота	мм	4000/1830/2515
Маса установки в об'ємі поставки	кг	4350
Привод компресора: Електродвигун тип	5АН315А2СУ2	
Потужність	кВт	200
Частота обертання	с <sup>-1</sup> (Об/хв)	50(3000)
Напруга	В	380/660
Привод вентилятора: Електродвигун тип	АИРМ132М4	
Потужність	кВт	11
Частота обертання	с <sup>-1</sup> (Об/хв)	25(1500)
Напруга	В	380
Витрати масла на вхід	г/год	9,6

Компресори відносяться до групи механізмів, що набули широкого поширення на всіх промислових підприємствах.

Компресори застосовують для одержання стисненого повітря або іншого газу тиском понад  $4 \cdot 10^5$  Па ( $4 \text{ кгс/см}^2$ ) з метою використання його енергії в приводах пневматичних молотів і пресів, в пневматичному інструменті, в пристроях пневмоавтоматики та ін..

За принципом дії компресори діляться на відцентрові і поршневі. Відцентрові компресори по конструкції поділяють на турбінні й ротаційні.

Поршневі компресори відрізняються нерівномірністю подачі газу. У компресорі одинарної дії подача газу проводиться тільки при ході, поршня вгору. У компресорі подвійної дії подача газу здійснюється при ході поршня в обидва боки.



Об'єктом проектування є компресорна установка типу ВВ-32/8М1У3. До складу компресорної установки входять: компресор, Газоохолоджувачі, системи охолодження, автоматичного управління і захисту. Компресор стаціонарний, поршневий, крейцкопфний, двоступеневий, кутовий, з повітряним охолодженням, з мастилом циліндрів і сальників. Конструкція компресорів побудована на основі прийнятого на заводі-виробнику нормального параметричного ряду машин. Багато складальні одиниці і деталі уніфіковані. Компресор включає наступні основні вузли: базу, циліндри і електродвигун. База складається з уніфікованих вузлів кривошипно-шатунного механізму (колінчастого валу, шатуна, крейцкопфа), рами, блоку мастила механізму руху і лубрикатора (для змащення циліндрів і сальників). Рама чавунна лита, коробчастої форми, з внутрішніми ребрами посилення. У верхній частині рами передбачені щільно закриваються кришками люки, що забезпечують доступ до деталей механізму руху. Нижня частина рами служить резервуаром для масла. На верхній частині рами встановлений покажчик рівня масла. Для кріплення циліндрів компресора до рами є спеціальні приливи. Привід здійснюється від асинхронного електродвигуна типу 5АНЗ15А2СУ2, вбудованого в раму компресора.

Змащення компресорів здійснюється двома незалежними системами: системою змащення низького тиску (циркуляційної) для подачі масла до механізму бази; системою мастила високого тиску, для подачі масла в циліндр. Система змащення низького тиску: масло заливається в нижню частину рами компресора. Звідти через сітчастий фільтр грубої очистки, розташований на початку масло всмоктувальної труби, шестерним насосом подається в блок мастила і далі через напірну трубу у внутрішній канал колінчастого валу, який має підводи масла на робочу поверхню кривошипних шийок і до шатунам. Для запобігання підтікання масла з рами компресора на підшипниках колінчастого валу встановлюються ущільнювальні пристрої. Масло заливається в раму через одну з люкових кришок; рівень його

вимірюється стрижневим мастиловказівника. Контроль подачі масла до циліндрів - через оглядове вікно насоса.

Компресорна установка обладнана системою автоматичного захисту та сигналізації, яка здійснює аварійне припинення роботи компресора з зупинкою приводного електродвигуна в наступних випадках: при перевищенні температури повітря після кожного ступеня стиснення; при падінні тиску масла в циркуляційної системі змащення механізму руху; при перевищенні тиску нагнітання вище допустимого; при КЗ і пошкодженнях в системі електроприводу і управління. Фундаменти компресорних установок виконуються за робочими кресленнями, розробленими спеціалізованою організацією, стосовно до конкретного місця розташування установки.

## **1.2 Вимоги до електроприводу. Обґрунтування вибору системи електроприводу.**

До проектного електропривода компресорної установки пред'являють наступні вимоги: [2]

1. Тривалий режим роботи зумовлюється тим що компресор працює тривалий час більше 4 годин підряд, а згідно з визначенням коли двигун не встигає нагрітися до встановленої температури а під час зупинки може не працювати більше 10хв. Це і є тривалий режим праці.

2. Електропривод не реверсивний Реверс не потрібний це пояснюється тим що компресор від центровано і застосування реверсу не мається можливим так як він призначений для подань повітря в трубопровід.

3. Регулювання швидкості не потрібно тому що, регулювання веде до зміни продуктивності але відповідно до технології він повинен працювати з максимальною продуктивністю ,зміна швидкості приведе до збільшення витрат і ускладнить електричну схему.

4. Статичний момент для пуску не значний і складе 20-25% від номінального це ґрунтується тим що компресор запускається практично на холостому ході.

Проектна компресорна установка знаходиться в приміщенні цеха киснево-компресорного підприємства ПАТ «ДМК». Приміщення мало пильне,пил походженням з ґрунту ,не струмопровідний . Цех не жаркий найбільша температура 40С,вологість не більше 75%,середовище не агресивне, не вібрація вибухонебезпечна і не вогненебезпечна. Приміщення компресорної не отоплюється але вентилується за допомогою вентиляційних витяжних установок в межах норми,рівень шуму в межах 100 дВ.

Виходячи з цього для проектованого електропривода компресора найбільш доцільно спроектувати конструктивне виконання електродвигуна по способі захисту від навколишнього середовища – відкритого типу .

Спосіб охолодження електродвигуна це штучна вентиляція . Пристрої керування і захисту конструктивно виконані закрито. Раціональне проектування сучасного електроприводу вимагає перш за все глибокого ознайомлення з умовами роботи відповідного виробничого механізму. Висока продуктивність механізму може бути забезпечена лише при відповідності характеристик приводу та робочої машини. Тому проектувати електропривод слід одночасно з проектуванням робочої машини.

Компресорні агрегати як правило, поставляються замовникові заводом-виготовником в комплекті. Тому при проектуванні обов'язково треба звертати увага на напругу електродвигунів, від якої істотно залежатиме електрична схема насосної станції.

При роздільному постачанні або при частковій заміні зношеного устаткування електродвигун до насоса необхідно підбирати. Електродвигун підбирається по частоті обертання, робочому положенню (горизонтальний вертикальний), потужності, напрузі і виду виконання. У сухих опалювальних приміщеннях встановлюють електродвигуни в захищеного виконання з

нормальною ізоляцією, в неопалювальних приміщеннях особливо в сирих (заглиблених) — закриті електродвигуни.

При виборі типу електродвигунів основних компресорів і насосів дотримуються приблизно наступного принципу. До потужності 250 кВт встановлюють асинхронні електродвигуни з короткозамкнутим ротором (напругою 380 В при потужності до 100 кВт і 6000 В при великих потужностях). Якщо потужності перевищують 250 кВт, встановлюють синхронні електродвигуни високої напруги (6000, 10 000 В).

Асинхронні двигуни — прості, компактні, але загрузають мережу струмом, що намагнічує ( $\cos\varphi < 1$ ). У синхронних двигунів  $\cos\varphi$  рівний або більше одиниці, що покращує коефіцієнт потужності мережі і економить електроенергію. Недоліком синхронних двигунів є їх велика маса і великі (разом із збудником) габарити.

Електропривод компресору є нерегульованим. Для пуску, зупинки і роботи електроприводу компресору потрібна складна пускова апаратура, перетворювачі або як у нашому випадку частотний перетворювач. Пуск, зупинка здійснюється за допомогою контактора магнітного.

Керування всією апаратурою і двигуном здійснюється за допомогою релейно-контакторної апаратури черговим електриком.

### **1.3 Опис обраного механізму, його конструкція, параметри та розміри**

АІР315М2 - великий трифазний асинхронний електродвигун 200 кВт 3000 об / хв. Загальнопромислові двигуни потужністю 200 кВт випускаються декількома виробниками України, Росії, Китаю мають істотні відмінності в надійності, однак габарити, кріпильні розміри і експлуатаційні параметри відповідають ГОСТ 31606-2012. Потужні електромашини змінного струму підключаються зіркою до мережі 660 В або трикутником на 380 В і частотою 50 Гц. Сила струму - 348 Ампер. Креслення і розміри АІР315М2 зображені на рис 1 и 2

Розшифровка АІР 315 М2 У2 ІМ 1081:

АІР - тип електродвигуна

315 - умовний габарит

М - позначення довжини сердечника

2 - число пар полюсів

У2 - категорія розміщення ІМ 1081 - монтажне виконання лапи

## 2 АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД

### 2.1 Відомість споживачів електричної енергії з виказанням необхідних даних для проектування.

Відомість споживачів електричної енергії наведені в таблиці 1.2.1

Таблиця 1.2.1 споживачі електричної енергії [8]

	Найменування	n	P <sub>н</sub> кВт	$\sum P_{н1}$	K <sub>в</sub>	cos φ/ tgφ
РП1						
1	Вентилятор	2	5	10	0,7	0,8/0,75
2	Вентилятор	2	4	8	0,7	0,8/0,75
3	Насос	2	4	8	0,75	0,8/0,75
4	Мостовий кран ТВ=25%	1	25	25	0,2	0,5/1,73
5	Зварне обладнання ТВ=40%	1	10	10	0,2	0,7/1,02
6	Засувка на нагнітання	2	1,5	3	0,65	0,8/0,75
7	Засувка на всмоктування	2	1,5	3	0,65	0,8/0,75
РП2						
8	Вентилятор	2	5	10	0,7	0,8/0,75
9	Вентилятор	2	4	8	0,7	0,8/0,75
10	Насос	2	4	8	0,75	0,8/0,75
11	Мостовий кран ТВ=25%	1	25	25	0,2	0,5/1,73

12	Зварне обладнання ТВ=40%	1	10	10	0,2	0,7/1,02
13	Засувка на нагнітання	2	1,5	3	0,65	0,8/0,75
14	Засувка на всмоктування	2	1,5	3	0,65	0,8/0,75
15	Маслонасос	3	4	12	0,7	0,8/0,75
Споживачі які не увійшли до РП						
16	Компресор	4	160	640	0,8	0,85/0,62
17	Компресор	2	200	400	0,8	0,85/0,62

## **2.2 Вибір роду струму та величини напруги живлення для силової мереж.**

По роду струму розрізняють електроприймачі, які працюють від мережі змінного струму промислової частоти  $f=50$ Гц.

Змінного струму збільшеної або пониженої частоти: від мережі постійного струму

По напрузі електроприймачі класифікуються на дві групи:

1)Електроприймачі, які отримують живлення безпосередньо від мережі 3 6 і10 кВ

2)Електроприймачі живлення яких економічно вигідно на напругу 380–660В

Більшість споживачів даного цеху працюють на трьохфазному змінному струмі від мережі 380 В частотою 50 Гц.

Враховуючи розміщення електрообладнання в приміщенні цеху, вибираємо комбіновану схему цехової мережі, яка передбачає встановлення розподільчих пунктів, а також, монтаж шинопроводів, прокладеними в кабельних каналах. Від РП і ШП, безпосередньо до споживачів, прокладаються проводи в сталевих трубах, в бетонній підлозі.

Одним із головних питань при проектуванні системи електропостачання промислових підприємств є вибір раціональної напруги живлення електроспоживачів, оскільки, її величиною визначаються параметри ліній електропередач, електрообладнання підстанцій і мереж, розміри капіталовкладень, затрати кольорового металу, втрати електроенергії та експлуатаційні витрати. Але враховуючи той фактор, що на підприємстві проектом передбачено певну систему напруг, то для живлення електроспоживачів проектуємого цеху необхідно прийняти таку ж систему напруг.

Деякі споживачів даного цеху працюють від високої напруги 6 Кв, але більшість в на трьохфазному змінному струмі від мережі 380 В частотою 50 Гц.

Тормозний резистор призначений для сброса енергій із ланки постійного струму при використанні динамічного гальмування. У більшості перетворювачів гальмівний резистор підключається безпосередньо до перетворювача. Гальмівний резистору, що відбирається з каталогу відповідно до потужності перетворювача



## **2.3 Вибір схеми електропостачання, типу силових збірок, марки дроту(кабелю) та засобів їх прокладки.**

Схеми електропостачання приймачів електроенергії промислових підприємств залежать від потужності окремих приймачів, їх кількості, розміщення по території та інших факторів

Схеми цехових електричних мереж бувають:

- радіальні;
- магістральні;
- комбіновані.

Радіальні схеми використовуються для живлення мілких груп двигунів, що розміщені не зосереджено по території цеху, від розподільчих пунктів цехової підстанції і виконуються проводами або кабелями.

Магістральні схеми використовуються для живлення приймачів електроенергії, що впорядковано розміщені по території цеху, від однієї лінії електропередачі, що виконана розподільчим чи магістральним шинопроводом.

Магістральні схеми мають нижчу надійність електропостачання ніж радіальні, так як, при пошкодженні магістралі всі її споживачі втрачають живлення. Вартість виконання магістральних мереж менша вартості радіальних, за рахунок меншої кількості використаної апаратури та дешевшого монтажу живильної лінії.

При поєднанні двох попередніх схем можна отримати комбіновану схему живлення приймачів електроенергії.

Електропроводка має відповідати умовам навколишнього середовища, призначенню і цінності споруд, їх конструкції та архітектурним особливостям. Під час вибору виду електропроводки і способу прокладання проводів і кабелів треба враховувати вимоги електробезпеки та пожежної безпеки. За наявності одночасно двох або більше умов, які характеризують навколишнє середовище, електропроводка має відповідати всім цим умовам.

Оболонки та ізоляція проводів і кабелів, які застосовуються в електропроводці, мають відповідати способу прокладання і умовам навколишнього середовища. Ізоляція, крім того, має відповідати номінальній напрузі мережі. За наявності спеціальних вимог, зумовлених характеристиками установки, ізоляція проводів і захисні оболонки проводів і кабелів мають бути вибраними з урахуванням цих Правил. У виробничих нормальних приміщеннях допускається використовувати сталеві труби і троси відкритої електропроводки, а також металеві корпуси відкрито встановлених струмопроводів, металевих конструкцій будівель, конструкцій виробничого призначення (наприклад, ферми, колони, підкранові шляхи) і механізми як один з робочих провідників лінії в мережах напругою до 42 В. При цьому мають бути забезпеченими безперервність і достатня провідність цих провідників, видимість і надійне зварювання стиків.

Прокладання проводів і кабелів, труб і коробів з проводами та кабелями за умовами пожежної безпеки має задовольняти вимогам. За відкритого прокладання захищених проводів (кабелів) з оболонками зі спалимих матеріалів і незахищених проводів відстань у просвіті від проводу (кабелю) до поверхні основ, конструкцій, деталей зі спалимих матеріалів має становити не менше ніж 10 мм. За неможливості забезпечити вказану відстань провід (кабель) слід відокремлювати від поверхні шаром вогнетривкого матеріалу, який виступає з кожного боку проводу (кабелю) не менше ніж на 10 мм.

За прихованої прокладки захищених проводів (кабелів) з оболонками зі спалимих матеріалів, і незахищених проводів у закритих нішах, у пустотах будівельних конструкцій (наприклад, між стіною і облицюванням), у борознах тощо з наявністю конструкцій, які згорають, необхідно захищати проводи і кабелі суцільним шаром вогнетривкого матеріалу з усіх боків. За відкритої прокладки труб і коробів із важко займистих матеріалів по вогнетривких основах і конструкціях відстань у просвіті від труби (короба) до поверхні конструкцій, деталей зі спалимих матеріалів має становити не

менше 100 мм. У разі неможливості забезпечити зазначену відстань трубу (короб) слід відокремлювати з усіх боків від цих поверхонь суцільним шаром вогнетривкого матеріалу (штукатурка, алебастр, цементний розчин, бетон тощо) завтовшки не менше 10 мм.

У разі перетину на коротких ділянках електропроводки з елементами будівельних конструкцій зі спалимих матеріалів ці ділянки мають бути виконаними з дотриманням вимог. У місцях, де внаслідок високої температури навколишнього середовища застосування проводів і кабелів з ізоляцією і оболонками нормальної теплостійкості неможливе або призводить до нераціонального підвищення витрати кольорового металу, слід застосовувати проводи і кабелі з ізоляцією та оболонками підвищеної теплостійкості. У місцях, де можливі механічні пошкодження електропроводки, відкрито прокладені проводи і кабелі мають бути захищеними від них своїми захисними оболонками, а якщо такі оболонки відсутні або недостатньо стійкі щодо механічних впливів, - трубами, коробами, огорожами або застосуванням прихованої електропроводки. Проводи і кабелі мають застосовуватися лише в тих сферах, які зазначені в стандартах і технічних умовах на кабелі (проводи). Для стаціонарних електропроводок мають застосовуватися переважно проводи і кабелі з алюмінієвими жилами. Не допускається застосовувати проводи і кабелі з алюмінієвими жилами для приєднання до електротехнічних пристроїв, установлених безпосередньо на віброізолювальних опорах. Для живлення переносних і пересувних електроприймачів слід застосовувати шнури і гнучкі кабелі з мідними жилами, спеціально призначені

У виробничих приміщеннях спуски незахищених проводів до вимикачів, розеток, апаратів, щитків тощо мають бути захищеними від механічних впливів до висоти не менше ніж 1,5 м від рівня підлоги або площадки обслуговування. Висота відкритого прокладання захищених ізольованих проводів, кабелів, а також проводів і кабелів у трубах, коробах зі ступенем захисту - не нижче ніж IP20, у гнучких металевих рукавах від рівня

підлоги або площадки обслуговування не нормується. Якщо незахищені ізолювані проводи перетинаються з незахищеними або захищеними ізолюваними проводами з відстанню між проводами менше 10 мм, то в місцях перетину на кожен незахищений провід має бути накладено додаткову ізоляцію. У разі перетину незахищених і захищених проводів і кабелів з трубопроводами відстані між ними в просвіті мають бути не меншими ніж 50 мм, а з трубопроводами, що містять горючі або легкозаймисті рідини і гази, - не менше 100 мм. За відстані від проводів і кабелів до трубопроводів, меншої ніж 250 мм, проводи і кабелі мають бути додатково захищеними від механічних пошкоджень на довжині не меншій ніж 250 мм у кожен бік від трубопроводу. У разі перетину з гарячими трубопроводами проводи і кабелі мають бути захищеними від впливу високої температури або повинні мати відповідне виконання. За паралельного прокладання відстань від проводів і кабелів до трубопроводів має бути не меншою ніж 100 мм, а до трубопроводів з горючими або легкозаймистими рідинами і газами - не меншою ніж 400 мм. У місцях проходження проводів і кабелів крізь стіни, міжповерхові перекриття або виходу їх назовні необхідно забезпечувати можливість зміни електропроводки. Для цього прохід має бути виконаний у трубі, коробі, отворі тощо. З метою запобігання проникненню і скупченню води і поширенню пожежі в місцях проходження крізь стіни, перекриття або виходу назовні слід закладати зазори між проводами, кабелями і трубою (коробом, отвором тощо), а також резервні труби (короби, отвори тощо) масою, що легко видаляється, з вогнетривкого матеріалу. Закладення має допускати заміну, додаткове прокладання нових проводів і кабелів і забезпечувати межу вогнестійкості отвору, не меншу, ніж межі вогнестійкості стіни (перекриття). У разі прокладання незахищених проводів на ізолювальних опорах проводи мають бути додатково ізолюваними (наприклад, ізоляційною трубою) у місцях проходження крізь стіни або перекриття. Під час проходження цих проводів з одного сухого або вологого приміщення в інше сухе або вологе приміщення всі проводи однієї лінії

допускається прокладати в одній ізоляційній трубі. У разі проходження проводів із сухого або вологого приміщення в сире, з одного сирого приміщення в інше сире або виходу проводів з приміщення назовні кожен провід має прокладатися в окремій ізоляційній трубі. У разі виходу з сухого або вологого приміщення в сире або назовні будівлі з'єднання проводів мають виконуватися в сухому або вологому приміщенні. На лотках, опорних поверхнях, тросах, струнах, смугах та інших несучих конструкціях допускається прокладати проводи і кабелі впритул один до одного пучками (групами) різної форми (наприклад, круглої, прямокутної в декілька шарів).

Проводи і кабелі кожного пучка мають бути скріпленими між собою. У коробах проводи і кабелі допускається прокладати багатошарова з упорядкованим і довільним (розсипом) взаємним розташуванням. Сума перерізів проводів і кабелів, розрахованих за їх зовнішніми діаметрами, включаючи ізоляцію і зовнішні оболонки, не має перевищувати: для глухих коробів 35% перерізів короба в просвіті; для коробів із кришками, що відкриваються, 40%. Допустимі тривалі струми на проводи і кабелі, прокладені пучками (групами) або багатошарова, повинні прийматися з урахуванням знижувальних коефіцієнтів, що враховують кількість і розташування провідників (жил) у пучку, кількість і взаємне розташування пучків (шарів), а також наявність ненавантажених провідників. Труби, коробки та гнучкі металеві рукави електропроводки мають прокладатися так, щоб у них не могла накопичуватися волога, у тому числі від конденсації пари, що міститься в повітрі. З'єднання труб, коробів і гнучких металевих рукавів між собою, а також із коробами, корпусами електроустаткування тощо має бути виконаним: у приміщеннях, які містять пару або газу, що негативно впливають на ізоляцію або оболонки проводів і кабелів, у зовнішніх установках і в місцях, де можливе попадання в труби, коробки і рукави масла, води або емульсії, з ущільненням; коробки в цих випадках мають бути з суцільними стінками та з ущільненими суцільними кришками або глухими, роз'ємні коробки з ущільненнями в місцях рознімання, а гнучкі

металеві рукави герметичними; у запилених приміщеннях з ущільненням з'єднань і відгалужень труб, рукавів і коробів для захисту від пилу. Короби прихованої електропроводки мають бути глухими. Виконувати електропроводку у вентиляційних каналах і шахтах заборонено. Допускається перетин цих каналів і шахт одиночними проводами і кабелями, поміщеними в сталеві труби.

В цеху встановлена комбінована схема живлення приймачів електроенергії. Яка повністю задовольняє всіх приймачів.

## **2.4 Розрахунок силових електричних навантажень та вибір силових трансформаторів.**

Силові трансформатори, встановлені на електростанціях або підстанціях, служать для перетворення електроенергії однієї напруги в інше, зв'язки між окремими елементами (ділянками) електричної мережі, регулювання напруги і перетікань потужності. Вони є статичним електромагнітним пристроєм. За призначенням трансформатори діляться на ті, що підвищують і знижують, по числу обмоток - на двообмоточні, триобмоткові і з розщепленими обмотками. Двообмоточні трансформатори мають обмотки вищої напруги (ВН) і нижчої напруги (НН); триобмоткові - обмотки вищої напруги, середньої напруги (СН) і нижчої напруги. По числу фазних обмоток, розміщених на одному магнітопроводі, розрізняють однофазні і трифазні трансформатори. З трьох однофазних трансформаторів складається одна трифазна група.

Двох трансформаторні підстанції застосовують при значному числі споживачів 1 і 2-й категорії. Доцільне застосування двох трансформаторних підстанцій при нерівномірному добовому й річному графіках навантаження підприємства, при сезонному режимі роботи. Як правило, передбачається роздільна робота трансформаторів для зменшення струмів КЗ.

Вибір потужності трансформаторів виробляється виходячи з розрахункового навантаження об'єкта електропостачання, числа годин використання максимуму навантаження, темпів росту навантажень, вартості електроенергії, припустимої перевантаження трансформаторів і їхнього економічного завантаження.

У аварійній ситуації головною умовою задачею є безперебійність електропостачання споживачів. Тому при ненавмисному відключенні одного з паралельно працюючих трансформаторів, ті, що залишилися в роботі, до ліквідації аварії, повинні допускати певне перевантаження. В цьому випадку можна допустити певне зниження терміну служби трансформатора. Так як на заданому мені підприємстві знаходяться переважно споживачі 1 та 2 категорії, мені слід встановити 2 трансформатора.

Найбільш часто встановлюють два трансформатори чи автотрансформатори. В цьому випадку при вірному виборі потужності трансформаторів забезпечується надійне електропостачання споживачів навіть при аварійному вимкненні одного з них.

При розрахунку силових навантажень важливе місце має правильне визначення електричних навантажень у всіх елементах силової мережі.

Неправильний розрахунок, або завищення навантаження може призвести до додаткових витрат матеріалу та до подорожчання будівництва. А занижене навантаження, призведе до зменшеної пропускної здатності.

## 2.5 Розрахунок потужності та вибір електродвигуна з перевіркою по пусковим умовам, комп'ютерна побудова механічної характеристики

Розрахунок потужності двигуна поршневого компресора  $P_{\text{дв.к}}$ , кВт: [3]

$$P_{\text{дв.к}} = k_3 \frac{Q \cdot A \cdot 10^{-3}}{\eta_k \cdot \eta_n};$$

де  $Q$  - продуктивність компресора, м<sup>3</sup>/с;

$A$  - робота по стисненню повітря, Дж/м<sup>3</sup>;

$\eta_k$  - індикаторний ККД компресора, що враховує втрати потужності при реальному процесі стиснення повітря;

$\eta_n$  - ККД механічної передачі між компресором і двигуном;

$k_3$  - коефіцієнт запасу, який враховує фактори, що не піддаються розрахунку;

$$P_{\text{дв.к}} = \frac{1,1 \cdot 32 \cdot 242000}{1000 \cdot 60 \cdot 0,9 \cdot 0,8} = 197,185 \text{ кВт}$$

Електродвигун компресорної установки вибирається по розрахунковій потужності  $P_{\text{дв.н.}} \geq P_{\text{дв.р.}}$ , робочій швидкості обертання вала робочого органа  $n_{\text{дв.н.}} \approx n_{\text{дв.р.}}$ ; параметрам живильної мережі та з урахуванням обраної системи електроприводу.

Технічні дані обраного електродвигуна наводимо у вигляді таблиці 2.5.1.

Таблиця 2.5.1 – Технічні дані електродвигуна насосної установки [5]

Тип електродвигуна	$P_n$ кВт	$n_c$ об/хв	$\eta_n$ %	$\cos \varphi$	$\frac{I_n}{I_H}$	$\frac{M_n}{M_H}$	$\frac{M_{\text{мак}}}{M_H}$	$j$ кг·м <sup>2</sup>
АИР315М2	200	2975	95	0,94	7,2	1,8	2,2	3,66

Загальнопромисловий асинхронний електродвигун АИР315М2 виготовляються: [3]

- на напругу 380/660В (шість клем в коробці виводів) або під замовлення на напругу 220/380В.



- кліматичного виконання У, категорії розміщення - 2 (експлуатація під навісом, відсутність прямого впливу опадів і сонячного випромінювання), або 3 (експлуатація в закритих приміщеннях без регулювання кліматичних умов).

- режим роботи - тривалий, S1 (робота двигуна при постійному навантаженні тривалий час для досягнення постійної температури всіх його частин).

- ступінь захисту - IP54, 55 (зміст не струмопровідного пилу в повітрі до 100 мг/м<sup>3</sup>, двигун захищений від бризок води з усіх напрямків).

Виготовлення електродвигунів з двома кінцями валу, вбудованими термодатчиками, підвищеної точності і інші спеціальні виконання, проводиться під замовлення.

Монтажне виконання двигунів:

- на лапах (ІМ 1081, 1001, 1011)
- фланцеві (ІМ 3081, 3001, 3011)
- комбіновані, лапи + фланець (ІМ 2081, 2001, 2011)

Перевірка електродвигуна за умовами пуску:

Номінальний момент електродвигуна:

$$M_{\text{дв.н.}} = \frac{P_{\text{дв.н.}} \cdot 9550}{n_{\text{дв.н.}}};$$

де  $P_{\text{дв.н.}}$  - номінальна потужність електродвигуна, кВт;

$n_{\text{дв.н.}}$  - номінальна швидкість обертання електродвигуна, об/хв.

$$M_{\text{дв.н.}} = \frac{200 \cdot 9550}{3000} = 636,67 \text{ Нм}$$

Статичний момент на валу електродвигуна:

$$M_c = \frac{P_{\text{дв.р.}} \cdot 9550}{n_{\text{дв.р.}}};$$

де  $P_{\text{дв.р.}}$  - розрахункова потужність електродвигуна, кВт;

$n_{\text{дв.р.}}$  - робоча швидкість обертання електродвигуна, об/хв.

$$M_c = \frac{190 \cdot 9550}{2975} = 609,916 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Максимальний момент електродвигуна:

$$M_{\max} = \lambda \cdot M_{\text{дв.н.}};$$

де  $\lambda$  - перевантажувальна здатність електродвигуна, у відносних одиницях.

$$M_{\max} = 2 \cdot 636,67 = 1273,34 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Пусковий момент електродвигуна:

$$M_n = K_n \cdot M_{\text{дв.н.}};$$

де  $K_n$  – кратність пускового моменту електродвигуна, у відносних одиницях.

$$M_n = 1,8 \cdot 636,67 = 1146,006 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Середній пусковий момент електродвигуна:

$$M_{n.\text{ср.}} = 0,45 \cdot (M_{\max} + M_n);$$

$$M_{n.\text{ср.}} = 0,45(1273,34 + 1146,006) = 1088,706 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Сумарний момент інерції електроприводу:

$$\sum j = c \cdot j_{\text{дв.}} + \kappa \cdot j_{\text{р.}};$$

де  $j_{\text{дв.}}$  - момент інерції електродвигуна,  $\text{кгм}^2$ ;

$c$  - коефіцієнт, що враховує момент інерції передатних пристроїв.

Приймаємо  $c=1,1 \div 1,2$ .

$\kappa$  - коефіцієнт, що враховує момент інерції робочого органа.

Приймаємо для насосних, компресорних, вентиляторних установок  $\kappa=0,2$ ;

$$\sum j = 1,15 \cdot 3,66 + 0,2 \cdot 3,66 = 4,941 \text{ кг} \cdot \text{м}^3$$

Час пуску електродвигуна: [3]

$$t_n = \frac{\sum j \cdot \omega_{\text{дв.р.}}}{M_{n.\text{ср.}} - M_c};$$

де  $\omega_{\text{р.}}$  - кутова робоча швидкість обертання електродвигуна,  $\text{р/с}$ .

$$t_n = \frac{4,941 \cdot 311,518}{1088,706 - 609,916} = 3,215 \text{ с}$$

Кутова робоча швидкість обертання електродвигуна,  $\text{р/с}$ .

$$w_p = \frac{n_{дв.р}}{9,55} = \frac{2975}{9,55}$$

$$w_p = 311,518 \text{ р/с}$$

Динамічний момент електродвигуна:

$$M_{\partial} = \frac{\sum j \cdot \omega_{\partial в.р.}}{tn};$$

$$M_{\partial} = \frac{4,941 \cdot 311,518}{3,215} = 478,759 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Необхідний пусковий момент електродвигуна:

$$M_{n.мп.} = M_{\partial в} + K_n \cdot M_c;$$

де  $K_n$  - коефіцієнт, що враховує умови пуску електропривода.

Приймаємо для компресорних установок  $=0,4$ ;

$$M_{n.мп.} = 478,795 + 0,4 \cdot 609,916 = 722,761 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Перевіряємо на умову  $M_{n.сп} \geq M_{n.мп}$

$$1088,706 \text{ Нм} > 722,761 \text{ Нм}$$

Електричний двигун обраний вірно.

Розрахунок та побудова механічної характеристики. Визначаємо постійний коефіцієнт у відносних одиницях:

$$A = \frac{\lambda - 1}{\frac{\lambda}{K_n} - 1};$$

$$A = \frac{2 - 1}{\frac{2}{1,8} - 1} = 9,09$$

Номінальне ковзання у відносних одиницях:

$$S_n = \frac{n_c - n_n}{n_c};$$

$$S_H = \frac{3000 - 2975}{3000} = 0,01$$

Критичне ковзання у відносних одиницях:

$$S_{\kappa} = \frac{S_n + \sqrt{A \cdot S_n}}{1 + \sqrt{A \cdot S_n}};$$

$$S_H = \frac{0,01 - \sqrt{9,09 \cdot 0,01}}{1 + \sqrt{9,09 \cdot 0,01}} = 0,24$$

Додатковий коефіцієнт у відносних одиницях:

$$q = \frac{S_k + \frac{1}{S_k} - \frac{2 \cdot \lambda}{K_n}}{\frac{\lambda}{K_n} - 1};$$

$$q = \frac{\frac{1}{0,24} + 0,24 + \frac{2 \cdot 2}{1,8}}{\frac{2}{1,8} - 1} = 60,2$$

Задаємо різні значення ковзань від 0 до 1 та по формулі Клосса визначаємо значення моментів, що відповідають цим ковзанням.

Формула Клосса:

$$M_i = \frac{2 \cdot M_{\max}}{\frac{S_i}{S_H} + \frac{S_H}{S_i}}$$

де  $S_i$  - значення ковзання від 1 до 0.

$$M_1 \frac{2 \cdot 1273,34}{\frac{0,01}{0,24} + \frac{0,24}{0,01}} = 105,94H \cdot m$$

$$M_2 \frac{2 \cdot 1273,34}{\frac{0,05}{0,24} + \frac{0,24}{0,05}} = 508,49H \cdot m$$

$$M_3 \frac{2 \cdot 1273,34}{\frac{0,1}{0,24} + \frac{0,24}{0,1}} = 904,15H \cdot m$$

$$M_4 \frac{2 \cdot 1273,34}{\frac{0,15}{0,24} + \frac{0,24}{0,15}} = 1144,58H \cdot m$$

$$M_5 \frac{2 \cdot 1273,34}{\frac{0,2}{0,24} + \frac{0,24}{0,2}} = 1252,47H \cdot m$$

$$M_6 \frac{2 \cdot 1273,34}{\frac{0,24}{0,24} + \frac{0,24}{0,24}} = 1273,34H \cdot m$$

$$M_7 \frac{2 \cdot 1273,34}{\frac{0,3}{0,24} + \frac{0,24}{0,3}} = 1242,28H \cdot m$$

$$M_8 \frac{2 \cdot 1273,34}{\frac{0,4}{0,24} + \frac{0,24}{0,4}} = 1123,54H \cdot m$$

$$M_9 \frac{2 \cdot 1273,34}{\frac{0,5}{0,24} + \frac{0,24}{0,5}} = 993,5H \cdot m$$

Таблиця 2.5.2 – Розрахункові дані

S	0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	1
		1	5		5		4					
M°	0	105,94	508,49	904,15	1144,5	1252,4	1273,3	1242,2	1123,5	993,5	878,17	577,92

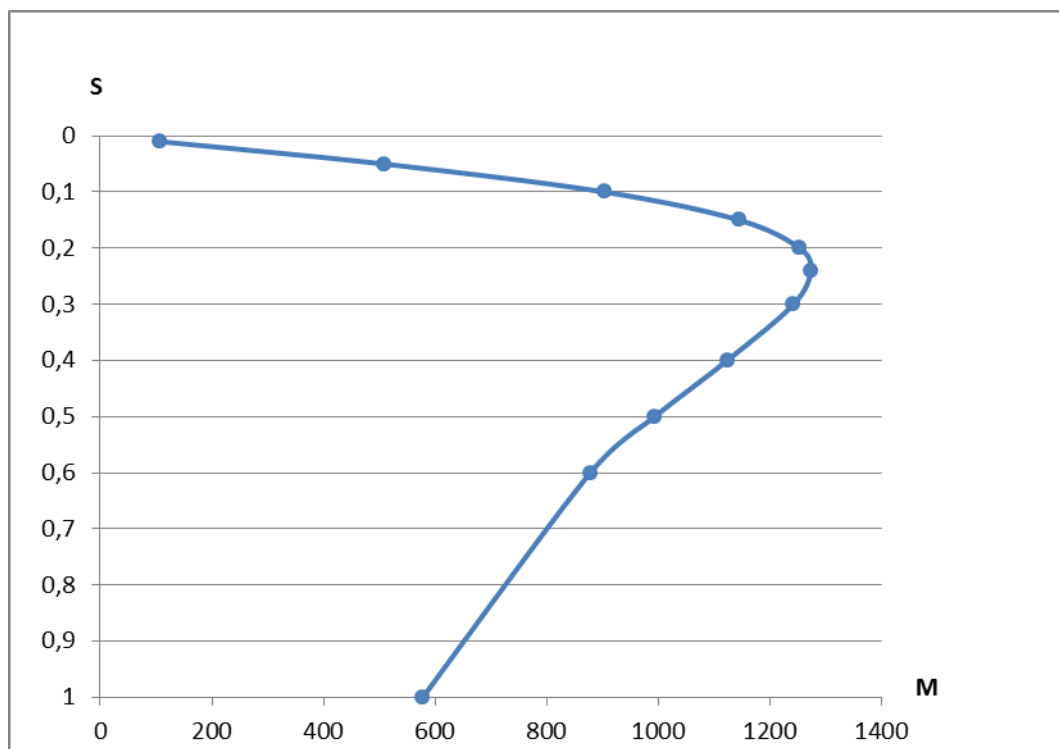


Рисунок 2.5.1 – Механічна характеристика електричного двигуна АИР315М2.

## 2.5.1 Розрахунок змінної потужності

Змінна потужність враховує кількість потужності, витраченої за час найбільш завантаженої зміни. Знайдемо активну та реактивну середні потужності електричних споживачів РП1:

Постійний режим роботи [1]

Вентилятор:

$$P_{зп1} = \sum P_{н1} \cdot K_{в} = 10 \cdot 0,7 = 7 \text{кВт}$$

$$Q_{зп1} = \sum P_{зп1} \cdot \text{tg}\varphi = 7 \cdot 0,75 = 5,25 \text{квар}$$

Вентилятор:

$$P_{зп2} = \sum P_{н2} \cdot K_{в2} = 8 \cdot 0,7 = 5,6 \text{кВт}$$

$$Q_{зп2} = \sum P_{зп2} \cdot \text{tg}\varphi = 5,6 \cdot 0,75 = 4,2 \text{квар}$$

Насос:

$$P_{зп3} = \sum P_{н3} \cdot K_{в} = 8 \cdot 0,75 = 6 \text{кВт}$$

$$Q_{зп3} = \sum P_{зп3} \cdot \text{tg}\varphi = 6 \cdot 0,75 = 4,5 \text{квар}$$

Засувка на нагнітання:

$$P_{зп4} = \sum P_{н4} \cdot K_{в} = 3 \cdot 0,65 = 1,95 \text{кВт}$$

$$Q_{зп4} = \sum P_{зп4} \cdot \text{tg}\varphi = 1,95 \cdot 0,75 = 1,463 \text{квар}$$

Засувка на всмоктування:

$$P_{зп5} = \sum P_{н5} \cdot K_{в} = 3 \cdot 0,65 = 1,95 \text{кВт}$$

$$Q_{зп5} = \sum P_{зп5} \cdot \text{tg}\varphi = 1,95 \cdot 0,75 = 1,463 \text{квар}$$

Змінний режим роботи

Мостовий кран:

$$P_{\text{ном}} = P_{\text{пас}} \cdot \sqrt{\frac{TB}{100}} = 25 \cdot \sqrt{\frac{25}{100}} = 12,5 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{зп6}} = P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{в}} = 12,5 \cdot 0,2 = 2,5 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{зп6}} = \sum P_{\text{зп6}} \cdot \text{tg}\varphi = 2,5 \cdot 1,73 = 4,325 \text{ квар}$$

Зварне обладнання:

$$P_{\text{ном}} = S_{\text{пас}} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{\frac{TB}{100}} = 10 \cdot 0,7 \sqrt{\frac{40}{100}} = 4,427 \text{ кВт}$$

$$P_{\text{зп7}} = P_{\text{ном}} \cdot K_{\text{в}} = 4,427 \cdot 0,2 = 0,885 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{зп7}} = \sum P_{\text{зп7}} \cdot \text{tg}\varphi = 0,885 \cdot 1,02 = 0,903 \text{ квар}$$

Сумарна змінна активна потужність за найбільш завантажену зміну:

$$\Sigma P_{\text{зп РП1}} = P_{\text{зп1}} + P_{\text{зп2}} \dots + P_{\text{зп7}}$$

$$\Sigma P_{\text{зп РП1}} = 7 + 5,6 + 6 + 1,95 + 1,95 + 2,5 + 0,885 = 25,885 \text{ кВт}$$

Сумарна змінна реактивна потужність за найбільш завантажену зміну:

$$\Sigma Q_{\text{зп РП1}} = Q_{\text{зп1}} + Q_{\text{зп2}} + Q_{\text{зп3}} + \dots + Q_{\text{зп7}}$$

$$\Sigma Q_{\text{зп РП1}} = 5,25 + 4,2 + 4,5 + 1,463 + 1,463 + 4,325 + 0,903 = 22,104 \text{ квар}$$

Виконуємо розрахунок активної та реактивної змінних потужностей для електричних споживачів РП2:

Вентилятор:

$$P_{\text{зп1}} = \sum P_{\text{н1}} \cdot K_{\text{в}} = 10 \cdot 0,7 = 7 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{зп1}} = \sum P_{\text{зп1}} \cdot \text{tg}\varphi = 7 \cdot 0,75 = 5,25 \text{ квар}$$

Вентилятор:

$$P_{\text{зп2}} = \sum P_{\text{н2}} \cdot K_{\text{в2}} = 8 \cdot 0,7 = 5,6 \text{ кВт}$$

$$Q_{\text{зп2}} = \sum P_{\text{зп2}} \cdot \text{tg}\varphi = 5,6 \cdot 0,75 = 4,2 \text{ квар}$$

Насос:

$$P_{\text{зп3}} = \sum P_{\text{н3}} \cdot K_{\text{в}} = 8 \cdot 0,75 = 6 \text{ кВт}$$

$$Q_{зп3} = \sum P_{зп3} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 6 \cdot 0,75 = 4,5 \text{квар}$$

Засувка на нагнітання:

$$P_{зп4} = \sum P_{н4} \cdot K_B = 3 \cdot 0,65 = 1,95 \text{кВт}$$

$$Q_{зп4} = \sum P_{зп4} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 1,95 \cdot 0,75 = 1,463 \text{квар}$$

Засувка на всмоктування:

$$P_{зп5} = \sum P_{н5} \cdot K_B = 3 \cdot 0,65 = 1,95 \text{кВт}$$

$$Q_{зп5} = \sum P_{зп5} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 1,95 \cdot 0,75 = 1,463 \text{квар}$$

Маслонасос:

$$P_{зп6} = \sum P_{н6} \cdot K_B = 12 \cdot 0,7 = 8,4 \text{кВт}$$

$$Q_{зп6} = \sum P_{зп6} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 8,4 \cdot 0,75 = 6,3 \text{квар}$$

Змінний режим роботи

Мостовий кран:

$$P_{ном} = P_{пас} \cdot \sqrt{\frac{TB}{100}} = 25 \cdot \sqrt{\frac{25}{100}} = 12,5 \text{кВт}$$

$$P_{зп7} = P_{ном} \cdot K_B = 12,5 \cdot 0,2 = 2,5 \text{кВт}$$

$$Q_{зп7} = \sum P_{зп7} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 2,5 \cdot 1,73 = 4,325 \text{квар}$$

Зварне обладнання:

$$P_{ном} = S_{пас} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{\frac{TB}{100}} = 10 \cdot 0,7 \cdot \sqrt{\frac{40}{100}} = 4,427 \text{кВт}$$

$$P_{зп8} = P_{ном} \cdot K_B = 4,427 \cdot 0,2 = 0,885 \text{кВт}$$

$$Q_{зп8} = \sum P_{зп8} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 0,885 \cdot 1,02 = 0,903 \text{квар}$$

Сумарна змінна активна потужність за найбільш завантажену зміну:

$$\Sigma P_{зп ПП2} = P_{зп1} + P_{зп2} \dots + P_{зп8}$$

$$\Sigma P_{зп ПП2} = 7 + 5,6 + 6 + 1,95 + 1,95 + 8,4 + 2,5 + 0,885 = 34,285 \text{кВт}$$



Сумарна змінна реактивна потужність за найбільш завантажену зміну:

$$\Sigma Q_{зп\ pп2} = Q_{зп1} + Q_{зп2} + Q_{зп3} + \dots + Q_{зп8}$$

$$\Sigma Q_{зп\ pп2} = 5,25 + 4,2 + 4,5 + 1,463 + 1,463 + 6,3 + 4,325 + 0,903 = 28,404 \text{квар}$$

Отримані дані з розрахунку встановленої і змінної потужності систематизуємо і записуємо в таблицю 1.5.1, яка детально показує навантаження, витраченого в найбільш завантажену зміну.

## 2.5.2 Розрахунок максимальної потужності

Максимальна потужність це найбільша потужність, використана ділянкою, цехом, заводом, за час першої зміни за 30 хв. Якщо за 30 хв кабелі витримують максимальне навантаження та не перегріваються, то вибраний кабель має достатній переріз, щоб споживачі отримували достатню кількість енергії.

Повна максимальна потужність та максимальний струм дорівнюють:

[1]

$$S_{\text{макс}} = \sqrt{P_{\text{макс}}^2 + Q_{\text{макс}}^2}$$

$$I_{\text{макс}} = S_{\text{макс}} / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}})$$

При розрахунках силових електричних навантажень використовують розрахункові коефіцієнти, які характеризують режими роботи, використання енергії, потужності, часу та графіків навантаження.

Для розрахунку максимальної потужності вибираємо умови для розрахунку ефективного числа  $n_e$ .

Середній коефіцієнт використання групи електроприймачів  $K_{в,ср}$  характеризується використанням активної потужності і являє собою відношення середньої активної потужності  $P_{см}$  групи приймачів за найбільш завантажену зміну до номінальної потужності  $P_{ном}$ :

При розрахунках силових електричних навантажень використовують розрахункові коефіцієнти, які характеризують режими роботи, використання енергії, потужності, часу та графіків навантаження.

Для розрахунку максимальної потужності вибираємо умови для розрахунку ефективного числа  $n_e$ .

Середній коефіцієнт використання групи електроприймачів  $K_{в.ср}$  характеризується використанням активної потужності і являє собою відношення середньої активної потужності  $P_{см}$  групи приймачів за найбільш завантаженої зміну до номінальної потужності  $P_{ном}$ :

$$K_{в.ср} = \frac{\sum P_{см}}{\sum P_{н}}$$

Для РП1 та РП2 відповідно:

$$K_{в.ср.РП1} = \frac{25,885}{48,927} = 0,529$$

$$K_{в.ср.РП2} = \frac{34,285}{60,927} = 0,563$$

Ефективним числом електроприймачів називають число схожих за режимом роботи електроприймачів однакової потужності, яке дає теж значення розрахункового максимуму, що і група елктроприймачів, різних по потужності і режиму роботи.

Так як ефективне число визначають для групи елетроприймачів, приєднаних до розподільчих щитів, то необхідно враховувати показники силової збірки – число  $m$ , яке дорівнює відношенню номінальної потужності найбільшого електроприймача до номінальної потужності найменшого.

Модуль силової збірки становитиме:

$$m = P_{ном.мах.}/P_{ном.мін.} = 12,5/1,5 = 8,33 > 3$$

При  $m > 3$  і  $K_{в.ср} \geq 0,2$ , то

$$n_{сф} = \frac{2 \cdot \sum P_{ном}}{P_{ном.мах}}$$

Для РП1 та РП2 відповідно:

$$n_{ePP1} = \frac{2 \cdot 48,927}{12,5} = 8 \text{шт}$$

$$n_{ePP2} = \frac{2 \cdot 60,927}{12,5} = 10 \text{шт}$$

Визначимо значення коефіцієнтів максимуму для РП1 та РП2 [ табл. 2.3 [1], с.90.], якщо:  $K_{\text{макс}} = f(n_e; K_{\text{в.ср}})$

$$K_{\text{максРП1}} = 1,4$$

$$K_{\text{максРП2}} = 1,26$$

### 2.5.3 Визначення розрахункових силових навантажень методом коефіцієнту максимуму

В основу визначення силових навантажень від групи електроприймачів з урахуванням коефіцієнту максимуму покладено метод упорядкованих діаграм, що дозволяє по номінальній потужності і характеристиці електроприймачів визначити розрахунковий максимум навантаження.

Активна максимальна потужність становить на РП1 та РП2:

$$P_{\text{максРП1}} = K_{\text{максРП1}} \cdot P_{\text{срРП1}} = 1,4 \cdot 25,885 = 36,239 \text{кВт}$$

$$P_{\text{максРП2}} = K_{\text{максРП2}} \cdot P_{\text{срРП2}} = 1,26 \cdot 34,285 = 43,199 \text{кВт}$$

Реактивна максимальна потужність становить на РП1 та РП2:

$$Q_{\text{максРП1}} = Q_{\text{срРП1}} = 22,104 \text{квар}$$

$$Q_{\text{максРП2}} = Q_{\text{срРП2}} = 28,404 \text{квар}$$

Після визначення  $P_{\text{макс}}$  і  $Q_{\text{макс}}$  можна підрахувати повну максимальну потужність.

Повна максимальна потужність:

$$S_{\text{максРП}} = \sqrt{P_{\text{максРП}}^2 + Q_{\text{максРП}}^2}$$

$$S_{\text{максРП1}} = \sqrt{36,239^2 + 22,104^2} = 42,45 \text{кВ} \cdot \text{А}$$

$$S_{\text{максРП2}} = \sqrt{43,199^2 + 28,404^2} = 51,7 \text{кВ} \cdot \text{А}$$

Розрахункові максимальні струми для електроприймачів змінного струму РП1 та РП2 становлять:

$$I_{\text{максРП}} = S_{\text{максРП}} / (\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}})$$

$$I_{\text{максРП1}} = 42,45 / (\sqrt{3} \cdot 0,4) = 61,34 \text{ А}$$

$$I_{\text{максРП2}} = 51,7 / (\sqrt{3} \cdot 0,4) = 74,71 \text{ А}$$

Отримані дані по розрахунку силових навантажень методом коефіцієнту максимуму систематизуємо та заносимо в таблицю 1.5.1.

### 2.5.4 Вибір силових трансформаторів

Трансформатори трифазні з природним масляним охолодженням , призначені для перетворення електричної енергії в мережах енергосистем , а так само для живлення різних споживачів в мережах змінного струму частотою 50 Гц.

Дані трансформаторів заносимо в таблицю 2.5.4.

Таблиця 2.5.4 - Дані трансформаторів [5]

Тип трансформатора	n шт.	S <sub>н.тр.</sub> кВА	I <sub>хх</sub> , %	ΔP <sub>х.х.</sub> кВт	ΔP <sub>к.з.</sub> кВт	U <sub>к.з.</sub> %
ТМ - 630/10	2	630	1,6	2,5	12,2	5,5

Визначаємо коефіцієнт завантаження трансформаторів:

$$K_3 = \frac{S_{\text{макс.0,4кВ}}}{n \cdot S_{\text{н.тр.}}} = \frac{1117,43}{2 \cdot 630} = 0,89$$

Визначаємо коефіцієнт завантаження трансформаторів в аварійному режимі при вимкненні одного трансформатора:

$$K_{3.ав.} = \frac{0,5 \cdot S_{\text{макс.0,4кВIIIк}}}{(n-1) \cdot S_{\text{ном.тр.}}} < 1,4$$

$$K_{з.ав.} = \frac{0,5 \cdot 1117,43}{(2-1) \cdot 630} = 0,88 < 1,4$$

Умова виконується.

Обрані трансформатори ТМ-630/10 забезпечують роботу, як в нормальному режимі так і в аварійному.

## 2.6 Розрахунок річного споживання електроенергії

Оскільки на даному етапі проектування невідомі втрати електроенергії в лініях, трансформаторах, то вони враховуються приблизно.

Визначимо реактивні та активні втрати потужності в трансформаторах відповідно:

$$\Delta Q_{тр} = 0,11 \cdot n \cdot S_{тр} = 0,11 \cdot 2 \cdot 630 = 138,6 \text{ кВар}$$

$$\Delta P_{тр} = 0,02 \cdot n \cdot S_{тр} = 0,02 \cdot 2 \cdot 630 = 25,2 \text{ кВт}$$

Визначимо активні втрати потужності в лініях:

$$\Delta P_{л} = 0,03 \cdot n \cdot S_{тр} = 0,03 \cdot 2 \cdot 630 = 37,8 \text{ кВт}$$

Визначимо втрати активної енергії в системі електропостачання за рік:

– на силове навантаження:

$$W_c = P_{сер} \cdot T_{рік} = 892,18 \cdot 8000 = 7137440 \text{ кВт·год}$$

де  $T_{рік}$  - річна кількість годин роботи підприємства або електроустановки. Для безперервного виробництва річна кількість годин роботи визначається з урахуванням зупинок агрегатів на ремонт. Для агрегатів з багаторічним періодами праці без ремонтів  $T_{рік}$  дозволяється брати рівним  $7900 \div 8200$  год.

– в трансформаторах:

$$W_{тр} = \Delta P_{тр} \cdot T_{рік} = 25,2 \cdot 8000 = 201600 \text{ кВт·год}$$

– в лініях:

$$W_{л} = \Delta P_{л} \cdot T_{рік} = 37,8 \cdot 8000 = 302400 \text{ кВт·год}$$

Повна втрата активної енергії за рік

$$W_{річ} = W_c + W_{тр} + W_{л} = 7137440 + 201600 + 302400 = 7641440 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Визначаємо річні втрати реактивної енергії:

– на силове навантаження:

$$V_c = Q_{сер} \cdot T_{рік} = 566,36 \cdot 8000 = 4530880 \text{ кВар}\cdot\text{год}$$

– в трансформаторах:

$$V_{тр} = \Delta Q_{тр} \cdot T_{рік} = 138,6 \cdot 8000 = 1108800 \text{ кВар}\cdot\text{год}$$

Повна втрата реактивної енергії за рік

$$V_{річ} = V_c + V_{тр} = 4530880 + 1108800 = 5639680 \text{ кВар}\cdot\text{год}$$

## **2.7 Вибір схеми управління з елементами автоматизації. Опис роботи схеми управління**

В частині з презентацією дипломного проекту а саме слайд 1 и 2 зображено дві схеми принципова силова електропривода (1) та схема принципова керування електропривода (2).

На силовій схемі зображено розташування двигунів компресора М, вентилятора М1, масло насоса М2, головні контакти силового ланцюга КМ1-КМ3, автоматичні вимикачі QF1-QF4, реле різного типу: реле напруги КV, електротеплове реле КК1-КК2, реле струму КА1-КА2, кінцеві вимикачі SQ1, запобіжники FU1, електронагрівачі ЕК1-ЕК3, та сигнальні лампи HL1-HL3.

На схемі керування маємо ланцюги керування компресором, вентилятором, масло насосом, підігрівачами. Повністю зображений процес запуску і керування, спрацювання апаратів захисту: конденсатори С, опори R, запобіжники FU, та ввімкнення аварійних систем звукова сирена HA. На схемі показано розташування ламп HL3-HL15, які спрацьовують за певних умов, реле часу КТ1, контакти електротеплового реле КК1-КК2, контакти керування КМ1-КМ2, та кнопки керування SB1-SB12.2, діоди VD, вимикачі SA1-SA2.2

## 2.8 Розрахунок і вибір апаратів керування і захисту.

Номинальний струм електродвигуна М1 – головного привода: [3]

$$I_{дв.р.} = \frac{P_{дв.р.}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \phi \cdot n_n};$$

$$I_{дв.р.} = \frac{200}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,94 \cdot 0,95} = 340,278 \text{ А} - \text{ для змінного струму.}$$

Тривалий струм, який проходить через головні контакти апарата:

$$I_{тр} = I_{дв.н.} = 340,278 \text{ А}$$

Максимальний (граничний) короткочасний струм у ланцюзі:

$$I_{кр} = I_{п.дв.} = K_n \times I_{дв.н.} = 2,2 \times 340,278 = 748,6 \text{ А}$$

Вибір автоматичного вимикача

Вибираємо автоматичний вимикач з умови:

$$U_a \geq U_c; I_a \geq I_{дл.}; I_{відкл..a.} \geq 1,25 \cdot I_{кр.}$$

Технічні дані обраного автоматичного вимикача заносимо в таблицю

### 2.8.1

Таблиця 2.8.1 - Технічні дані автоматичного вимикача QF1 [5]

Тип	Номинальний струм, А	Номинальна напруга, В	Число полюсів	Граничний струм відключення, кА	Кількість, шт
A3796	350	660	3	50,5	1

Струм уставки вибирається з наступного співвідношення :

$$I_{уст.} = (1,1 \div 1,2) I_{дл.}$$

Вибір реле струму

Вибираємо реле струму КА1 з умови:

$$I_a > I_{кр}; I_{уст.сп} \geq 1,1 \cdot I_{кр};$$

де  $I_a$  - номинальний струм обраного електроапарата, А (табличні дані).

$I_{уст.сп}$  — струм спрацьовування уставки реле, А (табличні дані).

Дані обраного реле струму заносимо в таблицю 2.8.2



Таблиця 2.8.2 - Технічні дані реле струму КА1 [5]

Тип	Ін, А	Уставка на струм спрацювання, А	Час спрацювання, с	Кількість, шт.
РТ-83/1	10	10	4	2

Вибір запобіжників

Вибираємо запобіжники FU1-FU2 з умови:

$$U_{np} \geq U_c; I_{np} \geq I_{dl}; I_{вст.н.} \geq I_{кр} / \alpha$$

де  $U_{np}$ - номінальна напруга запобіжника. В (дані з довідника);

$U_c$  - номінальна напруга мережі проектного електропривода, В;

$I_{np}$  - номінальний струм обраного запобіжника, А (табличні дані);

$I_{вст.н.}$  - номінальний струм вставки запобіжника А (табличні дані);

$\alpha$  - коефіцієнт, що характеризує умови пуску

Дані обраних запобіжників FU1- FU2 заносимо в таблицю 2.5.3.

Таблиця 2.8.3 - Технічні дані запобіжника FU1- FU2 [5]

Позначення	Тип	Номінальний струм, А	Напруга, В	Номінальний струм плавкої вставки, А	Граничний струм відключення, А
FU1- FU2	ПР-2	60А	220	15-60А	5,5А

## 2.9 Розрахунок і вибір силової мережі

Розрахунковий струм електродвигуна:

$$I_{\text{дв.р.}} = \frac{P_{\text{дв.р.}}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \phi \cdot \eta_n};$$

$$I_{\text{дв.р.}} = \frac{190}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,94 \cdot 0,95} = 323,264 \text{ А}$$

Тривалий струм лінії:

$$I_{\text{дл}} = \Sigma I_{\text{дв.р.}} = 323,264 \text{ А}$$

Таблиця 2.9.1 – Технічні дані проводів (кабелів) [5]

Марка проводу	Номінальна напряга $U_n$ , кВ	Перетин $s$ , мм <sup>2</sup>	Припустимий струм $I_{\text{доп}}$ , А	Число жил $n$ , шт
ВВГ	0,38	70	339	3

Перевірка за нагріванням:

$$I_{\text{доп}} > I_{\text{дл.}}$$

$$339\text{А} > 323,264\text{А}$$

Втрата напруги в проводі:

$$\Delta U_{\phi} = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{\text{дл.}} \cdot \ell \cdot 100 \cdot (r_0 \cdot \cos \phi + x_0 \cdot \sin \phi)}{U_n};$$

де  $\ell$  - довжина кабелю від розподільчого пристрою до електродвигуна,  
приймаємо  $\ell = 0,02 \text{ км}$

$r_0$  - питомий активний опір проводу, Ом/км;

$x_0$  - питомий реактивний опір проводу, Ом/км.

$$\Delta U_{\phi} = \frac{\sqrt{3} \cdot 119,79 \cdot 0,02 \cdot 100 \cdot (0,72 \cdot 0,84 + 0,07 \cdot 0,54)}{380} = 0,72\%$$

$$\Delta U_{\phi} = \frac{\sqrt{3} \cdot 323,264 \cdot 0,02 \cdot 100 \cdot (0,265 \cdot 0,94 + 0,082 \cdot 0,54)}{380} = 0,86\%$$

Перевірка втрати напруги:

$$5\% > 0,86\%$$

## 2.10 Система перетворювач частоти - асинхронний двигун

Найбільш простим, дешевим і надійним електричним двигуном є асинхронний короткозамкнений двигун, тому його використання в регульованому електроприводі представляє особливий інтерес. Як було встановлено, можливості регулювання, аналогічні можливостям зміни напруги на якорі двигуна постійного струму з незалежним збудженням, в асинхронному електроприводі забезпечуються шляхом зміни частоти напруги і струму обмотки статора. Для реалізації цих можливостей необхідно здійснювати харчування обмотки статора двигуна від керованого перетворювача частоти.

Регулювання частоти є технічно більш складне завдання, ніж регулювання випрямленої напруги, так як, як правило, вимагає додаткових ступенів перетворення енергії.

Найбільше число ступенів перетворення характерно для електромашинних перетворювачів частоти. Для регулювання частоти виробляється синхронним генератором напруги необхідно регулювати його швидкість. Для цієї мети привід генератора необхідно здійснювати або за системою Г-Д, або по системі ТП-Д. Електромашинні перетворювач частоти містить відповідно два перетворювальних агрегату: асинхронний двигун, що обертає генератор постійного струму, і двигун постійного струму, що обертає синхронний генератор з регульованою швидкістю. Електропривод з таким перетворювачем частоти має п'ять ступенів перетворення енергії, збільшені приблизно в 5 разів масу, габарити і вартість (у порівнянні з нерегульованим електроприводом), погіршений ККД, і його використання економічно недоцільно.

### 2.10.1 Методи управління

Для вирішення завдань регулювання швидкості і моменту в сучасному електроприводі застосовують два основні методи частотного управління: скалярний і векторний управління.

Найбільш поширеним на сьогоднішній день є асинхронний електропривод зі скалярним керуванням. Він застосовується в складі приводів насосів, вентиляторів, компресорів та інших механізмів, для яких важливо підтримувати або швидкість обертання валу двигуна (при цьому використовується датчик швидкості), або технологічний параметр (наприклад, тиск у трубопроводі, при цьому використовується відповідний датчик).

Основний принцип скалярного управління - зміна частоти і амплітуди напруги живлення за законом

$$\frac{U}{f} = const,$$

де  $n \geq 1$ .

На сьогоднішній день сформувався два основні класи систем векторного управління: бездатчикова система (без датчика швидкості на валу двигуна) і системи зі зворотним зв'язком за швидкістю. Застосування того чи іншого методу векторного управління визначається областю застосування трансформаційних змін електроприводу. При невеликих діапазонах зміни швидкості (не більше 1: 100) і вимогах до точності її підтримки не більше  $\pm 0,5\%$  застосовують бездатчикове векторне управління. Якщо ж швидкість обертання валу змінюється в широких межах (до 1: 10000 і більше), є вимоги до високої точності підтримки швидкості обертання (до  $\pm 0,02\%$  при частотах обертання менше 1 Гц) або є необхідність позиціонування вала, а також при необхідності регулювання моменту на валу двигуна на дуже низьких частотах обертання, застосовують методи векторного управління зі зворотним зв'язком за швидкістю.

При використанні векторного управління досягаються наступні переваги:

- висока точність регулювання швидкості навіть при відсутності датчика швидкості;
- плавне обертання валу електродвигуна в області малих частот;
- можливість забезпечення номінального моменту на валу при нульовій швидкості (при наявності датчика швидкості);
- швидка реакція на зміну навантаження: при різких скачках навантаження практично не відбувається стрибків швидкості;
- забезпечення такого режиму роботи двигуна, при якому знижуються втрати на нагрів і намагнічування, а отже, підвищується ккд двигуна. Поряд з очевидними перевагами, методу векторного управління притаманні і деякі недоліки, такі, як велика обчислювальна складність і необхідність знання параметрів двигуна. Крім того, при векторному керуванні коливання швидкості на постійному навантаженні більше, ніж при скалярному управлінні. Слід зазначити, що існують області, в яких можливе використання тільки скалярного управління, наприклад, в груповому електроприводі, де від одного перетворювача харчуються кілька двигунів.

### **2.10.2 Побудова системи управління перетворювачів частоти**

Сучасні перетворювачі частоти мають багатокomпанентну структуру, однак основним елементом систем управління є спеціалізований мікроконтролер або цифровий сигнальний процесор (DSP). Спеціалізований мікроконтролер необхідний для реалізації сучасних алгоритмів управління та твори великого обсягу складних обчислень в режимі реального часу. Найбільшою мірою це критично для бездатчикового систем векторного керування.

Система управління може бути одно або багатопроцесорною. Однопроцесорні системи мають ряд істотних недоліків: до мікроконтролеру

пред'являються підвищені вимоги щодо наявності вбудованих периферійних модулів і портів введення-виведення, за швидкістю і обсягом пам'яті; значно ускладнюється розробка програмного забезпечення. Однак при вирішенні завдань управління невисокої складності гідністю однопроцесорних систем є простота апаратної і програмної реалізації.

Переваги двухпроцесорної системи в порівнянні з однопроцесорною:

- зниження вимог до ЦП1 і ЦП2 по вбудованій периферії, швидкодії і обсягом пам'яті; можливість застосування єдиного інтерфейсу для зв'язку центрального контролера з пультом;

- управління і з системою автоматизації верхнього рівня; значне спрощення розробки;

- програмного забезпечення для кожного з контролерів.

Перетворювачі конструктивно будуються за модульним принципом, що дозволяє вводити в них додаткові функціональні модулі, які в поєднанні з вбудованими програмними засобами дозволяють отримати різну конфігурацію електроприводу від найпростіших розімкнених до точних замкнених систем позиціонування. Як правило, такі модулі (плати) розширення містять в своєму складі аналогові й дискретні входи і виходи, а також інтерфейси зв'язки.

Всі аналогові входи і виходи на платах розширення мають вбудоване джерело живлення і зазвичай виконуються гальванічно розв'язаним від системи управління і дискретних входів і виходів. функції, виконувани аналоговими входами і виходами, програмуються з пульта управління. Найбільш часто аналогові входи служать для підключення датчиків зворотного зв'язку за технологічними параметрами (для цих цілей, як правило, передбачається один вхід напруги і один вхід струму).

Перетворювачі частоти легко вбудовуються в сучасні системи автоматизованого управління. Широко використовується управління в реальному часі кількома перетворювачами, для чого пропонуються рішення з різними інтерфейсами зв'язку і топологіями мереж. Більшість перетворювачів

частоти комплектується стандартним інтерфейсом RS-422 або RS-485. При цьому взаємодія здійснюється з використанням протоколів Modbus або Profibus або їх спрощених модифікацій. При використанні модулів розширення доступні додаткові інтерфейси (наприклад, CAN) і протоколи (Interbus, CANOpen, DeviceNet).

Основне завдання, яке вирішується програмним забезпеченням перетворювачів частоти - реалізація різних методів управління електродвигуном і методів формування вихідної напруги.

Управління вхідним випрямлячем (в разі використання керованого або напівкерованих випрямляча) - видача імпульсів управління на силові ключі відповідно до заданого куту відкриття тиристорів. При цьому необхідна синхронізація з мережею живлення, тобто визначення моменту проходження фаз вхідної напруги через нуль і коригування моментів відкриття ключів випрямляча.

Прийом і обробка інформації з датчиків. Дана інформація використовується для визначення поточного стану перетворювачів частоти та електродвигуна, що необхідно для реалізації необхідних законів управління, відстеження аварійних ситуацій і т. д.

Взаємодія з периферійними модулями контролера (робота з Flash-пам'яттю, годинами реального часу і іншими пристроями, що забезпечують додаткові сервісні функції).

Взаємодія з системою автоматизації верхнього рівня. Здійснюється за принципом «ведучий - ведений» (Master - Slave), причому перетворювачі частоти виступають в ролі веденого пристрою. Програмне забезпечення реалізує необхідний протокол обміну, забезпечує прийом і виконання команд управління, а також видачу необхідної інформації про поточний режим роботи, стан датчиків і параметрах перетворювачів частоти. У разі двухпроцесорної системи забезпечується можливість спільної роботи основного контролера і контролера пульта управління.

Обробка зовнішніх сигналів і видача керуючих впливів на зовнішню апаратуру в разі управління перетворювачем частоти здійснюється через дискретні або аналогові входи.

Забезпечення інтерфейсу з користувачем. Варто зазначити, що складність реалізації зручного інтерфейсу визначається набором засобів управління та індикації, передбачених на пульті.

Діагностика апаратури і самодіагностика. Діагностика полягає у визначенні працездатності різних модулів, що входять в склад перетворювачів частоти (як силових, так і керуючих), і підключеного електродвигуна. Крім того, проводиться контроль цілісності програми та даних, що зберігаються в незалежній пам'яті.

Реалізація захисних функцій. Сучасні перетворювачі частоти реалізують максимально-струмовий захист, захист від перегріву двигуна і перетворювача, від перевантаження, надмірних відхилень напруги живлення, обриву фази, міжфазного короткого замикання, замикання фази на землю і помилок зв'язку. Коректний вихід зі стану аварії можливий, тільки якщо ліквідовані причини її виникнення. Для окремих видів аварій (наприклад, зникнення напруги в мережі, аварія зв'язку) система в змозі самостійно відстежити можливість продовження роботи. Відновлення після інших аварій вимагає втручання обслуговуючого персоналу.

Збереження інформації про режими, тривалості роботи, періодичності включення перетворювачів частоти; підрахунок показників ефективності за певний період; ведення журналу відбулися збоїв і аварій. Це дозволяє проаналізувати ефективність використання перетворювачів частоти і полегшує пошук причин збоїв в роботі обладнання.

Реалізація додаткових функцій. Різні модифікації перетворювачів мають набір таких можливостей, як завдання програмованих фіксованих установок швидкості; управління режимом гальмування електроприводу; управління декількома електродвигунами; здійснення роботи перетворювачів частоти за розкладом. До програмованим керуючим функцій, що забезпечує можливість



адаптації статичних і динамічних характеристик електроприводу під умови навантаження, відносять:

- плавний пуск і зупинку двигуна з вибором форми кривої зміни швидкості (зазвичай використовують лінійну, S- і U-подібну характеристики зміни швидкості) і роздільної налаштуванням часу розгону і гальмування з автоматичною корекцією прискорення і уповільнення в випадку перевищення допустимого моменту;

- режим «підхоплення» електродвигуна, який використовується при включенні перетворювачів частоти на обертовий двигун (наприклад, після короткочасного зникнення напруги мережі);

- пропуск частот, при яких робота електроприводу небажана;

- компенсацію падіння напруги на активному опорі

- статора (IR-компенсація), яка може бути замінена налаштуванням необхідного профілю кривої «напруга - частота» для забезпечення роботи з мінімальним струмом споживання;

- підтримку високого пускового моменту на низьких частотах за рахунок додаткового збільшення напруги;

- стабілізацію швидкості обертання шляхом впливу на частоту в функції навантаження (компенсація ковзання);

- налаштування реакції на стрибок швидкості або моменту навантаження з урахуванням інерційних властивостей механізму;

- автоматичне визначення параметрів підключеного електродвигуна.

### **2.10.3 Вибір перетворювача частоти для приводу змінного струму**

Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором - найбільш простий по конструкції, надійний і дешевий тип двигуна для застосування в приводах промислових механізмів і машин. З появою сучасних силових напівпровідникових приладів - IGBT-модулів і GTO-тиристорів, - створені гнучкі і ефективні перетворювачі частоти (ПЧ), що дозволяють регулювати швидкість асинхронних електродвигунів в широкому діапазоні з одночасним керуванням зусиллям на валу двигуна.

Правильний вибір ПЧ спільно з двигуном дозволяє створити ефективний і довговічний привід для практично будь-якого виду механізмів промислового або побутового застосування.

Більшість виробників ПЧ представляє технічні характеристики своїх виробів впорядковано у вигляді декількох функціонально об'єднаних розділів:

- Енергетичні та вихідні характеристики;
- Характеристики джерела живлення ПЧ;
- Характеристики управління ПЧ;
- Характеристики захисних функцій ПЧ;
- Характеристики розміщення, транспортування, зберігання.

Опис процедури підбору частотного перетворювача для конкретного застосування має сенс представити в тій же послідовності.

## 2.10.4 Вибір перетворювача частоти по енергетичних і зовнішніх характеристиках

Коли мова йде про потужності двигуна, мається на увазі механічна потужність на валу. Для оцінки споживаної двигуном (вхідної) потужності, потужності навантаження ПЧ, слід враховувати к.к.д. ( $\eta$ ) і коефіцієнт потужності ( $\cos \varphi$ ) двигуна. Момент на валу двигуна прийнято представляти двома складовими: статичної та динамічної. Перша - момент, що витрачається на подолання сил опору і тертя в робочому механізмі. Друга - момент, що витрачається на подолання інерції махових мас самого двигуна, приєднаної трансмісії і робочого механізму.

Існує досить великий клас промислових механізмів, в яких момент на валу електродвигуна однозначно пов'язаний зі швидкістю обертання, а пуско-гальмівні режими становлять незначну частину робочого циклу. До них відносяться відцентрові насоси і вентилятори, транспортери, конвеєри і т.д. У цих випадках підібрати ПЧ можна по потужності двигуна: паспортна потужність ПЧ ( $S_{пч}$ ) повинна бути більше або дорівнює потужності, споживаної двигуном з мережі живлення.

$$S_{пч} \geq [k * P_{дв}] / [\eta * \cos \varphi]$$

Тут  $P_{дв}$  - паспортне значення потужності електродвигуна;  $k$  - коефіцієнт спотворень кривої струму ПЧ, що враховує ШІМ - модуляцію вихідного напруги.

Для перетворювачів, призначених для роботи в складі транспортерів і конвеєрів характерна перевантажувальна здатність до 150%, а в приводах вентиляторів і насосів - до 120%. З огляду на це, в окремих випадках можна вибирати перетворювач на ступінь нижче за потужністю.

Підхід змінюється в тих випадках, коли в навантаженні приводу значну роль відіграє динамічна складова. Це характерно для механізмів з істотно непостійним моментом інерції робочої машини або коли режими розгону, гальмування і реверсу повторюються часто або істотно обмежені за часом.

До таких відносяться приводи металургійного і підйомно-транспортного устаткування, металообробних верстатів, електротранспорту і т. П.

З двох елементів приводу - ПЧ та електродвигуна - другий істотно «міцніше» в електротехнічному відношенні. В асинхронному двигуні з короткозамкненим ротором, наприклад, при прямому пуску струм може досягати величини, в 5 ... 7 разів перевищує номінальний, а в окремих випадках - до 12. Якщо при цьому температура обмоток не перевищить встановлену, такий режим обходиться без наслідків. Перетворювач частоти має набагато більш скромними можливостями через обмеження силових напівпровідникових приладів. У більшості моделей ПЧ гранична перевантаження допустиме діапазоні 120 ... 200% по відношенню до номінального струму. Оскільки струм двигуна безпосередньо визначає зусилля на валу, то очевидно, що динамічні можливості приводу будуть визначатися струмообмеження ПЧ. У цих випадках, крім вибору ПЧ по потужності, обов'язкове перевірка перетворювача за граничним току при виконанні розгону максимальної інтенсивності, або навпаки, можливість забезпечення часу розгону при граничному струмі ПЧ. Для випадку постійного прискорення можна скористатися відомими співвідношеннями для діючого значення граничного струму ( $I_{пр}$ ) і часу розгону ( $\Delta t_p$ ):

$$I_{пр} = [k * (M_{ст} M_{дин}) * \Delta n] / [9,55 * \eta * \cos \varphi * \sqrt{3} * U_L]$$

$$M_{дин} = [J * \Delta n] / [9,55 * \Delta t_p]$$

Тут:  $\Delta n$  - збільшення швидкості протягом перехідного процесу (об / хв);  $M_{ст}$  - статична складова моменту вала двигуна (зазвичай - паспортне значення номінального моменту, н \* м);  $M_{дин}$  - динамічна складова моменту двигуна (н \* м);  $U_L$  - лінійна напруга, що підводиться до двигуна (діюче значення, В);  $J$  - сумарний момент інерції всього механізму і двигуна, приведений до валу двигуна (н \* м / сек<sup>2</sup>).

Якщо граничний струм  $I_{пр}$  перевищує струм обмеження ПЧ, або час розгону  $\Delta t_p$  більше, ніж вимагається, потрібно вибрати перетворювач стоїть

вище за шкалою потужностей. Іноді виробник ПЧ вказує допустимий час розгону при гранично допустимому струмі - до 60 сек.

Правильний вибір ПЧ неможливий без урахування рішень по режимам гальмування. Вибір визначає не тільки модель ПЧ, а й вартість. Застосовуються три основні методи:

- Рекуперативне гальмування з віддачею енергії в мережу живлення. Найбільш вигідно з енергетичної сторони, однак збільшуються капітальні витрати. ПЧ, що володіють такою функцією, щодо дороги. Для інших необхідна установка додаткових рекупераційних модулів, що так само спричиняє збільшення капітальних витрат. Окупність таких витрат реальна в приводах, що працюють в режимах часто повторюваних пусків, гальмувань і реверсів (наприклад - електротранспорт);

- Динамічне гальмування з розрядом енергії проміжної ланки перетворювача на додатковий опір. ПЧ цих моделей забезпечуються вбудованим модулем гальмівного переривника. У приводах невеликої потужності вбудованим може бути і гальмівний резистор, однак, найчастіше це зовнішні пристрій, що вимагає так само додаткових витрат.

У двох цих випадках для оцінки струму навантаження ПЧ або часу руху можуть використовуватися наведені вище співвідношення. При цьому повинен бути змінений на протилежний знак статичного моменту  $M_{ст}$  (а в деяких випадках і його числове значення).

- Гальмування противовключением. Обмотка двигуна підключається до постійної напруги; що виникає магнітний потік сприяє появі гальмівного зусилля, при цьому енергія розсіюється на обмотках двигуна і в джерелі постійної напруги. Спосіб дешевий, але, зважаючи на значний нагрівання, застосуємо тільки при дуже невеликих швидкостях.

### **2.10.5 Переваги та недоліки застосування перетворювачів частоти**

До переваг частотного перетворювача відносяться кілька важливих якостей:

1. Зниження пускового струму до фактичної робочої величини. Умови харчування електричного двигуна безпосередньо від мережі і живлення від перетворювача відрізняються. У першому випадку, пусковий струм збільшується не менше, ніж в сім разів від номінального значення струму двигуна. Плавний пуск з поступовим плавним наростанням частоти напруги живлення двигуна може бути знижений до фактичного, споживаного двигуном в сталому робочому режимі. Досягається це установкою часу розгону, якщо необхідно розігнати інерційну навантаження перетворювач може забезпечити більшу потужність, ніж потужність двигуна.

2. Існують моделі перетворювачів, максимально орієнтованих для роботи на навантаження зі змінним моментом, а саме, для насосних станцій, укомплектованих відцентровими насосами. Номінальний струм перетворювача може бути більш, ніж на два ступені вище паспортних показників двигуна.

3. Використання частотного перетворювача для запуску насосних агрегатів дає економію електроенергії мінімум 30%.

Недоліки векторних частотних перетворювачів:

1. Складність настройки векторного перетворювача, необхідна консультація фахівця. Проводиться облік параметрів електродвигуна, в тому числі і індуктивності.

2. Технологія використання електроприводу повинна мати на увазі 100% точність, тільки в цьому випадку виправданий вибір ПЧ.

3. Вибираючи векторний перетворювач, потрібно не забути перейти зі скалярного режиму.

4. Високі вимоги до точності вимірювальних приладів, що позначається на вартості.

5. Векторний ПЧ бажано використовувати для конкретного електродвигуна.

### **2.10.6 Моделювання системи частотного регульованого асинхронного електропривода зі скалярним управлінням**

Частотне керування АД має найкращі показники регулювання швидкості порівняно з іншими способами. Єдиним стримуючим фактором тут є висока, поки що, вартість ПЧ. Цей спосіб забезпечує плавне регулювання швидкості у широкому діапазоні (це двозонне регулювання), а одержані статичні МХ мають високу жорсткість

Асинхронний ЕП зі скалярним частотним управлінням використовується для механізмів середньої та малої потужності, які не потребують глибокого регулювання швидкості (найчастіше діапазон регулювання обмежений показником 10:1) та високої якості перехідних процесів. Це деякі установки промислового ЕП (турбомеханізми, підйомно-транспортні механізми, очисні комбайни тощо).

Частотне керування полягає у забезпеченні потрібних статичних характеристик системи ЕП шляхом виконання певного співвідношення між амплітудою та частотою напруги, яка прикладається до статора синхронного двигуна. Це співвідношення повинне виконуватися у будь-який момент знаходження ЕП у роботі, і має назву закону частотного управління. При частотному керуванні з боку статора використовуються АД з короткозамкненим ротором.

Скалярні способи керування забезпечують досягнення потрібних статичних характеристик і зазвичай використовуються в ЕП, навантаження в яких є спокійним. Структура системи керування повинна забезпечувати повільне зростання сигналів завдання для наближення динамічних властивостей електропривода до статичних.

В перетворювачах частоти (ПЧ), які випускаються сучасною промисловістю, зазвичай передбачається можливість переналадження з метою забезпечення усіх законів. Потрібне співвідношення напруги та частоти зазвичай досягається в системі керування шляхом застосування функціональних перетворювачів. У найпростішому випадку силова частина ЕП має ПЧ з ланкою постійної напруги. Функціонально в такому ПЧ напруга джерела спрямляється за допомогою керованого випростувача (КВ), а потім за допомогою автономного інвертора напруги (АІН) перетворюється у змінну напругу регульованої частоти. Узагальнена функціональна схема системи частотного керування наведена на рис.7.2

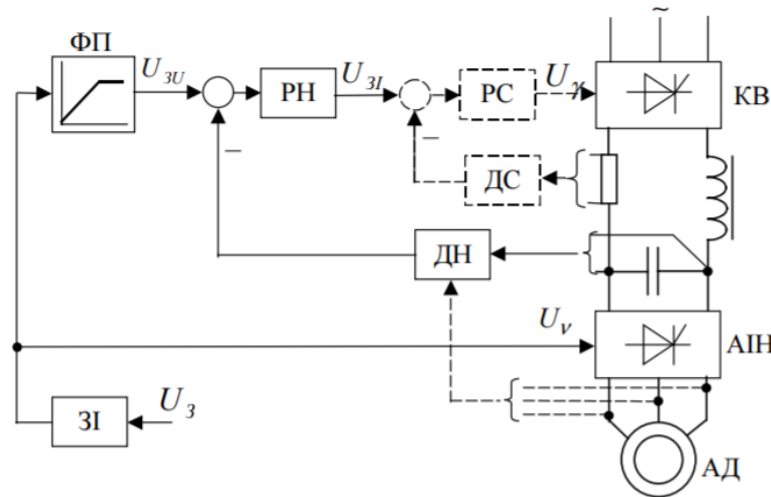


Рис.7.2. Узагальнена функціональна схема системи частотного керування

Напруга від задавача інтенсивності (ЗІ) безпосередньо подається для завдання частоти на вхід АІН та через функціональний перетворювач (ФП) для завдання на-пруги на вхід КВ або (за наявності відповідного контуру) як сигнал завдання для ко-нтуру регулювання напруги.

В цій роботі передавальну функцію регулятора напруги одноконтурної систе-ми пропонується обрати у вигляді:

$$W_{PUI}(p) = \frac{R_F + R_{D1}}{k_v k_{Ui} R_{D1}} \cdot \frac{\left[ \frac{R_F}{R_F + R_{D1}} (T_F + T_{D1}) + T_V \right] p + 1}{T_H p}$$



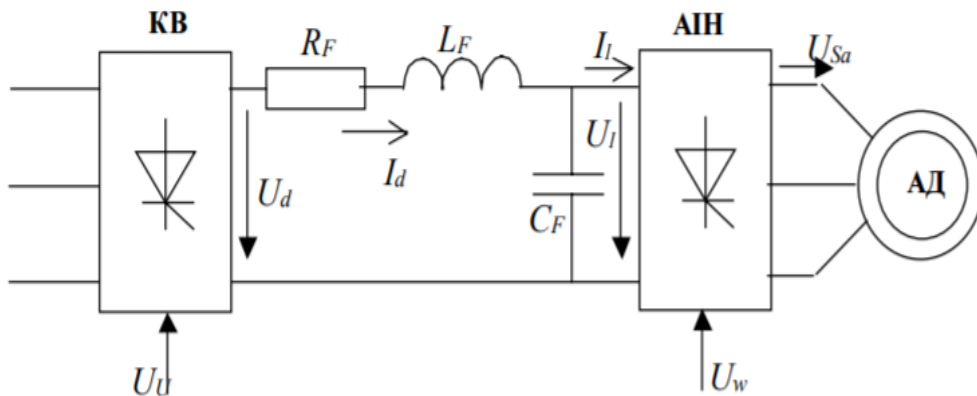
У двоконтурній системі передавальну функцію регулятора струму пропонується обрати у вигляді:

$$W_{PI_d}(p) = \frac{R_F + R_D}{k_V k_{I_d}} \cdot \frac{\left[ \frac{R_F}{R_F + R_D} (T_F + T_D) + T_V \right] p + 1}{T_C p}$$

а регулятора напруги зовнішнього контуру – у вигляді:

$$W_{PI_U}(p) = \frac{\pi}{2\sqrt{3}} \cdot \frac{k_{I_d}}{k_{U_S} R_D} \cdot \frac{(T_D + T_T) p + 1}{T_{H2} p}$$

За допомогою ФП може бути реалізована потрібна залежність напруги статора АД від частоти. Закон частотного регулювання, що реалізований у ФП повинен виконуватися при  $U_S \geq U_{SH}$  для запобігання живлення АД збільшеною напругою. При необхідності подальшого підвищення частоти обертання напруга статора АД має бути обмежена, а регулювання швидкості в цій зоні здійснюється лише за рахунок підвищення частоти.



Спрощена принципова схема силової частини системи частотно-регульованого електропривода

Механічна характеристика асинхронного двигуна при частотному регулюванні швидкості обертання робочих машин з різними механічними характеристиками

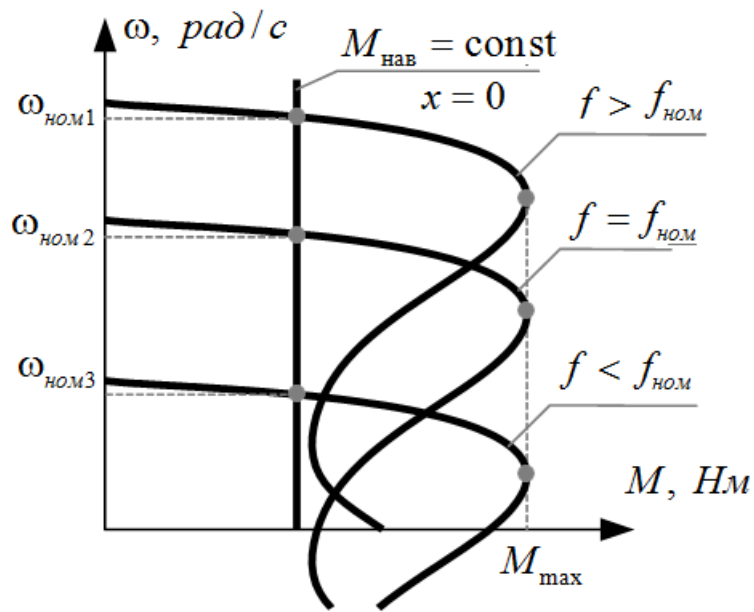


Рис. 3.6. Механічні характеристики АД при частотному керуванні для робочої машини з  $x=0$

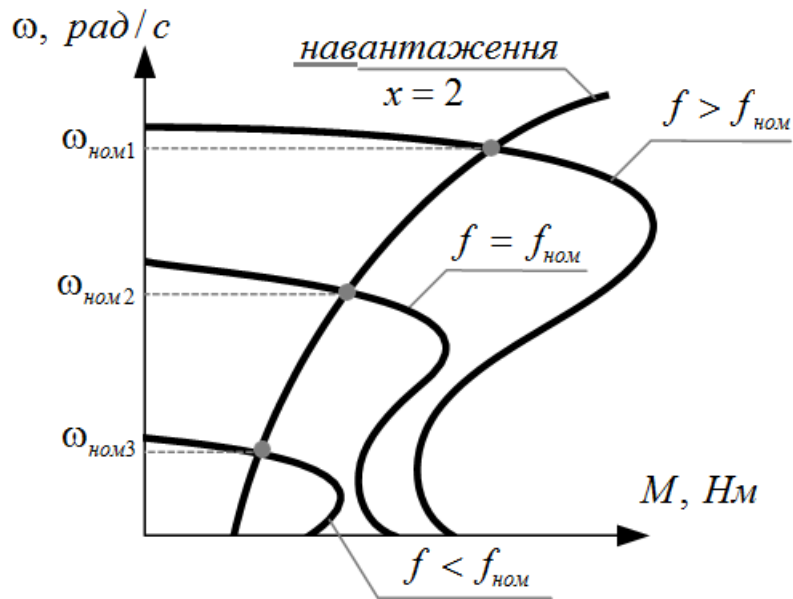


Рис. 3.7. Механічні характеристики АД при частотному керуванні для робочої машини з  $x=2$

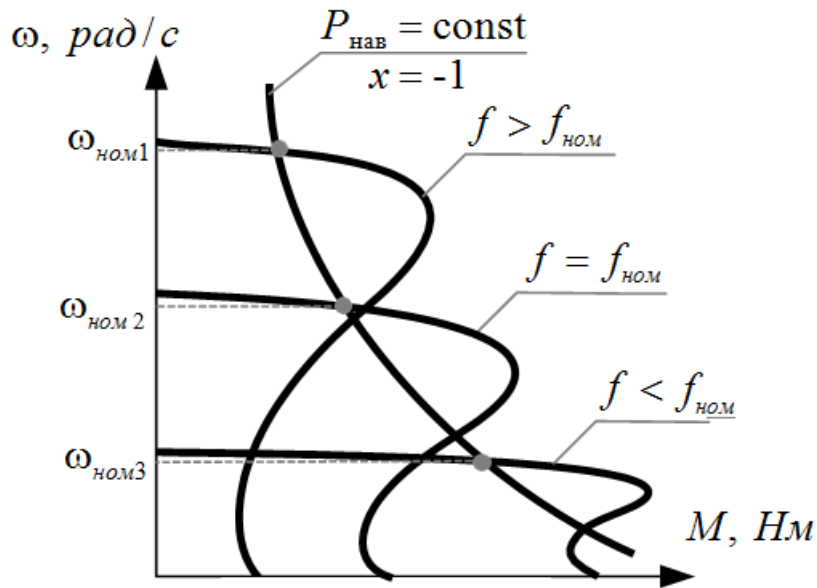


Рис. 3.8. Механічні характеристики АД при частотному керуванні для робочої машини з  $x = -1$

#### Векторне регулювання

Сучасні системи векторного регулювання дозволяють просто й ефективно керувати такими складними об'єктами як АДКЗ. Це дозволяє істотно розширити область застосування асинхронного приводу і витіснити з автоматизованих керованих приводів двигуни постійного струму. Можливість використання векторних алгоритмів регулювання АД пов'язано в першу чергу з розвитком силової електроніки, яка дозволяє створювати надійні й відносно дешеві перетворювачі, а також з розвитком швидкодіючої мікроелектроніки.

Першим етапом процесу розвитку векторного керування АД була розробка універсальної векторно-матричної математичної моделі, що одержала назву узагальненої електричної машини. Цей процес почався у кінці 20-х років і завершилася наприкінці 40-х років ХХ століття. Модель узагальненої електричної машини дозволяє описувати електромагнітні процеси в ідеалізованому електродвигуні за допомогою апарату лінійної алгебри. Практичне використання моделі було відкладено на кілька десятиліть, оскільки при «ручних» розрахунках вона не давала яких-небудь переваг, але вимагала істотних обчислювальних робіт, теоретично ж її

успішно використовували для аналізу перехідних процесів в електричних машинах.

Як відомо, повна керованість електропривода досягається тоді, коли забезпечується керування електромагнітним моментом двигуна. У електричних двигунах крутний момент утворюється в результаті взаємодії магнітних полів статора й ротора. Обидві величини повинні бути незалежні одна від іншої. Тоді одну з них можна підтримувати постійною, а за допомогою іншої здійснювати регулювання. У двигунах постійного струму існують окремі електричні кола для керування магнітним потоком і моментом.

Для побудови систем векторного керування АД можуть бути використані будь-які пари векторів, за допомогою яких можна представити електромагнітний момент АД. Однак від вибору векторів значною мірою залежить ступінь складності системи. Бажано, щоб величини, які представлені векторами в рівнянні моменту, можна було безпосередньо виміряти й впливати на них при керуванні моментом. У АДКЗ є тільки дві такі величини – це напруга й струм статора, і тільки одна з них, а саме струм статора, може входити в рівняння моменту.

Тоді іншою величиною може бути тільки струм ротора або яке-небудь потокозчеплення. Струм ротора принципово неможливо виміряти, а пристрої його ідентифікації по іншим вимірюваним параметрам складні й ненадійні. Тому для вибору залишаються три потокозчеплення: статора, ротора й основне, тобто магнітний потік у зазорі АД. Потокозчеплення статора й робочий потік АД можна безпосередньо виміряти й використати цей сигнал у системі керування, що часто й робиться при створенні приводів високої якості. У масових виробках розробники намагаються використати сигнали, доступні без установки датчиків, тобто струм і напруга статора, за миттєвим значенням яких можна обчислити, наприклад, потокозчеплення статора.

Однак при виборі потокозчеплення статора або основного потокозчеплення передаточні функції системи керування виходять досить складними й мало підходящими для практичного використання.

### **3 ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

Основним нормативним документом, який регулює відносини у сфері енергозбереження є Закон України «Про енергозбереження» (1994р). Цей Закон визначає правові, економічні, соціальні та екологічні основи енергозбереження для всіх підприємств, об'єднань та організацій, розташованих на території України, а також для громадян.

Метою законодавства про енергозбереження є регулювання відносин між господарськими суб'єктами, а також між державою і юридичними та фізичними особами у сфері енергозбереження, пов'язаної з видобуванням, переробкою, транспортуванням, зберіганням, виробленням та використанням паливно-енергетичних ресурсів, забезпечення заінтересованості підприємств, організацій та громадян в енергозбереженні, впровадженні енергозберігаючих технологій, розробці і виробництві менш енергоємних машин та технологічного обладнання, закріплення відповідальності юридичних і фізичних осіб у сфері енергозбереження.

Енергозбереження - діяльність (організаційна, наукова, практична, інформаційна), яка спрямована на раціональне використання та економне витрачання первинної та перетвореної енергії і природних енергетичних ресурсів в національному господарстві і яка реалізується з використанням технічних, економічних та правових методів; "енергозберігаюча політика" - адміністративно-правове і фінансово-економічне регулювання процесів видобування, переробки, транспортування, зберігання, виробництва, розподілу та використання паливно-енергетичних ресурсів з метою їх раціонального використання та економного витрачання;

"паливно-енергетичні ресурси" - сукупність всіх природних і перетворених видів палива та енергії, які використовуються в національному господарстві;

"раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів" - досягнення максимальної ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів при існуючому рівні розвитку техніки та технології і одночасному зниженні техногенного впливу на навколишнє природне середовище;

"економія паливно-енергетичних ресурсів" - відносне скорочення витрат паливно-енергетичних ресурсів, що виявляється у зниженні їх питомих витрат на виробництво продукції, виконання робіт і надання послуг встановленої якості;

енергоефективна продукція, технологія, обладнання - продукція або метод, засіб її виробництва, що забезпечують раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів порівняно з іншими варіантами використання або виробництва продукції однакового споживчого рівня чи з аналогічними техніко-економічними показниками;

енергозберігаючі (енергоефективні) заходи - заходи, спрямовані на впровадження та виробництво енергоефективних продукції, технологій та обладнання;

енергоефективний проект - проект, спрямований на скорочення енергоспоживання, а саме: реконструкція мереж і систем постачання, регулювання і облік споживання води, газу, теплової та електричної енергії, модернізація огорожувальних конструкцій та технологій виробничих процесів;

енергетичний аудит (енергетичне обстеження) - визначення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та розроблення рекомендацій щодо її поліпшення;

менеджмент з енергозбереження - система управління, спрямована на забезпечення раціонального використання споживачами паливно-енергетичних ресурсів;

норми питомих витрат палива та енергії - регламентована величина питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів для даного виробництва, процесу, даної продукції, роботи, послуги;

прямі втрати паливно-енергетичних ресурсів - втрата паливно-енергетичних ресурсів поза технологічними процесами (вид нераціонального використання паливно-енергетичних ресурсів);

марнотратне витрачання паливно-енергетичних ресурсів - систематичне, без виробничої потреби, не зумовлене вимогами технічної безпеки недовантаження або використання на холостому ходу електродвигунів, електропечей та іншого електро- і теплоустаткування; систематична втрата стисненого повітря, води і тепла, спричинена несправністю арматури, трубопроводів, теплоізоляції трубопроводів, печей і тепловикористовуючого устаткування; недотримання вимог нормативної та проектної документації щодо теплоізоляції споруд та інженерних об'єктів, яке призводить до зниження теплового опору огорожувальних конструкцій, вікон, дверей в опалювальний сезон (вид нераціонального використання паливно-енергетичних ресурсів);

нераціональне (неефективне) використання паливно-енергетичних ресурсів - прямі втрати паливно-енергетичних ресурсів, їх марнотратне витрачання та використання паливно-енергетичних ресурсів понад показники питомих витрат, визначених системою стандартів, а до введення в дію системи стандартів - нормами питомих витрат палива та енергії;

"вторинні енергетичні ресурси" - енергетичний потенціал продукції, відходів, побічних і проміжних продуктів, який утворюється в технологічних агрегатах (установках, процесах) і не використовується в самому агрегаті, але може бути частково або повністю використаний для енергопостачання інших агрегатів (процесів);

"нетрадиційні та поновлювані джерела енергії" - джерела, що постійно існують або періодично з'являються в навколишньому природному

середовищі у вигляді потоків енергії Сонця, вітру, тепла Землі, енергії морів, океанів, річок, біомаси.

До заходів з енергозбереження на хімічному підприємстві можна віднести:

Застосування досконаліших процесів виробництва енергії та палива;

Заміни енергоємних процесів менш енергоємними та застосування маловідходних та енергозберігаючих технологій;

Заміни застарілого неекономічного енерговиробляючого та енерговикористовуючого обладнання новим, економічнішим;

Удосконалювання структури енергоспоживання підприємств за рахунок найефективніших енергоносіїв, підвищення якості використання енергоносіїв та раціоналізації енергетичних потоків, оптимізації теплових схем підприємств та окремих технологічних процесів;

Підвищення енергетичного ККД технологічних агрегатів за рахунок поліпшення організації технологічних процесів та режимів роботи агрегатів, скорочення їх простоїв, скорочення невиробничих втрат енергоресурсів, удосконалювання процесу спалювання палива, застосування рекуперації, регенерації тепла, рециркуляції енергоносіїв, проміжних підігрівів, поліпшення теплоізоляції і т. ін.;

Застосування енерготехнологічного комбінування процесів, коли енергетичний потенціал продуктів одного технологічного процесу або потоку використовується безпосередньо без перетворення в іншому процесі, наприклад, ентальпія (тепломісткість) чавуну у сталеплавильному агрегаті, ентальпія нафтопродуктів первинної переробки нафти на установках вторинної переробки;



## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

Важливою умовою життєдіяльності людей є праця, тобто діяльність, спрямована на створення матеріальних цінностей. Праця становить єдність двох функцій: засобу до життя і сферу ствердження особи. Перша з цих функцій знаходить своє відображення в орієнтуванні працівника на зміст праці, її відповідність його внутрішнім запитам, моральне задоволення роботою. Наука про охорону праці тісно пов'язана з іншими науками. Вона широко використовує найновіші досягнення науки і техніки, базується на теоретичних розробках з фізики, хімії, математики, електроніки, медицини, економіки тощо. Важливе місце в розробці питань охорони праці займають такі наукові дисципліни, як ергономіка, інженерна психологія і фізіологія праці, технічна естетика. Але завжди слід знати ті фактори і чинники які впливають на здоров'я і самопочуття персоналу організації, підприємства, установи, тощо. Під час роботи на працюючих впливають різні шкідливі фактори виробничого середовища. Шкідливі фактори за характером свого впливу поділяються на фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні. [10]

### 4.1 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.

Аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів проводять згідно з ГОСТ 12.1.003-74. Небезпечними та шкідливими називають фактори, що призводять до раптового погіршення здоров'я людини, або навіть смерті, під час її трудової діяльності. [11]

Згідно з класифікацією ГОСТ 12.1.003-74 до числа небезпечних та шкідливих факторів, що виникають при проведенні дослідження слід віднести:

- нервово-психічні перевантаження (розумове перевантаження, монотонність праці, емоційні перевантаження);
- фізичне перевантаження;

- невідповідність параметрів мікроклімату робочої зони санітарним нормам;

- недостатня або надмірна освітленість робочої зони;
- несприятливе забарвлення стін та підлоги, віддзеркалення;
- робота з комп'ютером.

Психофізіологічні небезпечні і шкідливі виробничі чинники викликають перевантаження, що по характері дії підрозділяються на фізичні і нервово-психічні. Фізичні перевантаження підрозділяються на статичні, гіподинамічні, динамічні. Причинами нервово-психічних перевантажень можуть бути розумова перенапруга, перенапруга аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження.

Відхилення від норм мікроклімату на робочому місці негативно впливає на організм людини, що в свою чергу веде до погіршення стану здоров'я та часткової або повної втрати працездатності. Величини показників мікроклімату у приміщеннях повинні відповідати нормам, зазначеним у ГОСТ 12.1.005-88 і ДСН 3.3.6.042-99.

Правильно організоване освітлення позитивно впливає на діяльність центральної нервової системи, знижує енерговитрати організму на виконання певної роботи, що сприяє підвищенню працездатності людини, продуктивності праці і якості продукції, зниженню виробничого травматизму тощо. При недостатньому чи надмірному освітленні робочої зони очі сильно напружуються, знижується темп роботи, збільшується стомлюваність. З часом у працівників можливий розвиток захворювань очей, таких як короткозорість чи інших, тому освітлення робочих приміщень повинно відповідати нормам СніП II.4-79.

Засоби захисту працюючих за призначенням поділяються на дві категорії:

засоби колективного захисту;

засоби індивідуального захисту.

Засоби колективного захисту призначені для:

нормалізації повітряного середовища виробничих приміщень і робочих місць (вентиляція, кондиціонування, опалення, автоматичний контроль і сигналізація);

нормалізації освітлення виробничих приміщень і робочих місць (джерела світла, освітлювальні прилади, світлозахисне обладнання, світлофільтри);

захисту від іонізуючих, інфрачервоних, ультрафіолетових, електромагнітних, лазерних, магнітних та електричних полів (огороження, герметизація, знаки безпеки, автоматичний контроль і сигналізація, дистанційне керування тощо);

Створення на робочому місці сприятливих і безпечних умов праці тісно пов'язане із забезпеченням робітників спецодягом, спецвзуттям та іншими засобами індивідуального захисту.

#### **4.2 Заходи з техніки безпеки та пожежної безпеки.**

Пожежна безпека — це такий стан об'єкта, при якому з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення й розвитку пожежі та впливу на людей небезпечних факторів пожежі, а також забезпечується захист матеріальних цінностей. [14]

Вибухова безпека — це такий стан виробничого процесу, під час якого виключається можливість вибуху або ж у випадку його виникнення відвертається дія на людей викликаних ним небезпечних та шкідливих факторів і забезпечується захист матеріальних цінностей. [13]

Для запобігання пожежі необхідно :

- запобіганням утворенню горючого середовища;
- запобіганням утворенню в горючому середовищі (або внесення в нього) джерел займання.

Запобігання утворенню горючого середовища має забезпечуватися:

- максимально можливим застосуванням негорючих і важкозаймистих речовин та матеріалів;

- обмеженням маси та(або) об'єму горючих речовин, матеріалів та найбезпечнішим способом їх розміщення;
- ізоляцією горючого середовища;
- підтримкою концентрації горючих газів, пари, пилу та(або) окисника в суміші поза межами їх займання;
- підтримкою його температури й тиску, за яких виключається поширення полум'я;
- максимальною механізацією й автоматизацією технологічних процесів, пов'язаних із перекачуванням горючих речовин;
- установленням пожежно небезпечного обладнання по можливості в ізольованих приміщеннях або на відкритих майданчиках;
- застосуванням для горючих речовин герметичного обладнання і тари;
- застосуванням пристроїв захисту виробничого обладнання з горючими речовинами від пошкоджень і аварій, установленням пристроїв, що відключають, відсікають, та ін.;
- застосуванням ізольованих відсіків, камер, кабін тощо.

Запобігання утворенню в горючому середовищі джерел займання має досягатися:

- застосуванням машин, механізмів, обладнання, пристроїв, під час експлуатації яких не утворюються джерела займання;
- застосуванням енергоустаткування, відповідного до пожежно небезпечної та вибухонебезпечної зон, групи і категорії вибухонебезпечної суміші за вимогами (ПУЭ-86);
- застосуванням у конструкції швидкодіючих засобів захисного відключення можливих джерел займання;
- застосуванням технологічного процесу й обладнання, що задовольняє вимогу електростатичної іскробезпеки за ГОСТ 11.018-86;

- улаштуванням захисту від блискавок будівель, споруд і обладнання;
- підтримкою температури нагрівання поверхонь машин, механізмів, обладнання, пристроїв, речовин і матеріалів, які можуть увійти в контакт з горючим середовищем, нижче граничнодопустимої, яка становить 80 % найменшої температури самозаймання пального;
- виключенням можливості появи іскрового розряду в горючому середовищі з енергією, яка дорівнює або вища від мінімальної енергії займання;
- застосуванням інструменту, що не іскрить під час роботи з легкозаймистими рідинами і горючими газами;
- ліквідацією умов для теплового, хімічного та (або) мікробіологічного самозаймання речовин, матеріалів, виробів і конструкцій, що перетворюються;
- усуненням контакту з повітрям пірофорних речовин;
- зменшенням визначального розміру горючого середовища нижче граничнодопустимого за горючістю;
- виконанням установлених правил пожежної безпеки.

Щоб уникнути неприпустимого перегріву провідників, іскріння і освіти електричних дуг в машинах і апаратах, електрообладнання для пожежонебезпечних і вибухонебезпечних електроустановок необхідно вибирати в суворій відповідності до вимог Правил улаштування електроустановок. Щоб уникнути неприпустимих перевантажень і струмів короткого замикання слід застосовувати електричний захист проводів і електроприймачів.

Електричне обладнання застосовуються в електроустановках, повинні забезпечувати необхідну ступінь захисту їх ізоляції від шкідливої дії навколишнього середовища і безпеку у відношенні пожежі або вибуху через їх несправність.

У зв'язку з цим є наступна класифікація електротехнічного обладнання: відкрите, захищене, краплезахищене, бризкозахищене, водозахищений, закрите, пиловологозахищене, пилонепроникні, герметичне, вибухозахищене, вибухобезпечне, особливо вибухонебезпечне та інші.

### **4.3 Електробезпека.**

Техніка безпеки під експлуатації (ремонт) електрообладнання:

Всі роботи з ремонту чинного електроустаткування слід робити тільки при знятій напрузі з ремонтованої електроустановки. В окремих випадках ПТБ дозволяють виробництво невеликих за обсягом робіт з усунення неполадок без зняття напруги. В електроустановках напругою до 380 В такі роботи дозволяються (за винятком особливо небезпечних приміщень) електромонтерів, має III кваліфікаційну групу по ТБ, в присутності другої особи, старшого за посадою, має групу IV або V. [15]

Роботи з ремонту електроустаткування виробляються за нарядом-допуском, розпорядженням або в порядку поточної експлуатації з записом в оперативному журналі згідно з переліком випробувань згідно з переліком робіт, виконуваних електротехнічним персоналом у порядку поточної експлуатації, затвердженим головним енергетиком.

Робота з перевірки, випробування і ремонту пов'язані з подачею напруги, можуть проводитися не менш ніж двома особами, одна з яких повинен мати кваліфікаційну групу ні нижче 4 при роботі в електроустановках понад 1000 В і не нижче 3 в електроустановках до 1000 В.

У рукоятках всіх вимикаючих апаратах, за допомогою яких може бути подана напруга до місця роботи, вивішують попереджувальні плакати "Не включати - працюють люди".

Харчування тимчасових схем для ремонту, перевірок та випробувань електромереж повинно виконуватися через вимикач, рубильник, автомат закритого виконання з захистом і ясним позначенням включеного і відключеного положення. Щоб уникнути небезпеки, яка може виникнути для

ремонту персоналу або помилкової подачі напруги в ремонтуються ділянки електромережі, всі фази відключеною частини заземлюють і закорочуються.

Перед тим як накласти заземлення на ремонтуються ділянку, перевіряють відсутність напруги.

Якщо потрібно зробити ремонт в чинній електромережі, з якою зняти напругу не представляється можливим то роботи проводять в діелектричних рукавичках, стоячи на гумових килимках. При вимірах за допомогою мегомметра перевіряється ділянку попередньо відключають з усіх боків, звідки на нього може бути подано напругу. Відповідальний за ремонтні та випробувальні роботи відповідає за точне виконання всіх заходів безпеки.

У ремонтних приміщеннях необхідно підтримувати чистоту і порядок, не допускати захащення. Відходи матеріалів, ганчірки, стружку, тирсу треба регулярно прибирати у спеціально відведені місця. Обтиральні матеріали повинні зберігатися в металевих ящиках з кришками. Дрантя була у використанні, має здатність до самозаймання, необхідно щодня видаляти в разі виникнення пожежі чи загоряння приймаються негайні заходи по його ліквідації і одночасно повідомляється в пожежну частину.

Найчастіше пожежі виникають від короткого замикання, перевантаження електромережі, утворення великих перехідних опорів, підключених до електромережі і залишених без нагляду електроприладів. Призвести до пожежі може й користування цими приладами без належних негорючих підставок або вмикання їх в електромережу поблизу легкозаймистих предметів.

Розглянемо кілька випадків, які призводять до пожежі. Коротке замикання, тобто зіткнення двох проводів, може статися через порушення їх ізоляції, неправильну ізоляцію стикових місць, механічне пошкодження проводів.

Воно також може бути викликане несправністю розеток, попаданням води на електропроводку тощо. При короткому замиканні опір у мережі різко зменшується, а сила струму значно збільшується, а значить зростає виділення

тепла, від чого і загоряється електроізоляція та провід. Пожежа виникає від перевантаження електромережі. У побутових умовах воно може трапитися при одночасному вмиканні в мережу багатьох споживачів струму. Причиною пожежі може бути поганий контакт у з'єднанні проводів. Щоб не допустити пожежі від короткого замикання, слід стежити за справністю проводки, оберегати від пошкоджень ізоляцію, своєчасно замінювати пошкоджену проводку новою.

Найбільш частими причинами виникнення пожеж та вибухів є електричні іскри та дуги, неприпустимі перегрів провідників струмами коротких замикань і внаслідок перевантажень, незадовільний стан контактів у місцях з'єднання проводів або приєднання їх до висновків електрообладнання. Можливі загоряння ізоляції проводів електричних машин і трансформаторів внаслідок пошкодження ізоляції і перевантаження їх струмами.

#### **4.4 Пожежна профілактика.**

Автоматичні установки пожежегасіння повинні виконувати одночасно і функції автоматичної пожежної сигналізації. При відповідному техніко-економічному обґрунтуванні у приміщеннях, обладнаних автоматичним пожежегасінням, додатково встановлюється автоматична пожежна сигналізація. Автоматична пожежна сигналізація повинна працювати цілодобово. Автоматичні установки пожежегасіння, за винятком спринклерних, повинні мати дистанційний та місцевий пуск. Вогнегасну речовину, тип і параметри установок пожежегасіння належить приймати з урахуванням НД, що встановлюють вимоги до конкретних будинків і споруд за пожежною небезпекою, виходячи з характеру технологічного процесу виробництв, властивостей матеріалів. Параметри установок водяного пожежегасіння зі змочувачем належить визначати аналогічно параметрам установок водяного пожежегасіння. При обладнанні будинків і споруд водяними і пінними установками пожежегасіння, при техніко-економічному



обґрунтуванні допускається передбачати установки пожежегасіння в приміщеннях, де за нормами вимагається тільки автоматична пожежна сигналізація. Для цих приміщень витрати вогнегасної речовини не повинні бути визначальними, а інтенсивність зрошення приймається нормативною. Для кожної секції установки пожежегасіння слід передбачати окремий вузол керування. За наявності в приміщенні технологічних площадок, Виконаних із суцільного матеріалу, обладнання або вентиляційних коробів (нахилених або горизонтальних) з мінімальним розміром по ширині або діаметру більше ніж 0,75м, розташованих на висоті від підлоги не менше 0,70 м, належить під ними додатково встановлювати спринклерні або дренчерні зрошувачі, спонукальну систему установки пожежегасіння. Робоче і аварійне освітлення слід приймати згідно з СНіП 11-4-79. Станція повинна бути обладнана телефонним зв'язком з приміщенням пожежного поста або іншим приміщенням з персоналом, що веде цілодобове чергування. Біля входу в станцію повинно бути світлове табло з написом "Станція пожежегасіння".

#### **4.5 Розрахунок штучного штучного освітлення виробничих приміщень**

Розрахунок освітлення методом коефіцієнта використання виконується по формулі

$$\Phi = \frac{ESkz}{N\eta} = \frac{150 * 1026 * 1.5 * 1.15}{9 * 2.0} = 14748.15 \quad (4.1)$$

де  $\Phi$  - необхідний світловий потік ламп у кожному світильнику, лм;  $E$  - нормована мінімальна освітленість, лк, відповідно до розряду зорової роботи;  $k$  - коефіцієнт запасу,;  $S$  - освітлювана площа, м<sup>2</sup>;  $z$  - коефіцієнт мінімальної освітленості, величина якого знаходиться в межах 1,1 - 1,5  $N$  - число світильників у приміщенні;  $\eta$ - коефіцієнт використання світлового потоку.

Визначаю розрахункову висоту підвісу, м:

$$h = H - h_{\text{св.}} - h_{\text{рп.}} = 6 - 1 - 0.8 = 4.2 \quad (4.2)$$

де  $H$  - висота приміщення, м;  $h_{\text{св.}}$  - висота звису світильника (від перекриття), м;  $h_{\text{рп.}}$  - висота робочої поверхні над підлогою, м (приблизно 0,8 м).

Відстань між світильниками з крапковими джерелами світла (лампами накаливання, ДРЛ і т.д.), м

$$L = \lambda h = 2.6 * 4.2 = 10.26 \quad (4.3)$$

Визначають кількість світильників для установки в приміщенні

$$N = \frac{S}{L^2} = \frac{1026}{119.25} = 8.6 = 9. \quad (4.4)$$

## 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

### Вступ

Метою даного дипломного проекту є автоматизація електроприводу компресора киснево-компресорного цеху в умовах ПАТ ДМК. Суть полягає в покращенні характеристик компресорної установки та автоматизація її двигуна..

Розроблений проект допоможе вдосконалити процес та зменшити витрати. Це дозволить автоматизувати замкнуту систему керування електроприводом компресора.

Впровадження частотного регулювання електропривода компресора дозволяє:

- підвищити надійність роботи і системи в цілому;
- автоматизувати підтримування заданої величини;
- підвищити точність регулювання;
- зменшити число ремонтів обладнання за рахунок плавного пуску;
- економити електроенергію.

Частотне регулювання ефективно застосовується на підприємствах, в промисловості та комунальних господарствах. Та надає великий спектр переваг при регулюванні асинхронних двигунів:

- підвищений момент та підвищена точність при роботі на низьких швидкостях, поліпшені динамічні характеристики з алгоритмами векторного керування потоком розімкнутої або замкнутої систем приводу;
- модернізація діючих агрегатів відбувається без заміни основного устаткування і практично без перерв в його роботі;
- точність підтримки швидкості і енергозбереження для розімкнутого приводу з синхронним двигуном;
- розширений діапазон вихідної частоти для високошвидкісних двигунів;
- плавне управління незбалансованими механізмами за допомогою системи адаптації потужності від Schneider Electric.

Для обґрунтування економічної доцільності пропонованого в дипломному проекті обладнання необхідно вирішити наступні завдання:

1. Розрахувати капітальні витрати;
2. Розрахувати експлуатаційні витрати;
3. Розрахувати і проаналізувати показники економічної ефективності.

### **5.1 Розрахунок капітальних витрат**

Для визначення капітальних витрат можна скористатися формулою

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}}(\sum Ci) + Z_{\text{тзс}} + Z_{\text{м}} + Z_{\text{н}} + Z_{\text{пр грн.}}$$

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

$Z_{\text{м}}$ - витрати на монтажні витрати;

$Z_{\text{н}}$ - витрати на налагоджувальні витрати;

$Z_{\text{пр}}$ - інші одноразові вкладення грошових коштів.

Капітальні витрати занесені до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1. Зведення капітальних витрат

№п/п	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн.
1	Асинхронний двигун АИР315М2 Рн=200кВт	1	87960	87960
2	Перетворювач частоти Altivar ATV630C20N4F	1	443113 ,55	44311 3,55
3	Автоматичний вимикач А3796	1	3950	3950
4	Запобіжник FU1-FU2	2	77,10	154,2
5	Реле струмове РТ-83/1	2	100	200
7	ТМ - 630/10	2	80000	16000 0
8	Інші витрати		5000	5000
	ВСЬОГ О			695377 ,75

Вартість транспортно-заготівельних і складських витрат ( $Z_{\text{тзс}}$ ) визначається виходячи з:

1. Відстані доставки устаткування від місця придбання до місця експлуатації;
2. Кількості, маси і габаритів устаткування;
3. Виду транспортних засобів;
4. Транспортних тарифів;
5. Розцінок на навантажувально-розвантажувальні роботи;
6. Витрат на складську обробку.

Вартість перевезення устаткування різна. Тому що, всі компоненти придбані в різних магазинах. Доставка перетворювача частоти та трансформатора коштує 450 грн. З урахуванням габаритів устаткування. Автоматичні вимикачі, реле та запобіжники придбані у місцевому магазині.

Витрати на монтажні (  $Z_m$  ) і налагоджувальні роботи (  $Z_n$  ) можна визначити таким чином:

$$Z_m = \sum(C_i \cdot a_i \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{сз} \cdot K_i = (2 \cdot 34,57 \cdot 80) \cdot 1,6 \cdot 1,22 \cdot 1,1 = 11876,59$$

де  $C_i$  - чисельність працівників  $i$ -го розряду, необхідних для виконання певного об'єму монтажних (налагоджувальних) робіт, чол. В даному випадку явочне число робітників 2 особи, так як по техніці безпеки виконувати роботи потрібно двом особам, вони будуть не повністю завантажені, тому будуть виконувати додаткові роботи з іншим обладнанням в цеху.

$a_i$ - часова тарифна ставка 4-го розряду.

Кваліфікаційні розряди	I	II	III	IV	V	VI
Тарифні коефіцієнти	1,0	1,08	1,23	1,35	1,54	1,80
Годинні тарифні ставки, грн.:	22,45	24,25	27,61	30,31	34,57	40,41

$t_i$ -час, необхідний для виконання певного об'єму монтажних (налагоджувальних) робіт, годин.

$K_d$ - коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{сз}$ - коефіцієнт, що враховує відрахування на соціальні заходи;

$K_i$ - коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

Інші одноразові вкладення грошових коштів ( $Z_{пр}$ ) можуть включати витрати:

1. На демонтаж застарілого устаткування;
2. На проведення проектно-конструкторських робіт;
3. На підготовку персоналу;

4. На придбання готового програмного забезпечення.

Капітальні витрати:

$$K_{np} = 695377,75 + 11876,59 + 450 = 707704,34$$

## 5.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

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

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному устаткуванню відносяться:

1. Амортизаційні відрахування ( $C_a$ );
2. Заробітна плата обслуговуючого персоналу ( $C_z$ );
3. Відрахування на соціальні заходи від заробітної плати ( $C_c$ );
4. Витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт устаткування ( $C_t$ );
5. Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування ( $C_e$ );
6. Інші експлуатаційні витрати ( $C_i$ ).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_t + C_e + C_i$$

Розрахунок експлуатаційних витрат ведеться по проектному і базовому варіанту паралельно.

## 5.3 Розрахунок амортизаційних відрахувань

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається у відсотках від суми капітальних витрат по видах основних фондів і нематеріальних активів по розділах зведення капітальних витрат для проектного варіанту і за даними підприємства про балансову вартість замінюваного устаткування для базового варіанту.

$$C_a = 20\% \text{ від } K_{np}$$

$$C_a = \frac{K_{np} \cdot 20\%}{100\%} = \frac{707704,34 \cdot 20\%}{100\%} = 141540,87$$

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

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

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати по формулі:

$$З_{т.р.} = \sum_{i=1}^n R_i \cdot T_i \cdot m_i \cdot R_{\Sigma i} + \frac{s_i \cdot \Pi_i}{T_i} \cdot T_{\Phi}$$

де:  $n$  - число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

$R_i$ - годинна ставка робочих, виконуючих ремонт, грн. (34,57 грн);

$T_i$  - трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту, год/од.: (середнього – 7 год) ;

$m_i$ - число ремонтів за рік;

$R_{\Sigma i}$ - сумарна категорія складності ремонту залежно від виду електроустаткування :

$s_i$  - вартість однотипних замінюваних елементів, грн.;  $\Pi_i$ - кількість однотипних замінюваних елементів;

$T_i$ - середній термін служби деталей цього типу, ч.;

$T_{\Phi}$ - число годин роботи апаратури в рік, ч.

$$З_{т.р.} = 34,57 \cdot 7 \cdot 1 \cdot 1,2 + \frac{550 \cdot 3}{1000} \cdot 1920 = 3458,38$$



## 5.5 Розрахунок вартості спожитої електроенергії

Вартість електроенергії, споживаної об'єктом проектування впродовж року, визначається виходячи з його встановленої потужності і річного фонду робочого часу об'єкту проектування по формулі:

$$C_{e,пр} = W_p \cdot C_e = 466 \cdot 2,7 = 1258 \text{ грн}$$

де:  $W_p$  - кількість спожитої за рік електроенергії, кВт·год.;

$C_e$  - тариф на електроенергію, грн./кВт·год.

2,7 грн./кВт год - вартість електроенергії для підприємств станом на 10.05.2021;

Кількість електроенергії яку споживатиме двигун за рік, розраховуємо по формулі:

$$W_{г.пр} = t_d \cdot t_h \cdot t_n \cdot P_n = 20 \cdot 8 \cdot 12 \cdot 200 = 384000 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

де:  $t_d$  - кількість робочих днів в місяць;  $t_h$  - кількість робочих годин компресора;

$t_n$  - кількість місяців на рік

$P_n$  - потужність електродвигуна.

Таким чином, річні експлуатаційні витрати у проектному варіанті:

$$C_{пр} = C_a + C_c + C_э = 141540,87 + 3458,38 + 1258 = 146257,25 \text{ грн.}$$

## **Висновки**

У розрахунках економічного розділу були отримані значення проектних капіталовкладень – 695377,75 грн.; витрат на монтажні і налагоджувальні роботи – 11876,59; витрати на доставку – 450 грн.; річних експлуатаційних витрат – 13797 грн.; а саме: амортизаційні відрахування – 141540,87 грн.; вартість електроенергії – 1258 грн. споживаної об'єктом проектування впродовж року, витрат на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації – 3458,38 грн.

Таким чином, можна сказати, що роботі по автоматизації електропривода компресорної установки є економічно вигідним рішенням. Це дозволить контролювати швидкість, підвищить надійність роботи і системи в цілому, дозволить економити електроенергію та підвищить точність регулювання.

## ВИСНОВОК

Метою даного дипломного проекту є розгляд питань автоматизації електрообладнання в умовах ПАТ «Дніпровський меткомбінат».

Актуальність теми дипломного проекту не викликає сумнівів оскільки модернізація застарілого електрообладнання стала сьогодні на порядок денний.

В даному дипломному проекті впроваджується новий двигун механізму компресора АИР315М2 та інше електрообладнання: провід, апарати захисту та частотний перетворювач.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Коновалова Л. Л., Рожкова Л. Д. Электроснабжения промышленных предприятий и установок: Учеб. Пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 1989. -528 с.: ил.
2. Липкин Б. Ю. Электроснабжения промышленных предприятий и установок: Учебник для учащихся техникумов. – 3е изд., перераб. и доп. –М.: Высш. школа, 1981, -376с., ил.
3. Зимин Е. Н., Преображенский В. И., Чувашов И. И. Электрооборудования промышленных предприятий и установок. –М.: Энергоатомиздат, 1981- с.352.
4. А.О. Гопак, Л.А. Гришина, В.Г. Григор'єва «Електричний привод». Кривий Ріг, 2007р.
5. Смирнов А. Д., Антипов К. М. Справочная книга энергетика. – М.: Энергоатомиздат, 1988
6. Лут М.Т., Мірошник О.В., Трунова І.М.. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК.: Підручник для студентів ВНЗ. – Харків: Факт, 2008. - 438 с.
7. Гетьман О. О., Шаповал В. М. Економіка підприємства: Навч. посіб. — 2-ге видання. — К.: Центр учбової літератури, 2010. — 488 с.
8. Технічна документація ПАТ «Дніпровський меткомбінат».
9. Правила безопасной эксплуатации электроустановок потребителей.
10. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. – Львів.: Афіша, 2002.
11. Васильчук М.В. та ін. Основи охорони праці. – К.: Просвіта, 1997.
12. ДСН 3.3.6.042-99 Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень
13. СНиП II-2-80 Протипожежні норми проектування будівель та споруд
14. ГОСТ 12.4.004-95 Пожарная безопасность.
15. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ Електробезпека.