

Міністерство освіти і науки України  
Криворізький національний університет  
Електротехнічний факультет

# Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра  
за спеціальністю 141 - Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

## ТЕМА РОБОТИ:

Частотно-регульований електропривод конусної дробарки типу ККД  
1500/180

Виконав: студент групи ЕЕМ-21ск

Олег ЛУКАШКІН

Керівник випускної роботи \_\_\_\_\_ к.т.н., доц. Ігор  
ПЕРЕСУНЬКО

Нормо контролер \_\_\_\_\_ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Декан ЕТФ \_\_\_\_\_ к.т.н., доц. Владислав  
ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми \_\_\_\_\_ к.т.н., доц. Ігор  
ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Пір 2024 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ЛУКАШКІН Олег Дмитрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Модернізація електроприводу дробарки ККД-1500/180 шляхом впровадження частотного керування

1. Термін подання студентом роботи: 10 червня 2024 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Модернізація електроприводу дробарки ККД-1500/180 шляхом впровадження частотного керування. Завданнями досліджень є розробка та проектування автоматизованого електромеханічного комплексу на новій елементній базі
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Характеристика електромеханічної системи, вибір електрообладнання та розрахунок статичних характеристик привода; II. Обґрунтування і розробка системи керування електроприводом; III. Моделювання динамічних режимів роботи привода механізму на ЕОМ.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Загальний вид механізму та технічна характеристика; II. Розрахунок статичних характеристик системи привода; III. Розробка системи керування ПЧ-АД; IV. Обґрунтування системи керування та побудування моделі для дослідження динаміки; V. Дослідження динаміки системи електроприводу -1; VI. Дослідження динаміки системи електроприводу -2

5. Консультанти розділів роботи.

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата. підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Ігор ПЕРЕСУНЬКО		
2	Ігор ПЕРЕСУНЬКО		
3	Ігор ПЕРЕСУНЬКО		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Оформлення відомостей про механізм, кінематику, режим роботи та вид	12.05.2024
2	Вибір системи електродвигуна	16.05.2024
3	Розрахунок потужності та вибір двигуна	25.05.2024
4	Розрахунок ПЧ, вибір силових елементів	30.05.2024
5	Розрахунок параметрів схеми заміщення	02.06.2024
6	Вибір структури системи керування	05.06.2024
7	Моделювання статичних і динамічних режимів	07.06.2024

Дата видання завдання 29.04.2024 р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Олег ЛУКАШКІН

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Ігор ПЕРЕСУНЬКО

## РЕФЕРАТ

70 стор., 12 рис., 5 табл., 15 джер. літератури.

Об'єктом бакалаврської роботи є модернізація приводу дробарки ККД-1500/180 встановленої на дробарній фабриці.

Основна мета: заміна асинхронного двигуна з фазним ротором на систему ТПЧ-АД з к.з. ротором з метою спрощення системи керування та зниження експлуатаційних затрат на обслуговування приводу дробарки.

У бакалаврської роботи виконано огляд дробарки, наведена узагальнююча інформація класифікаційного характеру. Виконаний перевірочний розрахунок системи електроспоживання та електричних навантажень.

Проведено розрахунок дробарки та зроблено вибір приводного двигуна та редуктора. Зроблено розрахунок обраного асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором та проведено розрахунок статичних характеристик. Також побудована математична модель асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором для аналізу динамічних характеристик під час пуску двигуна.

ІНГЗК, ДРОБАРНА ФАБРИКА, ДРОБАРКА, ЕЛЕКТРОПРИВОД, АСИНХРОНИЙ ДВИГУН З КОРОТКО ЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Реферат	Літ.	Арк.	Акрушіє
Розроб.		Лукашкін О. Д.					4	1
Перевір.		Пересунько І. І.						
Реценз.								
Н. Контр.		Пересунько І. І.						
Затверд.		Пересунько І. І.				гр.ЕЕМ-21ск		

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	6
<b>РОЗДІЛ 1: Характеристика електромеханічного об'єкту та його електрообладнання</b>	7
1.1 Загальний огляд ККД-1500/180	8
1.2 Конусні дробарки	10
1.3. Розрахунок конструктивних і технологічних параметрів дробарки	11
1.4 Визначення оптимального варіанту керування двигуном	16
<b>РОЗДІЛ 2: Аналіз системи електропривода технологічного механізму</b>	20
2.1. Вибір редуктора	21
2.2. Розрахунок двигуна	21
2.3. Механічна характеристика асинхронного двигуна	26
2.4. Аналіз теплового стану двигуна	28
2.5. Розрахунок розімкненої системи електропривода	31
2.6. Математична модель асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором	38
2.7. Вибір регулюючого пристрою	40
<b>РОЗДІЛ 3: Електропостачання</b>	49
3.1. Схема електропостачання дробарки	50
3.2. Розрахунок повної потужності споживачів та вибір трансформатора	52
3.3. Розрахунок струмів КЗ вище 1000 В	54
3.4. Вибір апаратури в мережі більше 1000 В	59
3.5 Розрахунок струмів КЗ до 1000	63

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.	3.6	Лукашкін О. Д.		
Перевір.	3.6	Вибір апаратури і	ЗМІСТ	
Реценз.				
Н. Контр.		Пересунько І. І.		
Затверд.		Пересунько І. І.		
Літ.    Арк.    Акрушіє				
5    662				
гр.ЕЕМ-21ск				

струмоведучих частин у мережі до 1000 В	
Список Джерел	69

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<b>ВЄМ/ЄП</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Розроб.</i>		Лукашкін О. Д.					5	2
<i>Перевір.</i>		Пересуňко І. І.				гр.ЕЕМ-21ск		
<i>Реценз.</i>								
<i>Н. Контр.</i>		Пересуňко І. І.						
<i>Затверд.</i>		Пересуňко І. І.						

Криворізький залізорудний басейн розташований в 80—100 км на захід від річки Дніпро, в системі річки Інгулець і її лівих притоках — річок Саксагань, Жовтою і Зеленою. Родовища басейну витягнуті у вигляді вузької смуги в північно-північно-східному напрямі протягом близько 100 км і шириною від 1÷2 км до 6 км (у районі м. Кривий Ріг).

Рудною базою комбінату є неокислені залізисті кварцити IV і V залізистих горизонтів Інгулецької ділянки. Потужність наносів близько 18 м. Кварцити підстилаються гранато-біотито-хлоритовими, хлорито-амфіболовими і хлоритовими сланцями.

Головними мінералами є: магнетит, кварц, амфіболи, карбонати, кумінгтонит. 95% запасів неокислених кварцитів зосереджено в IV залізистому горизонті, який складається з силікатно-магнетитових роговиків (64,8% запасів), магнетитових роговиків (29,8% запасів) і гематито-магнетитових кварцитів (5,4% запасів).

Інгулецький ГЗК (ІнГЗК) введений в експлуатацію в 1965 р. і складається з кар'єру, дробильно-збагачувальної фабрики і допоміжних цехів. Збагачувальна фабрика включає I і II черги, на яких обробка руди здійснюється за однаковими технологічними схемами.

Подрібнення руди виконується в чотири стадії із застосуванням грохочення руди за класом 25 мм перед останньою стадією. Крупне дроблення руди здійснюється за двома потоками: на трьох конусних дробарках ККД-1500/180 і чотирьох конусних дробарках КРД-900/100. Руда першого прийому подрібнення поступає самопливом (через проміжний бункер) в дробарки II стадії. Корпус крупного подрібнення виконаний у вигляді опускного колодязя діаметром 33 м і завглибшки 43,2 м.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Лукашкін О.Д.			Вступ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		Пересунько І. І.					6	1
<i>Н. Контр.</i>		Пересунько І. І.			гр. ЕЕМ-21.ск			
<i>Затверд.</i>		Пересунько І. І.						

# РОЗДІЛ 1

## ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБ'ЄКТУ ТА ЙОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	1.1 Загальний огляд дробарок			
Розроб.		Лукашкін О. Д.			Характеристика	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		пересунько і. і.			електромеханічного		7	8
Реценз.					об'єкту ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06			Арк.
І. Контр.		пересунько і. і.			електрообладнання	гр.ЕЕМ-21ск		8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Затверд.		пересунько і. і.						



Конусні дробарки — це тип обладнання для подрібнення матеріалів, яке використовується в різних галузях промисловості, зокрема в гірничодобувній, будівельній та хімічній. Основне призначення конусних дробарок — дроблення великих шматків гірської породи, руд або інших матеріалів до більш дрібних фракцій.

### Конструкція та принцип роботи

Конусна дробарка складається з двох основних частин:

1. **Нерухомий конус (внутрішній конус):** Закріплений нерухомо на станині.
2. **Рухомий конус (зовнішній конус):** Рухомо прикріплений до валу, який здійснює ексцентричні рухи.

Матеріал подається у верхню частину дробарки і потрапляє між двома конусами. Рухомий конус, здійснюючи ексцентричні рухи, подрібнює матеріал, який поступово спускається вниз під дією гравітації, поки не досягне необхідної величини фракції, після чого виходить через нижній отвір.

### Призначення та використання

Конусні дробарки використовуються для:

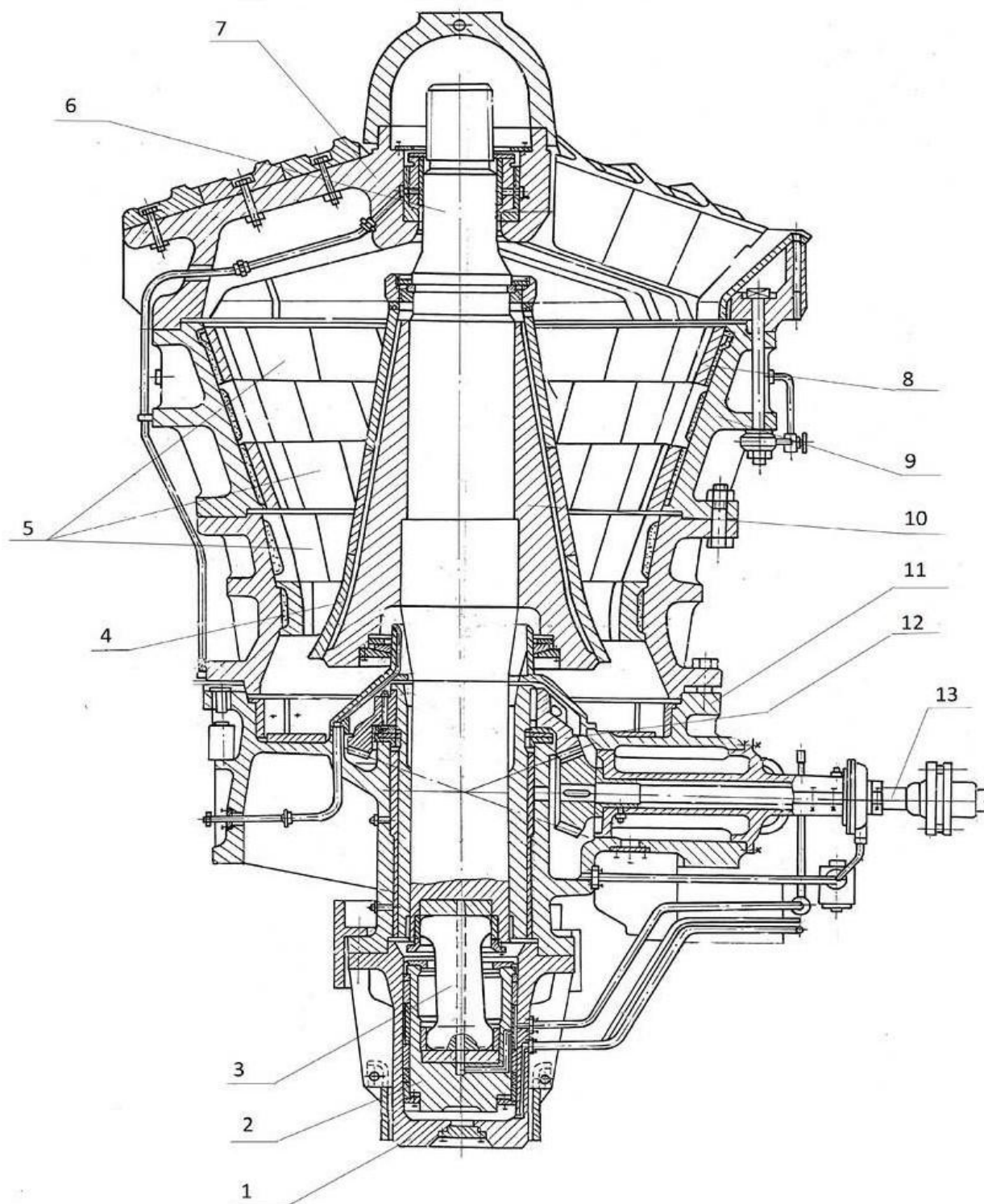
1. **Первинного дроблення:** Дроблення великих шматків матеріалу на більш дрібні фракції.
2. **Вторинного дроблення:** Подальше дроблення матеріалів до ще дрібніших розмірів.
3. **Третинного дроблення:** Для отримання дуже дрібних фракцій.

### Переваги конусних дробарок

1. **Висока продуктивність:** Забезпечують велику продуктивність і можуть обробляти великі об'єми матеріалу.
2. **Рівномірність розміру часток:** Дає рівномірний розмір вихідних фракцій, що важливо для подальших виробничих процесів.
3. **Довговічність:** Міцна конструкція і висока зносостійкість.
4. **Енергоефективність:** Високий коефіцієнт корисної дії у порівнянні з іншими типами дробарок.

### Конструкція уніфікованої дробарки конусної крупного дроблення ККД-1500/180

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



1-Циліндр гідравлячний, 2-Поршень, 3-Опорний вал, 4-Броня дробильного конуса, 5-Сигменти броні дробильної чаші, 6- Вал дробильного конуса, 7-Траверса, 8-Броня дробильної чаші, 9-Дробильна чаша, 10-Дробильний конус, 11-Станина, 12-Ексцентрик, 13- Вал приводний.

### Застосування

Конусні дробарки використовуються в:

- **Гірничодобувній промисловості:** Дроблення руд (залізних, мідних, золотих та ін.).
- **Будівельній промисловості:** Подрібнення каменю для виробництва щебеню та інших будівельних матеріалів.
- **Хімічній промисловості:** Подрібнення різних матеріалів для подальших хімічних процесів.
- **Металургії:** Підготовка сировини для плавильних процесів.

Конусні дробарки є невід'ємною частиною виробничих процесів у багатьох галузях, забезпечуючи ефективно і надійно дроблення матеріалів різної твердості та розмірів.

## 1.2 Конусні дробарки

Конусні дробарки є найбільше розповсюдженні дробильними машинами, використовуються на всіх стадіях дроблення гірничих порід. Процес дроблення в цих дробарках проходить безперервно. Матеріал дробиться між двома конусами: рухомий і нерухомий, який здійснює коливальний круговий рух, внаслідок чого ті, що утворюють цих конусів, то зближуються, то розходяться.

Конусні дробарки середнього та дрібного дроблення застосовуються для дроблення гірських порід з межею міцності на стискання, що не перевищує 300 МПа.

Основними перевагами цих дробарок є їх велика продуктивність та рівномірність продукту дроблення. Для всіх цих дробарок характерною є відсутність траверси для підвішування рухомого конуса та опирання його на сферичний підп'ятник або на деталі гідравлічного пристрою. Залежно від конфігурації камери дроблення та розмірів завантажувального відтвору, розвантажувальної щілини розрізняють дробарки середнього та дрібного дроблення. Типорозмір конусних дробарок середнього і дрібного помолу характеризується діаметром основи рухомого конуса, що дробити, який вказується у міліметрах у позначеннях дробарок. Вітчизняною промисловістю серійно випускається ряд дробарок з діаметром конуса 600, 900, 1200, 1700, 2200, 2500, 3000 мм у виконанні Гр- грубе та Т – тонке.

### 1.2.1 Вибір типорозміру дробарки

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідними даними для вибору типорозміру дробарки є максимальний розмір куска вихідного матеріалу і требуємий максимальний розмір продукту дроблення.

Ширина приймального отвору на відкритій стороні знаходиться з виразу:

$$B = \frac{D_{max}}{0.85} = \frac{350}{0.85} = 411.76 \text{ мм, \#(1.1)}$$

Де:  $D_{max}$ - максимальний розмір куска вхідного матеріалу = 350 мм<sup>2</sup>

Розмір вихідної щілини при відкритому циклі дроблення вибирається по заданому максимальному розміру продукту дроблення із наступного співвідношення:

$$b = \frac{d_{max}}{k_{ок}} = \frac{180}{1.2} = 150 \text{ мм\#(1.2)}$$

### 1.3 Розрахунок конструктивних і технологічних параметрів дробарки

#### Хід дробящего конуса

Хід дробящего конуса рівний двійному ексцентрику:  $S = 2 \cdot r$ .

Ширина випускної щілини в замкненому стані рівна:

$$b_0 = b - S = b - 2 \cdot r = 1500 - 2 \cdot 0.021 = 1458 \text{ \#(1.3)}$$

**Таблиця 1.1: Характеристики дробарок**

Параметри	Типорозмір дробарки				
	ККД-500/75	ККД-900/130	ККД-1200/150	ККД-1500/180	ККД-1500/300
Найбільша крупність завантажуваних кусків матеріала, мм	400	750	1000	1200	1200
Ширина приймального отвору, мм	500	900	1200	1500	1500
Номінальна ширина розвантажувальної					

щілини в разімкненому стані, мм	75	130	150	180	300
Продуктивність при номінальній развнтажувальній щілині, м <sup>3</sup> /ч	150	320	560	1150	2300
Діаметр основи конуса, мм	1220	1640	1900	2500	3250
Ексцентриситет вала, мм	14	16	20	21	21,5
Число коливань рухомого конуса, об/с	2,6	2	1,6	1,3	1,3
Потужність електродвигуна, кВт	125(132)	250	2×200(320)	2×315(400)	2×400(400)
Масса без електрооборудованія, т	45(39)	150(148)	240(254)	420(410)	615(611)
Габаритні розміри, мм					
довжина	3330	6940	12070	13410	14920
ширина	2450	3940	4640	5894	6150
висота	3540	5440	6545	7600	8280

### 1.3.1 Число обертів вала дробящего конуса

Число обертів вала рухомого дробящего конуса знаходиться за формулою:

$$n = 0.78 \cdot k_{cm} \cdot \sqrt{\frac{tg\beta_1 + tg\beta_2}{r}} = 0.78 \cdot 0.9 \cdot \sqrt{\frac{14 + 9}{0.021}} = 3.09 \frac{об}{с} \#(1.4)$$

									Арк.
									12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06				

$k_{cm}$  - поправочний коефіцієнт на стиснене випадання матеріала.

$$k_{cm} = 0,9 \div 0,95$$

$\beta_1$  - кут нахилу нерухомого конуса.  $\beta_1 = 14 \div 17^\circ$

$\beta_2$  - кут нахилу рухомого конуса.  $\beta_2 = 9 \div 12^\circ$

$r$  - ексцентриситет вала, м.

### 1.3.2 Продуктивність дробарки

Для визначення теоретичної продуктивності конусних дробарок крупного дроблення може бути використана формула:

$$Q = \frac{2 \cdot \pi \cdot D_k \cdot n \cdot r \cdot \mu \cdot (b_0 + r)}{\operatorname{tg} \beta_1 + \operatorname{tg} \beta_2} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 2,5 \cdot 3,09 \cdot 0,021 \cdot 0,4 \cdot (1,458 + 0,021)}{\operatorname{tg}(14) + \operatorname{tg}(9)} = 1,47 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} \quad (1.5)$$

де  $D_k$  - діаметр основи дробящего конуса, м;

$n$  - число обертів вала, об/с;

$r$  - ексцентриситет вала, м;

$\mu$  - коефіцієнт розрихлення матеріала.  $\mu = 0,4 \div 0,5$

$b_0$  - ширина вихідної щілини в замкненому положенні, м;

$\beta_1$  и  $\beta_2$  - кути нахилу конусов, град

### 1.3.3 Потужність привода дробарки

Потужність привода конусної дробарки крупного дроблення визначається за формулою:

$$N = \frac{\pi^2 \cdot \sigma^2 \cdot D_k}{0,01224 \cdot E \cdot \eta} \cdot (D_{cb}^2 - d_{cb}^2) \cdot n \cdot k_{pr} \# (1.6)$$

де  $\sigma$  - тимчасовий супротив стискання вихідного матеріала, МПа = 150 МПа;

$D_k$  - діаметр основи дробящего конуса, м;

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

$E$  - модуль пружності матеріалів, МПа;  $E=220 \text{ ГПа} = 220000 \text{ МПа}$

$\eta$  - механічний ККД привода,  $\eta=0,75 \div 0,85$ ;

$D_{св}$  и  $d_{св}$  - середневзвешенный розмір вихідного матеріалу і продукту дроблення, м;

$n$  - число обертів дробящего конуса, об/с;

$k_{np}$  - поправочний коефіцієнт, враховуючий зміни прочності матеріала зі змінням його крупності.

Значення коефіцієнта знаходяться по табл.16. Останні параметри мають значення.

**Таблица 1.2: Значення коефіцієнта  $k_{np}$**

Середневзвешенный розмір матеріала, мм	100	150	210	270	360	450
$k_{np}$	1,4	1,3	1,2	1,0	0,85	0,8

Середневзвешені розміри матеріала знаходяться по наступним формулам:

$$D_{cb} = (0.3 - 0.4) \cdot B \# (1.7)$$

$$D_{cb} = 0.3 \cdot 411 = 123$$

$$b_{cb} = (0.65 - 0.75) \cdot b \# (1.8)$$

$$b_{cb} = 0.65 \cdot 150 = 97,5 \text{ мм}$$

(для дробарок з шириною приймального отвору 900 мм і більше).

Тоді:

$$N = \frac{\pi^2 \cdot 38.34^2 \cdot 2.5}{0.01224 \cdot 220000 \cdot 0.75} \cdot (0,123^2 - 0,0975^2) \cdot 3.09 \cdot 0.85 = 389 \text{ кВт} (1.9)$$

Обираю максимально приближене значення потужності двигуна = 400 кВт

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

### 1.3.4 Визначення навантажень в елементах дробарки

#### Зусилля дроблення

Зусилля дроблення в конусних дробарках великого дроблення може бути розраховане за формулою для дробарок середнього та дрібного дроблення. У ряді випадків зусилля дроблення знаходиться за величиною потужності електродвигуна приводу дробарки.

#### Навантаження в опорах рухомого конуса

Для розрахунку міцності деталей дробарки необхідна кількісна оцінка зусиль, що виникають при дробленні. Ці зусилля можуть бути визначені виходячи з рівності моментів активних і реактивних сил, прикладених до ексцентрика дробарки (рис.1,1).

При встановленому режимі роботи переданий двигуном момент, що крутить, в першому наближенні врівноважується моментом опору від реакції ексцентрика і моментами сил тертя в опорах (рис.1,1).

$$M_{кр} = 159.412 \cdot \frac{N_{дв}}{n_{дв}} \cdot i \cdot \eta = 159.412 \cdot \frac{400}{3.09} \cdot 7.975 \cdot 0.9 = 148133.87 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (1.10)$$

$N_{дв}$  - потужність електродвигуна приводу, кВт;

$n_{дв}$  - число обертів електродвигуна, об/с;

$i$  - передатчне відношення від двигуна до ексцентрику;

$\eta$  - механічний ККД привода.  $\eta=0,9$ .

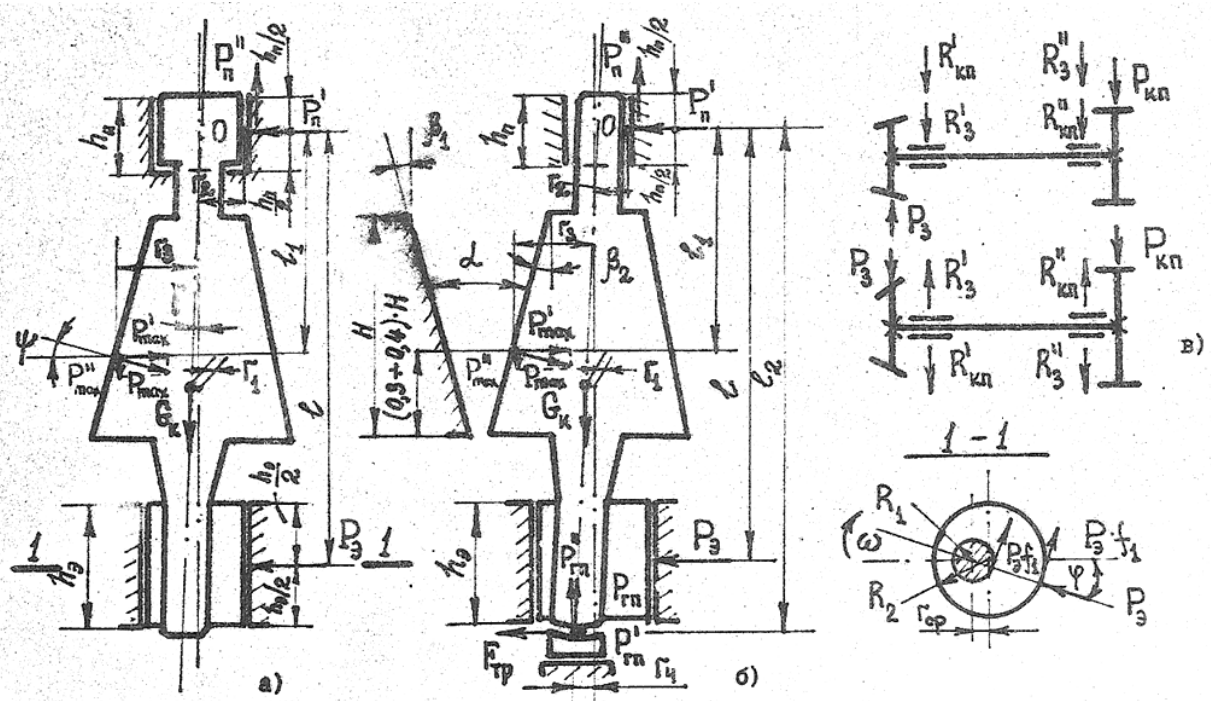




Рис.1.1. Розрахункові схеми визначення навантажень в елементах конусних дробарок великого дроблення: а-з верхнім підвісом; б-з гідрорегулювання щілини; в-приводу валу

Рухомий конус розглядається як балка, навантажена власною вагою (масою) та рівнодією сил дроблення. Рівнодійна сил дроблення прикладена на відстані однієї третини висоти корпусу конуса, рахуючи від низу, і спрямована приблизно під кутом  $20\div 30^\circ$ , випереджаючи площину ексцентрика.

Схема навантажень і реакцій опор рухомого конуса, у якому використано верхній конічний підвіс та нижня сферична опора, показано на рис. 1,1.

#### **1.4. Визначення оптимального варіанту керування двигуном**

##### **ПРЯМИЙ ПУСК ДВИГУНА**

Прямий пуск асинхронного двигуна— це метод запуску електродвигуна, при якому він підключається безпосередньо до мережі живлення. У цьому випадку двигун отримує повну напругу живлення відразу при запуску.

##### **Плюси прямого пуску асинхронного двигуна:**

*Простота і економічність:* Найпростіший і найдешевший спосіб запуску електродвигуна, не потребує складного обладнання.

*Надійність:* Менша кількість компонентів знижує ймовірність поломок і спрощує технічне обслуговування.

*Легкість в реалізації:* Простота схемного рішення дозволяє легко впровадити систему в промислових та інших застосуваннях.

##### **Мінуси прямого пуску асинхронного двигуна:**

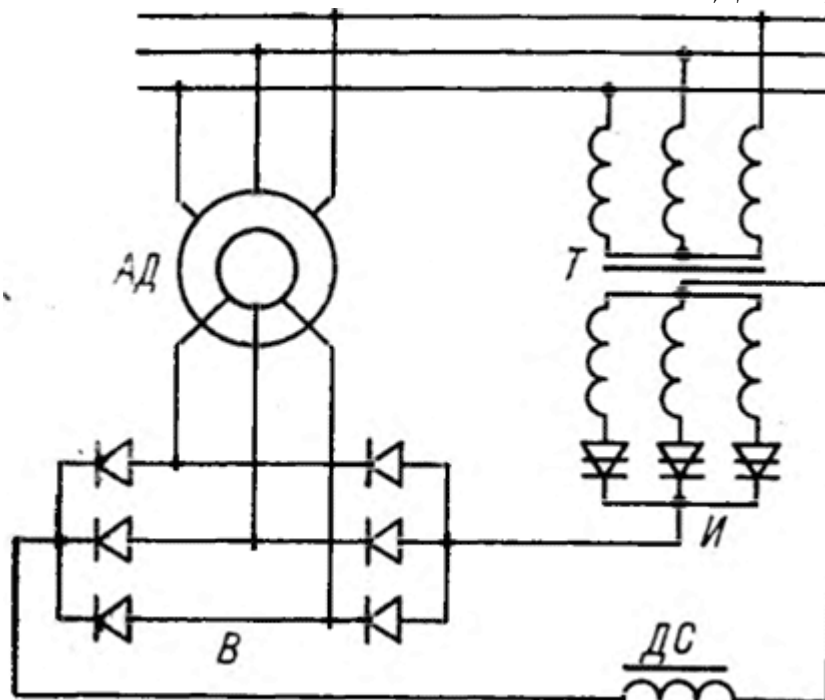
*Високий пусковий струм:* Під час прямого пуску двигун споживає струм, який може бути в 5-7 разів більшим за номінальний струм, що створює високі навантаження на електричну мережу та може спричинити її перевантаження.

*Механічні навантаження:* Різкий початок обертання може призвести до підвищеного зносу механічних компонентів двигуна і приводного механізму.

*Перепади напруги:* Високий пусковий струм може викликати суттєві перепади напруги в мережі, що може негативно впливати на інше обладнання.

Обмеження для великих двигунів: Для потужних двигунів прямий пуск може бути неприйнятним через значні пускові струми та механічні навантаження, тому використовують інші методи запуску (наприклад, частотні перетворювачі, автотрансформаторні пуски тощо).

### ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЧАСТОТИ ТИПУ АВК ДЛЯ АД



Асинхронний вентильний каскад (далі – АВК) призначений для керування пуском та регулювання швидкості асинхронного двигуна з фазним ротором.

Використання АВК у складі приводу дозволяє забезпечити наступні *режими роботи*:

- пуск від нуля до заданої швидкості обертання з обмеженням пускового струму;
- руховий режим приводу з рекуперацією енергії ковзання в мережу живлення;
- безступінчасте регулювання швидкості;
- підтримання заданого значення частоти обертання з точністю не гірше 1%;
- режими місцевого/дистанційного керування;
- обмеження темпу наростання струму двигуна для обмеження динамічних навантажень у механізмі;

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

- виявлення, ідентифікацію та запобігання подальшому розвитку аварійних процесів в АВК, двигуні та супутньому устаткуванні;
- діагностику, безперервний контроль та індикацію параметрів, що характеризують роботу електроприводу;
- індикація вихідних параметрів у режимі реального часу з фіксацією часу виникнення аварійного режиму.

## ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ

Пуск асинхронного двигуна через частотний перетворювач (частотно-регульований привід, ЧРП) є сучасним і ефективним методом управління роботою електродвигуна. Частотний перетворювач дозволяє плавно регулювати швидкість обертання двигуна за рахунок зміни частоти і напруги живлення.

### **Плюси пуску двигуна через частотний перетворювач:**

*Плавний пуск і зупинка:* Частотний перетворювач дозволяє плавно збільшувати і зменшувати швидкість двигуна, що знижує механічні навантаження на двигун і обладнання.

*Зниження пускових струмів:* При запуску через ЧРП двигун споживає менше струму порівняно з прямим пуском, що знижує навантаження на електромережу.

*Енергозбереження:* Частотний перетворювач дозволяє регулювати швидкість двигуна відповідно до потреб технологічного процесу, що може суттєво знизити споживання енергії.

*Підвищена надійність і термін служби обладнання:* Плавний пуск і регулювання швидкості зменшують знос механічних компонентів і продовжують термін служби як самого двигуна, так і прив'язаного до нього обладнання.

*Гнучкість і точність управління:* Можливість точно регулювати швидкість обертання дозволяє оптимізувати роботу системи під конкретні вимоги, що особливо корисно в складних технологічних процесах.

*Функції захисту:* Багато частотних перетворювачів мають вбудовані функції захисту від перенапруги, перевантаження, короткого замикання тощо.

### **Мінуси пуску двигуна через частотний перетворювач:**

*Висока вартість:* Частотні перетворювачі можуть бути дорогими, особливо для великих потужностей, що підвищує загальні витрати на систему.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

*Складність в установці і налаштуванні:* Встановлення і налаштування частотного перетворювача вимагає спеціалізованих знань і може потребувати більше часу і зусиль.

*Вимоги до якості електроживлення:* Частотні перетворювачі можуть бути чутливими до якості електроживлення, і для їх нормальної роботи може знадобитися додаткове обладнання, таке як фільтри.

*Електромагнітні завади (ЕМІ):* Частотні перетворювачі можуть створювати електромагнітні завади, що впливають на роботу інших електронних пристроїв, і потребують вжиття заходів для зниження ЕМІ.

*Втрати в перетворювачі:* Хоча ЧРП допомагає знизити загальні енергетичні витрати, він сам споживає деяку кількість енергії, що призводить до додаткових втрат.

## РОЗДІЛ 2

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Лукашкін О.Д.			Аналіз системи електропривода технологічного механізму	Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Пересунько І.І.					20	29
Реценз.						гр.ЕЕМ-21ск		
Н. Контр.		Пересунько І. І.						
Затверд.		Пересунько І. І.						

# АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТЕХНОЛОГІЧНОГО МЕХАНІЗМУ

## 2.1 ВИБІР РЕДУКТОРА

Передатне число редуктора:

$$IP = \frac{n_H}{n_{BE}} = \frac{590}{80} = 7.975 \# (2.11)$$

Вибираємо редуктор **РЦТ – 2150–8–М** передатнім числом  $I_p = 7,9$ .

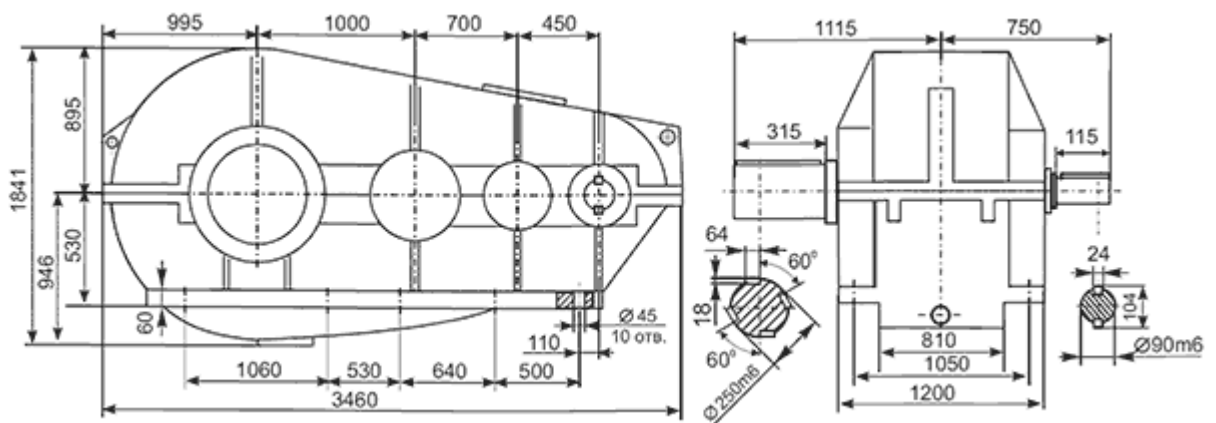


Рис1.2 Креслення редуктора РЦТ-2150-8-М

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

## 2.2 РОЗРАХУНОК ДВИГУНА

Приймаємо асинхронний двигун з коротко замкненим ротором з номінальними параметрами:

Тип: ВАН 14-31-10

$P_H = 400$  кВт – номінальна потужність двигуна;

$n_H = 590$  об/хв. – швидкість обертання ротора двигуна;

$n_0 = 600$  об/хв. – синхронна частота обертання ротора двигуна;

$U_H = 6000$  В – номінальна напруга на статорі двигуна;

$\eta_H = 91,5$  % – ККД двигуна;

$\cos \varphi_{НОМ} = 0,85$  – коефіцієнт потужності;

$n_E = 80$  об/хв. – частота обертання ексцентрика конусної дробарки;

$M_K = M_{п} / M_{НОМ}$  – коефіцієнт пускового моменту;

$M_K = 1,3$ ;  $K_I = I_{п} / I_{НОМ}$  – номінальна кратність пускового струму;

$K_I = 6,5$ ;

$b_{НОМ} = M_{Макс} / M_{НОМ}$  – кратність максимального моменту;

$b_{НОМ} = 2,5$ .

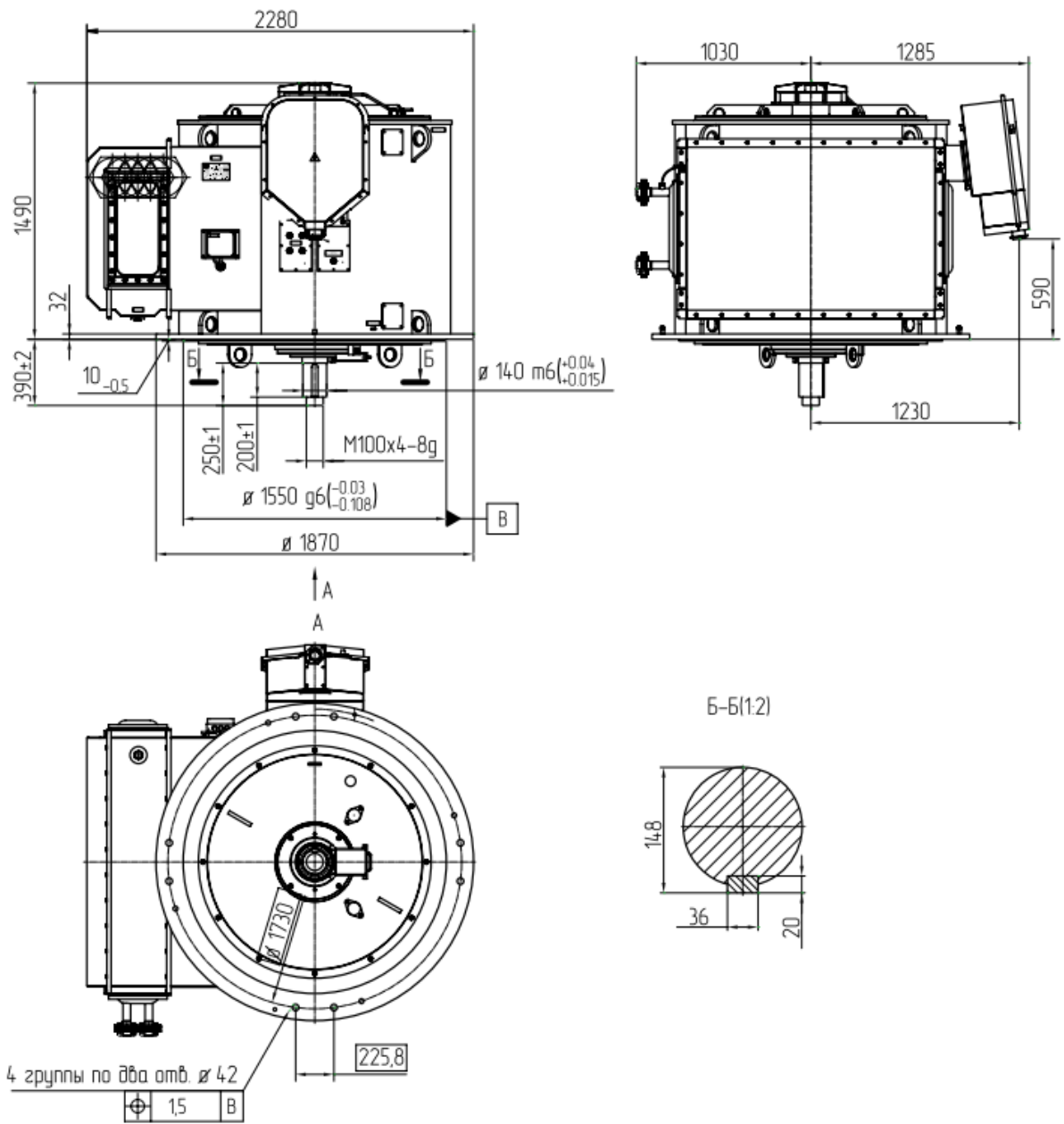


Рис.1.3 Креслення двигуна ВАН-14-31-10

Номінальне ковзання:

$$S_H = \frac{(n_H - n_0)}{n_0} = 0,02; \#(2.12)$$

де  $n_0$  – синхронна швидкість обертання двигуна.

$$S_H = (600 - 590) / 600 = 0,01667.$$

Критичне ковзання:

$$S_{KP} = \frac{b_{НОМ}}{M_K} - \sqrt{[(b_{НОМ} / M_K)^2 - 1]} =$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$= \frac{2,5}{1,3} - \sqrt{\left[\left(\frac{2,5}{1,3}\right)^2 - 1\right]} = 0,28045 \# (2.13)$$

Номінальний момент на валу асинхронного двигуна:

$$M_{ном} = \frac{(9,550 \cdot P_H)}{n_H} n_H = \frac{9,55 \cdot 400000}{590} = 6474,576 \text{ Н} \cdot \text{м} \# (2.14)$$

Номінальна кутова швидкість обертання валу асинхронного двигуна:

$$\omega_H = \pi \cdot n_H / 30 = \pi \cdot 590 / 30 = 61,753 \text{ с}^{-1} \quad (2.15)$$

Для розрахунку асинхронного двигуна використовуємо спрощену схему заміщення, що зображена на рис. 2.1.

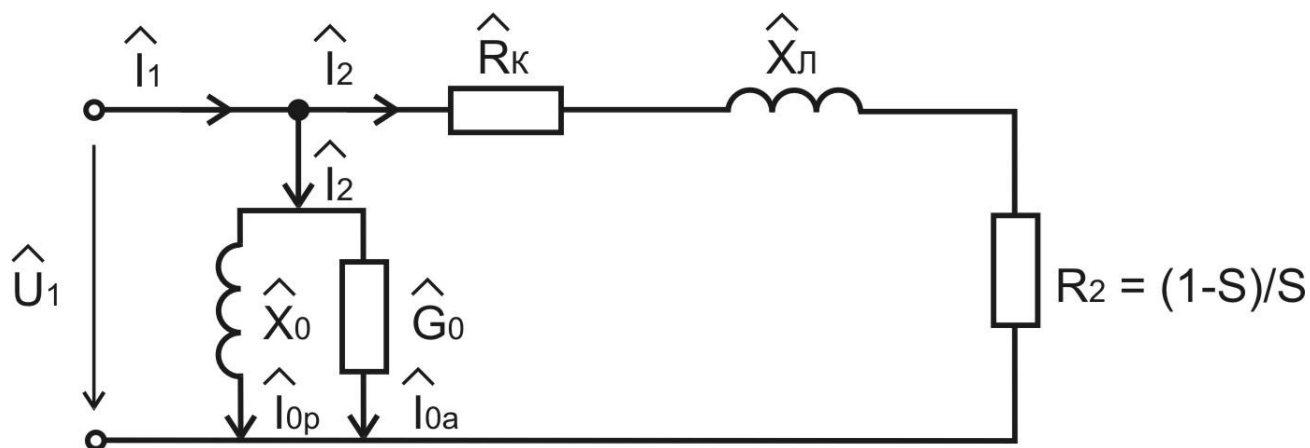


Рисунок 2.1 – Схема заміщення асинхронного двигуна

Одним з найважливіших параметрів, що характеризує номінальний режим роботи асинхронного двигуна є відповідні номінальні значення приведенного струму ротора  $I'_{2ном}$  та струму намагнічування  $I'_{0ном}$ . Знаходимо значення  $I'_{2ном}$  та  $I'_{0ном}$  за каталожними даними номінального струму статора  $I_{1ном}$ , кратності максимального моменту  $b_{ном}$  та номінальним коефіцієнтом потужності  $\cos \varphi_{ном}$ .



Визначаємо значення базисної потужності:

$$S_{\text{БАЗ}} = \frac{P_{\text{H}}}{(\cos\varphi \cdot \eta_{\text{H}})} = \frac{400000}{0,85 \cdot 0,915} = 514,304 \text{ кВт} \#(2.16)$$

Знаходимо номінальний приведений струм ротора:

$$\begin{aligned} I'_{2\text{НОМ}} &= \frac{\sqrt{\frac{2 \cdot b_{\text{НОМ}}}{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}}}}{\cos\varphi} \cdot I_{1\text{НОМ}} \\ &= \sqrt{\frac{2 \cdot 2,5}{2,5 + \sqrt{2,5^2 - 1}}} \cdot 28,572 \cdot 0,915 = 23,9 \text{ А} \end{aligned} \quad (2.17)$$

де  $I_{1\text{НОМ}}$  – номінальний струм статора;

$$I_{1\text{НОМ}} = \frac{S_{\text{БАЗ}}}{3 \cdot U_{\text{H}}} = \frac{514,304}{3 \cdot 6000} = 28,572 \text{ А} \#(2.18)$$

Знаходимо  $\Gamma'_{\text{оНОМ}}$ :

$$I_{0\text{НОМ}} = I_{1\text{НОМ}} \cdot \frac{\sin\varphi \cdot \cos\varphi}{b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}} = 28,572 \cdot \frac{0,053 \cdot 0,9}{2,5 + \sqrt{2,5^2 - 1}} = 0,26 \text{ А} \#(2.19)$$

Де:

$$\begin{aligned} \sin\varphi &= \frac{1}{\sqrt{2 \cdot b_{\text{НОМ}}(b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1})}} = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot 2,5(2,5 + \sqrt{2,5^2 - 1})}} \\ &= 0,053695 \end{aligned}$$

За кратністю початкового пускового струму знаходимо повний опір двигуна при нерухомому роторі:

$$Z_{k1} = \frac{U_{\text{H}}}{\sqrt{3} \cdot K_{\text{I}} \cdot I_{1\text{НОМ}}} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 6,5 \cdot 28,572} = 20,498 \text{ Ом} \#(2.21)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За кратністю початкового пускового моменту знаходимо приведений активний опір ротора при ковзанні  $S = 1$ :

$$R_{21} = \frac{P_n + \Delta P_{\text{мех}} \cdot M_k}{3 \cdot (1 - S_{\text{НОМ}})} \cdot K_I \cdot I_{1\text{НОМ}} \#(2.22)$$

де

$$\Delta P_{\text{МЕХ}} = 0,01 P_H ; \#(2.23)$$

$$\Delta P_{\text{МЕХ}} = 0,01 \cdot 400000 = 4000 \text{ Вт} .$$

Тоді:

$$R_{21} = \frac{400000 + 4000 \cdot 1,3}{3 \cdot (1 - 0,02)} \cdot 6,5 \cdot 28,5722 = 6,25 \text{ Ом}$$

Визначаємо приведений активний опір ротора при  $S = 0$ , приймаючи конструкційний коефіцієнт  $c_1 = 1,03$ :

$$\begin{aligned} R_{20} &= \frac{U^2 \cdot (1 - S_H)}{2c_1 \cdot (P_H + \Delta P_{\text{МЕХ}}) \cdot b_{\text{НОМ}}} \cdot \frac{1 + c_1}{S_H \cdot b_{\text{НОМ}} + \sqrt{b_{\text{НОМ}}^2 - 1}} \\ &= \frac{6000^2 \cdot (1 - 0,02)}{2 \cdot 1,03 \cdot (40000 + 4000) \cdot 2,5} \cdot \frac{1 + 1,03}{400000 \cdot 2,5 + \sqrt{2,5^2 - 1}} \\ &= 0,6287 \text{ Ом} \end{aligned}$$

Так як двигун розрахований на напругу 6000 В, то приймаємо:

$$R_1 = R'_{20}, \text{ Ом} ;$$

$$R_1 = 0,6287 \text{ Ом} .$$

Знаючи ККД та опір обмотки статора  $R_1$  та табличними даними можна також визначити деякі втрати потужності двигуна.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

Приймаємо додаткові втрати двигуна:

$$\Delta P_{\text{д}} = 0,005 P_{\text{Н}}; \quad (2.25)$$

$$\Delta P_{\text{д}} = 0,005 \cdot 400000 = 2000 \text{ Вт}.$$

Втрати в обмотці статора та додаткові втрати:

$$\Delta P_{1\text{Н}} = \Delta P_{\text{д}} + \Delta P_{1\text{М}}, \quad (2.26)$$

де  $\Delta P_{1\text{М}}$  – втрати в міді в обмотці статора, Ом;

$$\Delta P_{1\text{М}} = 3 I_{1\text{НОМ}}^2 \cdot R_1 = 3 \cdot 28,572^2 \cdot 0,6287 = 1,275 \text{ кВт}. \quad (2.27)$$

Втрати в роторі:

$$\Delta P_2 = \frac{(P_{\text{Н}} + \Delta P_{\text{МЕХ}}) \cdot S_{\text{Н}}}{1 - S_{\text{Н}}} = \frac{(400000 + 4000) \cdot 0,02}{1 - 0,02} = 8,244 \text{ кВт} \# (2.28)$$

Сумарні втрати в двигуні:

$$\Delta P_{\Sigma\text{Н}} = \frac{P_{\text{Н}} (1 - \eta_{\text{Н}})}{\eta_{\text{Н}}} = \frac{40000 (1 - 0,915)}{0,915} = 20000 \text{ Вт}. \# (2.29)$$

Втрати в сталі статора:

$$\begin{aligned} \Delta P_{1\text{СН}} &= \frac{\Delta P_{\Sigma\text{Н}} - (\Delta P_{1\text{М}} + \Delta P_{\text{д}} + \Delta P_{\text{МЕХ}} + (0,01 P_{\text{Н}} \cdot S_{\text{Н}}))}{1 - S_{\text{Н}}} \\ &= 20000 - \left( 1275 + 2000 + 4000 + \frac{80}{0,98} \right) \\ &= 20000 - 7353,4 = 12646,6 \text{ Вт} \end{aligned}$$

### 2.3 МЕХАНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Побудуємо механічну характеристику асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

Для зображення робочої частини характеристики достатньо використати формулу Клосса. Отже:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$M_B = \frac{2 \cdot M_{\text{кр}} \cdot (1 + \alpha \cdot S_{\text{кр}})}{S / S_{\text{кр}} + S_{\text{кр}} / S + \alpha \cdot S_{\text{кр}}} ; \text{ Н} \cdot \text{ м} \quad (2.31)$$

де  $M_B$  – момент на валу двигуна, Н·м ;

$M_{\text{кр}}$  – критичний момент асинхронного двигуна, Н·м .

$$\alpha = \frac{R_1}{R'_{21}} = \frac{0,6287}{6,2547} = 0,1 \# (2.32)$$

де  $R_1$  – опір статора, Ом ;

$$R_1 = 0,6287 \text{ Ом} ;$$

$R'_{21}$  – приведений активний опір ротора, Ом ;

$$R'_{21} = 6,2547 \text{ Ом} ;$$

$$M_{\text{кр}} = \frac{3 \cdot U^2}{2\omega_n \cdot R_1 + \sqrt{Z_{K1}}} = \frac{3 \cdot 6000^2}{2 \cdot 590 \cdot (0,6287 + \sqrt{20,498})} = 10686,61 \text{ Н} \cdot \text{ м} \# (2.33)$$

Тоді:

$$M_B = \frac{2 \cdot 10686,61 \cdot (1 + 0,1 \cdot 0,28045)}{\frac{S}{0,28045} + \frac{0,28045}{S} + 0,1 \cdot 0,28045} \# (2.34)$$

За отриманим рівнянням будемо механічну характеристику двигуна:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

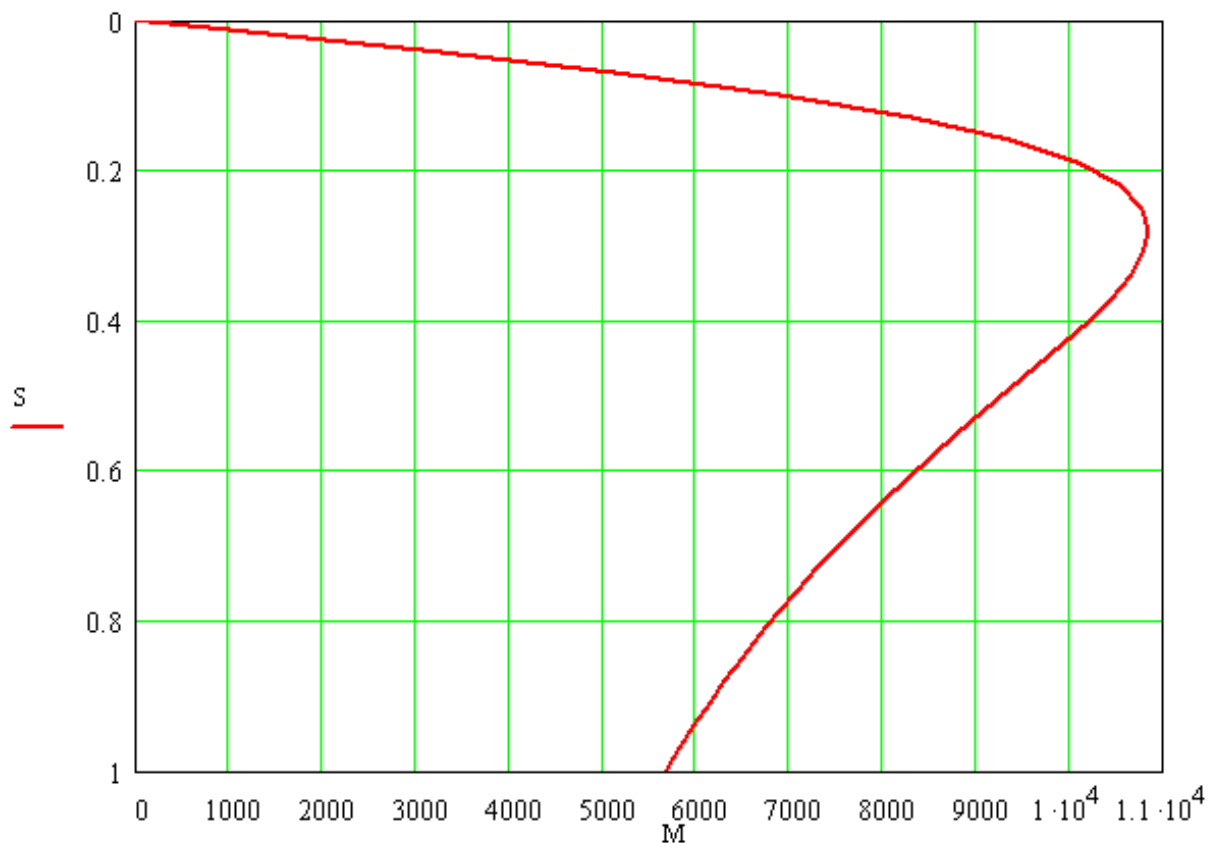


Рисунок 2,2 – Механічна характеристика асинхронного двигуна

## 2.4 АНАЛІЗ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ДВИГУНА

### 2.4.1 ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

При визначенні допустимості того або іншого перевантаження за умовами нагрівання потрібно виходити зі збереження терміну служби ізоляції, і як наслідок, із гранично припустимих температур. Справа в тому, що частина часу двигун працює при температурі обмоток нижче тої, що допускається нормами. У такі періоди ізоляція перебуває в більш сприятливих умовах, і за рахунок «недовикористання» її в ці періоди можуть допускатися перевантаження в інші періоди при загальному збереженні необхідного терміну служби ізоляції двигуна.

Як відомо, відносно невелике підвищення температури ізоляції істотно позначається на її терміні служби.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Двигуни, що працюють із постійним навантаженням і при невеликому числі пусків, можуть перевантажуватися по технологічних причинах, при перехідних режимах у мережі, при пуску під навантаженням, при обриві однієї фази й при поломці механізму або заклинюванні вала в підшипниках.

Перевантаження по технологічних причинах мають місце при надмірному завантаженні механізму сировиною, при неправильно встановленому режимі, наприклад при роботі димососа на холодному повітрі з відкритими шиберами. Ці перевантаження легко можуть бути усунуті шляхом припинення або зменшення подачі сировини в механізм, закриття шиберів і т.д.

Небезпечним перевантаженням є пуск двигуна під навантаженням у тих випадках, коли двигун не розрахований на такий пуск. У цих випадках двигун не може розгорнутися й неминуче буде ушкоджений, якщо не буде вчасно відключений від мережі. Таке перевантаження може мати місце також при самозапуску таких двигунів у процесі відновлення напруги мережі після відключення короткого замикання.

#### **2.4.2. ПРОЦЕС НАГРІВАННЯ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ ОБМОТОК**

При вирішенні питань, пов'язаних з перевантаженнями, необхідно знати температуру обмоток. При строгому аналізі процесів нагрівання й охолодження обмотки електродвигуна повинні розглядатися як складне тіло, тому що теплові параметри металу обмотки, ізоляції й стали неоднакові. Нагрівання обмоток відбувається не тільки за рахунок втрат, що виділяються в самій обмотці, але й за рахунок втрат в активній сталі статора й нагрівання, викликаного тертям об повітря.

При обліку всіх зазначених факторів, особливо при перехідних явищах, значно ускладнюється аналіз. Однак з достатньої для практичних цілей точністю можна застосовувати рівняння нагрівання, виведені для однорідного тіла,

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нагрівання якого відбувається за рахунок втрат, що виділяються в ньому. Для спрощення приймаємо, що втрати енергії в тілі й коефіцієнт тепловіддачі від поверхні тіла не залежать від його температури, що приймається однаковою для всього тіла і його поверхні.

За даних умов маємо наступне диференціальне рівняння нагрівання:

$$\Delta P_{at} = \alpha F \Delta \vartheta_{at} + c G d\vartheta \quad \#(2.35)$$

де  $\Delta P$  — втрати потужності, виділені в тілі, Вт; коефіцієнт теплопередачі  $\alpha$ , Вт/(см<sup>2</sup>·°С), і питому теплоємність  $C$ , Дж/кг, вважаємо не залежними від температури тіла  $\Theta$  і її перевищення  $\Delta\Theta$  над температурою навколишнього середовища. Тут  $\Delta P_{at}$  — енергія електричних втрат, що виділилася за час  $t$ , Дж;  $\alpha F \Delta \vartheta_{at}$  — відведена за те ж час назовні через поверхню тіла  $P$ , див<sup>2</sup>, тепла енергія, Дж;  $c G d\vartheta$  — тепла енергія, Дж, що йде на підвищення температури тіла, що має масу  $G$ , кг.

Постійна часу не залежить від потужності, виділюваної в тілі, і визначається відношенням повної теплоємності тіла до його здатності розсіювати теплоту.

Постійна часу являє собою час, протягом якого тіло, що має питому теплоємність  $C$  і масу  $Q$  нагрівається до перевищення температури  $\Delta\Theta$  від  $\Theta_{нач}$  при постійному виділенні в ньому потужності  $\Delta P$  і відсутності розсіювання теплоти з його поверхні.

Якщо нагрівання починається з моменту, коли температури навколишнього середовища й тіла однакові, тобто при  $\Delta\Theta = 0$ , то рівняння кривої нагрівання прийме вид:

$$\Delta \vartheta = \Delta \vartheta_y (1 - e^{-t/\tau}). \quad (2.36)$$

Для розрахунку теплового стану двигуна необхідно враховувати рівняння теплового балансу.

Для асинхронних двигунів вплив нагрівання обмотки ротора є великим, тому що повітряний зазор малий.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Припустимо, що двигун до перевантаження працював з навантаженням  $P_{поч}$  при втратах в обмотках  $\Delta P_{поч}$ . При сталому режимі перевищення температури обмотки, що відповідає втратам  $\Delta P_{поч}$ , дорівнює  $\Delta P_{поч}$ . Вся теплота, обумовлена втратами в обмотці  $\Delta P_{поч}$ , приділяється в навколишнє середовище. У момент часу, коли двигун перевантажується, струм в обмотці збільшується й у результаті втрати потужності в обмотці зростають до значення  $\Delta P$ . Тому що частина загальної кількості теплоти, пов'язана із втратами потужності  $\Delta P_{поч}$ , виділяється в навколишнє середовище, то додаткове підвищення температури буде визначатися не всіма втратами потужності  $\Delta P$ , а різницею втрат  $\Delta P - \Delta P_{поч}$ . Ця різниця втрат потужності й викличе збільшення температури обмоток.

## 2.5 РОЗРАХУНОК РОЗІМКНЕНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

### 2.5.1 Визначення параметрів елементів схеми заміщення, коефіцієнтів передачі і сталих часу

Номінальний струм статора двигуна визначається:

$$I_{1н} = \frac{P_{н}}{\sqrt{3} \cdot U_{1н} \cdot \cos\varphi_{н} \cdot \eta_{н}} = \frac{400000}{\sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 0.85 \cdot 0.915} = 49.48 \text{ А} \quad (2.37)$$

$U_{1н}$  – номінальна лінійна напруга

$\cos\varphi_{н}$  і  $\eta_{н}$  – номінальний коефіцієнт потужності і ККД

Критичне ковзання двигуна визначається:

$$s_{к} = s_{н} \cdot (k_{max} + \sqrt{k_{max}^2 - 1}) = 0.02 \cdot (2.3 + \sqrt{2.3^2 - 1}) = 0.087 \quad (2.38)$$

$s_{н}$  – номінальне ковзання двигуна

$k_{max}$  – коефіцієнт кратності максимального моменту двигуна

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Струм холостого ходу асинхронного двигуна:

$$I_0 = I_{1H} \cdot \left( \sin\varphi - \frac{s_H}{s_K} \cdot \cos\varphi \right) = 47.48 \cdot \left( 0,5268 - \frac{0,02}{0,087} \cdot 0,85 \right) = 15,735 \text{ A} \#(2.39)$$

Визначимо коефіцієнти  $A_1$  і  $C_1$ , за допомогою яких розраховуються параметри асинхронного двигуна:

$$A_1 = \frac{U^2 \cdot (1 - s_n)}{2 \cdot C_1 \cdot k_{max} \cdot P_H} = \frac{6000^2 \cdot (1 - 0.02)}{2 \cdot 1.023 \cdot 2.3 \cdot 400000} = 18,742 \#(2.40)$$

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{15,735}{2 \cdot 7 \cdot 47,48} = 1.023 \#(2.41)$$

$k_i$  – кратність піскового струму асинхронного двигуна

Активний опір обмотки ротора, приведений до обмотки статора асинхронного двигуна визначається:

$$R_2 = \frac{A_1}{C_1 \cdot \left( \beta + \frac{1}{s_K} \right)} = \frac{18,742}{1.023 \cdot \left( 0.6 + \frac{1}{0.087} \right)} = 1.515 \text{ Ом} \#(2.42)$$

$\beta$  – співвідношення активних опорів = 0,6

Активний опір обмотки статора визначається:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2 \cdot \beta = 1.023 \cdot 1.515 \cdot 0.6 = 0.93 \text{ Ом} \#(2.43)$$

Визначимо параметр  $\gamma$ , який необхідний для розрахунку опору короткого замикання:

$$\gamma = \sqrt{\left( \frac{1}{s_K^2} \right) - \beta^2} = \sqrt{\left( \frac{1}{0.087^2} \right) - 0.6^2} = 11.47 \#(2.44)$$

Індуктивний опір короткого замикання визначається:

$$X_{KH} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2 = 11,47 \cdot 1.023 \cdot 1.515 = 17,777 \text{ Ом} \#(2.45)$$

Індуктивний опір розсіювання фази роторної обмотки, приведений до статорної обмотки, визначається:

$$X_1 = 0.58 \cdot \frac{X_{KH}}{C_1} = 0.58 \cdot \frac{17,777}{1.023} = 10 \text{ Ом} \#(2.46)$$

Індуктивний опір розсіювання фази статорної обмотки визначається:

$$X_{1\sigma H} = 0.42 \cdot X_{KH} = 0.42 \cdot 17,777 = 7,47 \text{ Ом} \#(2.47)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Е.р.с. гілки намагнічування, яка наводиться потоком повітряного зазору в обмотці статора в номінальному режимі визначається:

$$E_m = \sqrt{(U_{1H} \cdot \cos\varphi_H - R_1 \cdot I_1)^2 + \left( U_1 \cdot \sqrt{1 - \cos^2\varphi_H} - X_1 \cdot I_1 \right)^2} \quad \#(2.48)$$

$$E_m = \sqrt{(6000 \cdot 0.85 - 0.93 \cdot 47,48)^2 + (6000 \cdot \sqrt{1 - 0.85^2} - 7,47 \cdot 47,48)^2} = 5056 \text{ В}$$

Індуктивний опір контуру намагнічування визначається:

$$X_m = \frac{E_m}{I_0} = \frac{5056}{15,735} = 321,32 \text{ Ом} \#(2.49)$$

Коефіцієнт підсилення тиристорного перетворювача частоти:

$$k_{\text{ТП}} = \frac{U_{1H}}{U_K} = \frac{6000}{12} = 500 \#(2.50)$$

Коефіцієнт датчика струму:

$$k_{\text{ДС}} = \frac{U_y}{2 \cdot I_{1H}} = \frac{12}{2 \cdot 47,48} = 0.126 \#(2.51)$$

Коефіцієнт датчика швидкості:

$$k_{\text{ДШ}} = \frac{U_y}{\omega_H} = \frac{12}{61,57} = 0.195 \#(2.52)$$

Номінальна частота обертання:

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_0}{30} \cdot (1 - s_H) = \frac{\pi \cdot 600}{30} \cdot (1 - 0.02) = 61,57 \frac{\text{рад}}{\text{с}} \#(2.53)$$

Число пар полюсів

$$z_p = \frac{60 \cdot f_1}{n_0} = \frac{60 \cdot 50}{600} = 5 \#(2.54)$$

Еквівалентна індуктивність обмотки статора визначається

$$L_1 = \frac{X_{1\sigma} + X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{7,47 + 321,32}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1,047 \text{ Гн} \#(2.55)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Еквівалентна індуктивність обмотки ротора визначається:

$$L_2 = \frac{X_{2\sigma} + X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{10 + 321.21}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1,05 \text{ Гн\#(2.56)}$$

Індуктивність розсіювання визначається:

$$L_m = \frac{X_m}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{321.21}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 1,022 \text{ Гн\#(2.57)}$$

Коефіцієнт розсіювання:

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{1.022^2}{1.047 \cdot 1.05} = 0.05\#(2.58)$$

Еквівалентний опір двигуна і перетворювача визначається:

- для системи ПЧ-АД з трансформатором

$$R_e = R_1 + R_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2} + 2 \cdot R_{тр} = 0.93 + 1.515 \cdot \frac{1.022^2}{1.05^2} + 2 \cdot 0.311 = 2.99 \text{ Ом\#(2.59)}$$

- для системи ПЧ-АД з струмообмежуючим реактором змінного струму на вході перетворювача

$$R_e = R_1 + R_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2} + 2 \cdot R_p = 0.93 + 1.515 \cdot \frac{1.022^2}{1.05^2} + 2 \cdot 0.44 = 3.245 \text{ Ом\#(2.60)}$$

$R_{тр}$  і  $R_p$  – активний опір трансформатора

Електромагнітна стала часу електропривода визначається:

$$T_e = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_e} = \frac{0.05 \cdot 1.047}{2.99} = 0.017\#(2.61)$$

Електромагнітна стала часу ротора визначається:

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{1.05}{1.515} = 0.693\#(2.62)$$

Значення номінального потокозчеплення двигуна:

$$\psi_{2н} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_m = \sqrt{2} \cdot 15.735 \cdot 1,022 = 22.74\#(2.63)$$

Номінальний момент двигуна визначається:

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{400000}{61.57} = 6497 \frac{\text{Н}}{\text{м}}\#(2.64)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Коефіцієнт датчика струму:

$$K_{дт} = \frac{12}{2 \cdot I_{1н}} = \frac{12}{2 \cdot 47.48} = 0.126\#(2.65)$$

Коефіцієнт датчика потокозчеплення:

$$K_{\psi} = \frac{12}{\psi_2} = \frac{12}{22.74} = 0.527\#(2.66)$$

Коефіцієнт датчика швидкості:

$$K_{дш} = \frac{12}{\omega_n} = \frac{12}{61.57} = 0,195\#(2.67)$$

### 2.5.2 Побудова характеристик двигуна

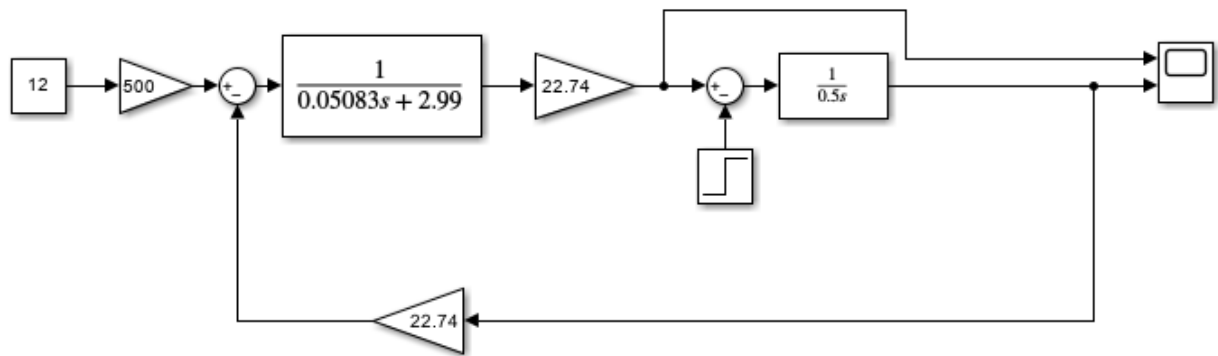
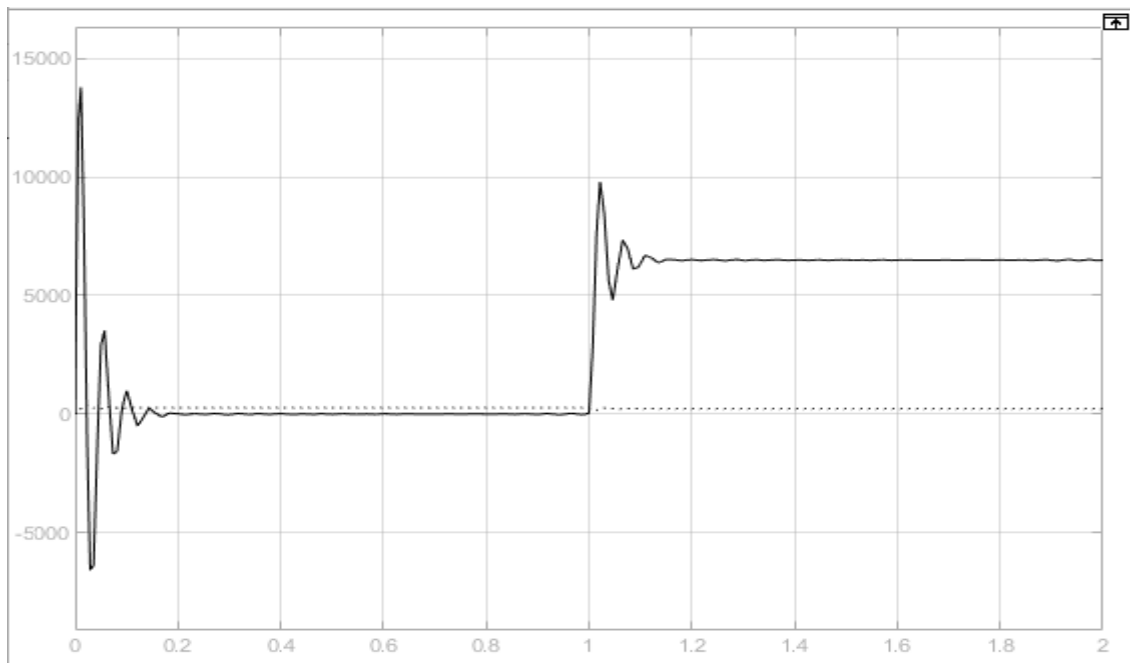


Рис 2.3. Схема моделі замкненої системи

### Характеристика при пуску двигуна під номінальним навантаженням



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

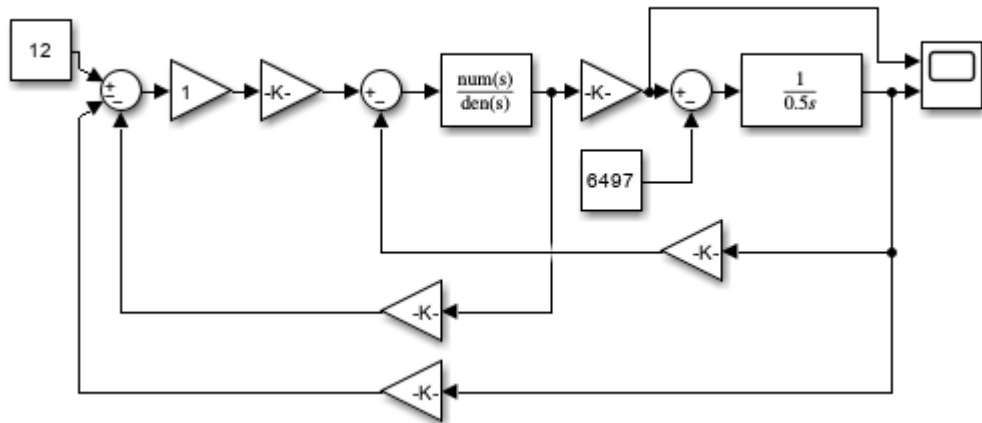
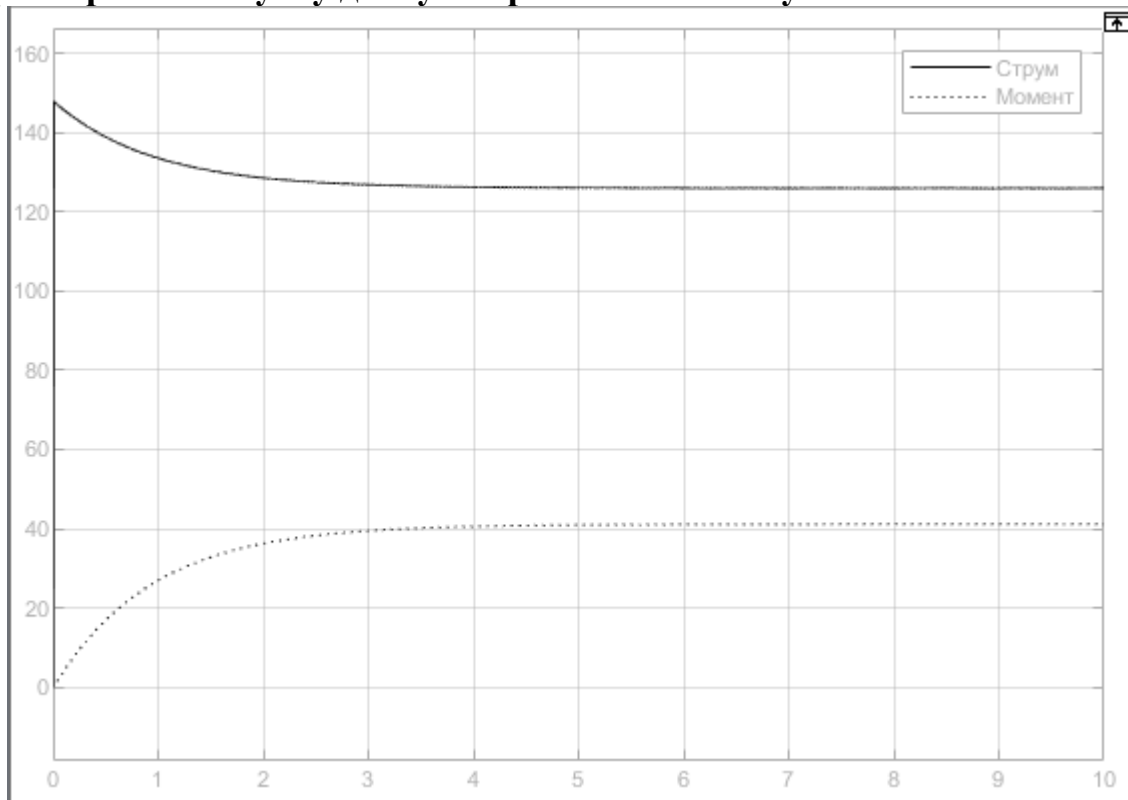


Рис. 2.4 Схема моделі розімкненої системи

### Характеристика пуску двигуна при номінальному навантаженні



Розрахунок коефіцієнта корисної дії електропривода для побудови характеристики  $\eta = f(M)$  розраховується за виразом:

$$\eta = \frac{M\omega}{M\omega + \Delta P_p + \Delta P_{zm}} = \frac{6497 \cdot 61,57}{6497 \cdot 61,57 + 633,881 + 479,93} = 0,856\#(2.68)$$

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

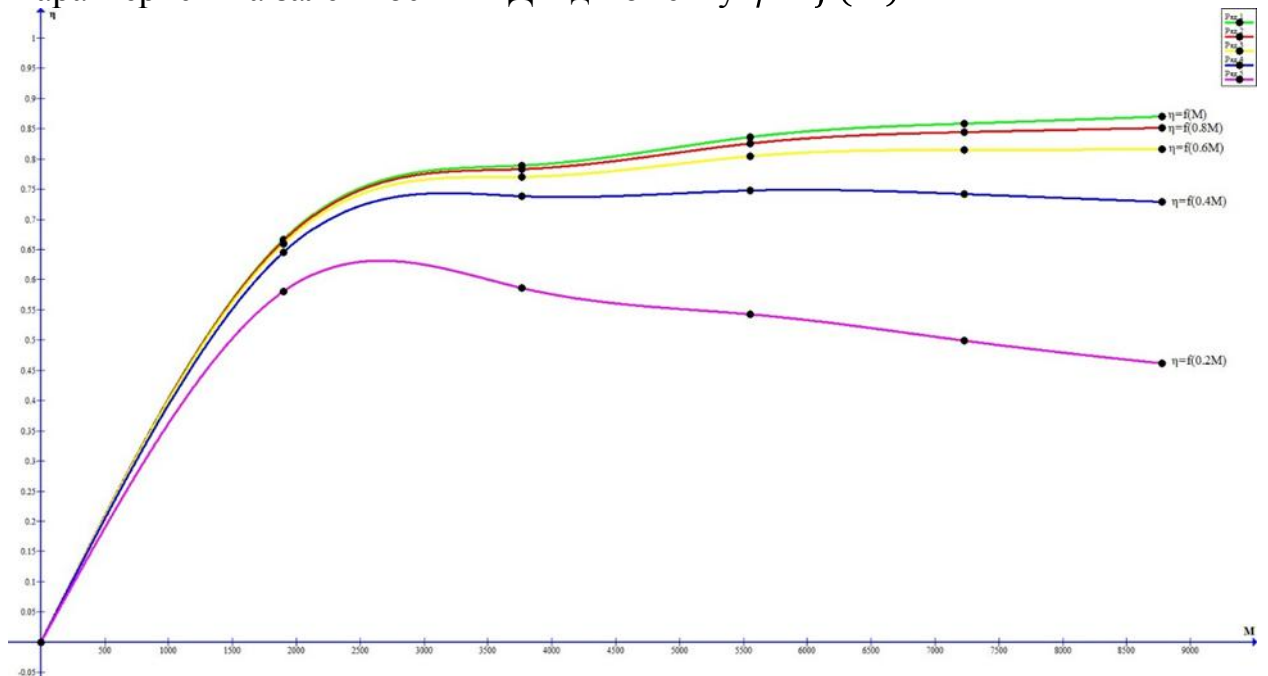
Постійні втрати потужності визначаються:

$$\begin{aligned} \Delta P_p &= P_H \cdot \frac{(1 - \eta)}{\eta} - \frac{P}{\omega} \omega_s \left(1 + \frac{R1}{R2}\right) \\ &= 400000 \cdot \frac{(1 - 0.85)}{0.85} - \frac{400000}{61,57} 61,57 \cdot 0.02 \left(1 + \frac{0.93}{1,515}\right) \\ &= 57680 \text{ Ом} \end{aligned}$$

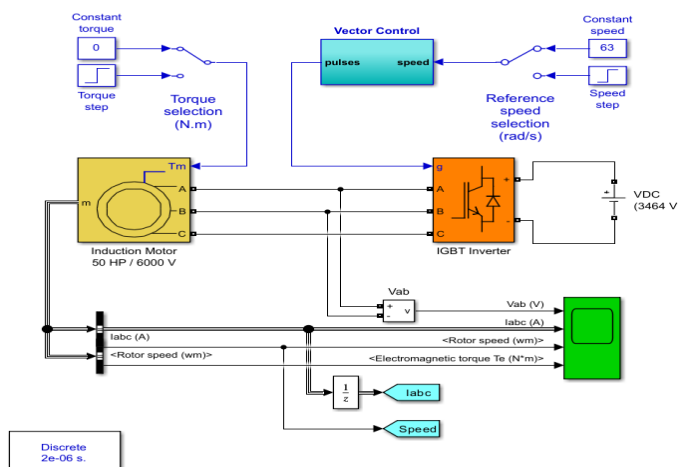
Змінні втрати потужності визначаються:

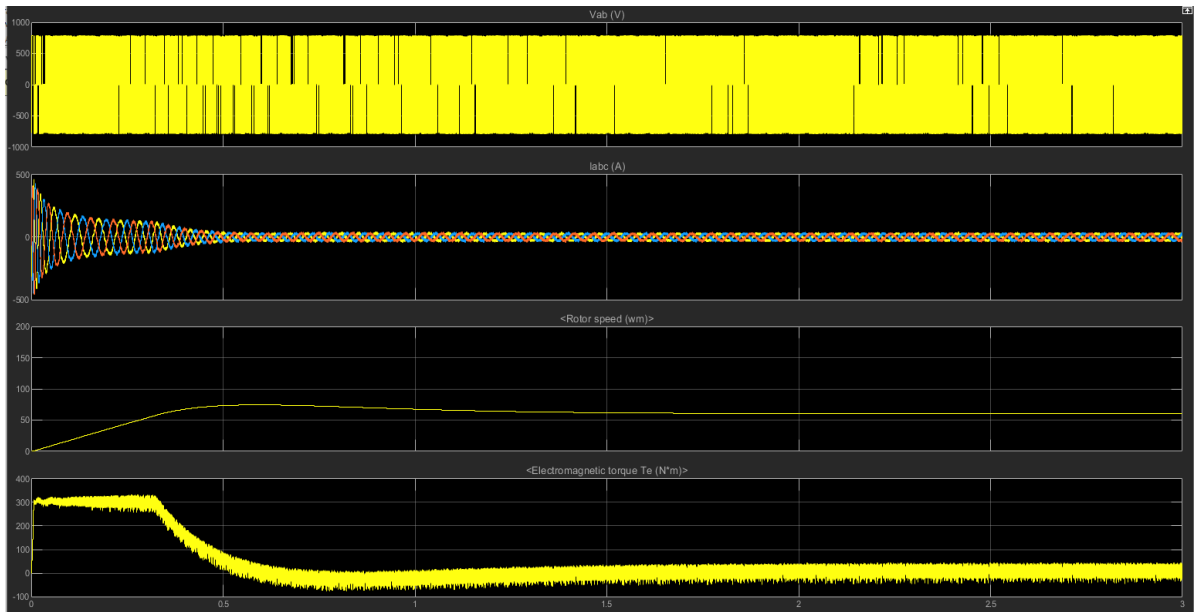
$$\Delta P_{zm} = \frac{400000}{61,57} \cdot \frac{8778}{6497} \cdot 60 \cdot 1 \cdot 0,02 \left(1 + \frac{0,93}{1,515}\right) = 15580 \text{ Ом\#(2.70)}$$

Характеристика залежності ККД від моменту  $\eta = f(M)$



Vector Control of AC Motor Drive





## 2.6. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З КОРОТКОЗАМКНЕНИМ РОТОРОМ.

### РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ДВИГУНА

Отже, розраховуємо необхідні дані для побудови математичної моделі асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором.

Вихідні дані:

$\eta = 0,915$  - ккд двигуна;

$U_f = 6000$  В - фазна напруга;

$n_n = 590$  об/хв. - номінальна частота обертання двигуна;

$n_s = 600$  об/хв. - синхронна частота обертання двигуна;

$P_n = 400000$  Вт - номінальна потужність двигуна;

$U_n = 6000$  В - номінальна напруга двигуна;

$I_n = 71$  А - номінальний струм двигуна;

$f_n = 50$  Гц - частота мережі живлення;

$p = 5$  - кількість пар полюсов;

$\cos\varphi = 0,85$  - коефіцієнт потужності;

$m_k = 2,5$  - кратність пускового моменту двигуна;

$K = 6,5$  - кратність пускового струму двигуна

Отже, пусковий струм двигуна

$$I_k := I_n \cdot 6.5 \quad (2.71)$$

$$I_k = 461.5 \text{ A}$$

Кругова частота обертання валу двигуна

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} = 61.7847 \text{ с}^{-1} \quad (2.72)$$

Момент номінальний на валу:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega} = 6474 \text{ Нм} \quad (2.73)$$

Момент критичний на валу:

$$M_k = m_k \cdot M_n \quad (2.74)$$

$$M_k = 16185.248$$

Номінальне ковзання двигуна:

$$S_n = \frac{n_s - n_n}{n_s} = 0.0167 \quad (2.75)$$

Критичне ковзання двигуна:

$$S_k = \left( M_k + \sqrt{M_k^2 - 1} \right) \cdot S_n = 0.0799 \quad (2.76)$$

Втрати двигуна

$$\Delta P_m = \sqrt{3} \cdot I_f \cdot U_f \cdot \eta \cdot \cos \varphi - P_n = 173834 \text{ Вт} \quad (2.77)$$

$$B_m = \frac{\Delta P_m}{\left( 2\pi \cdot \frac{nn}{60} \right)^2} = 45.538 \quad (2.78)$$

Для подальшого розрахунку приймаємо коефіцієнт  $c = 1.04$

$$R_s = \frac{3}{2} \cdot \frac{\left( \frac{U_n}{\sqrt{3}} \right) \cdot (1 - S_n)}{c \cdot \left( 1 + \frac{c}{S_k} \right) \cdot M_k \cdot (P_n + \Delta P_m)} = 0.0001 \text{ Ом} \quad (2.79)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39



$$R_r = \frac{1}{3} \cdot \frac{(P_n + \Delta P_m) \cdot (1 - S_n)}{(1 + S_n) \cdot i_k^2 \cdot I_n^2} = 0.0002 \text{ Ом} \#(2.80)$$

$$L_r = \frac{1}{2\pi f_n} \cdot \frac{\frac{U_n}{\sqrt{3}}}{I_n \cdot (\sqrt{1 - \cos\varphi^2}) - \cos\varphi \cdot \frac{S_n}{S_k}} = 0.4444 \text{ Ом} \#(2.81)$$

$$L_{1r} = \frac{1}{4\pi f_n} \cdot \sqrt{\left(\frac{\frac{U_n}{\sqrt{3}}}{i_k \cdot i_n}\right)^2} \#(2.82)$$

$$L_{1s} = L_{1r}$$

$$L_s = L_r$$

$$L_s = 0.4444$$

$$L_m = L_s - L_{1s}$$

## 2.7 Вибір регулюючого пристрою

Згідно розрахунку для обраного двигуна вибираємо частотний перетворювач частоти для можливості плавного пуску асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором ВАН 14-31-10.

Обираємо ТПЧ ТРІОЛ АТ23 — високовольтний (6 кВ) трансформаторний частотно-регульований перетворювач частоти потужністю від 160 до 1600 кВт блок-схема якого вказана на рисунку 3.10.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

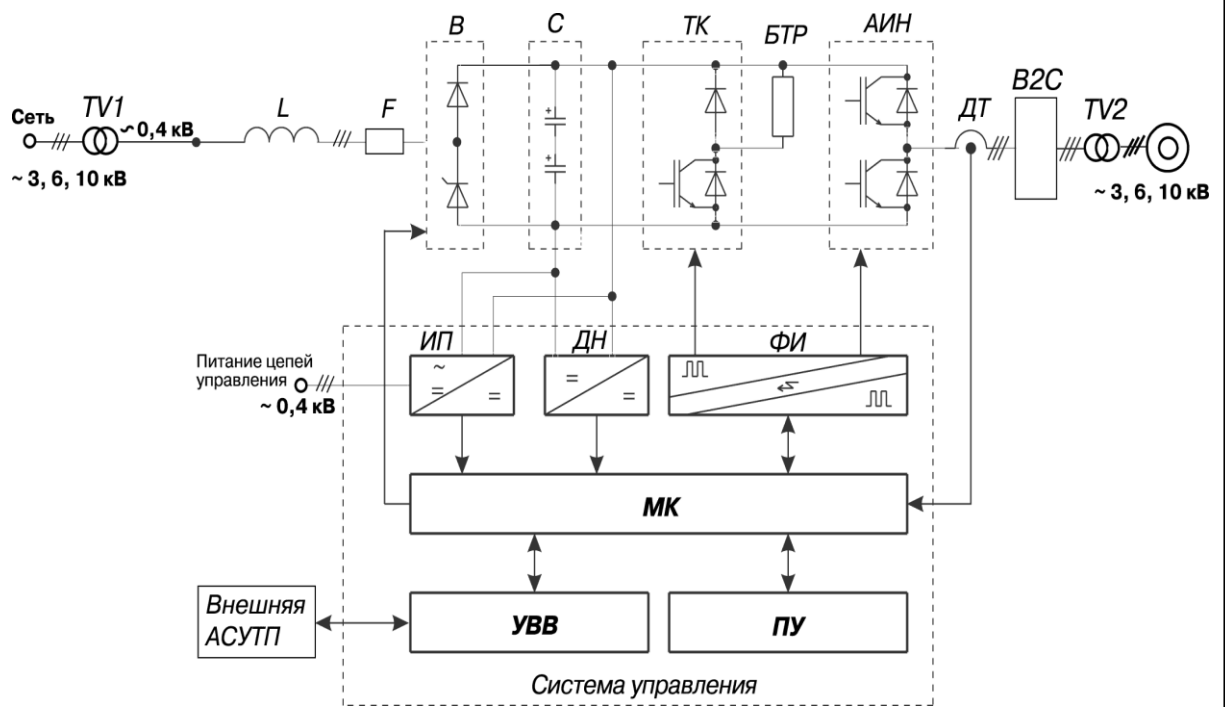


Рис 2.6 Схема ТПЧ ТРІОЛ АТ23

Призначений для автоматичного управління частотою обертання і моментом виробничих машин і механізмів з приводними трифазними асинхронними і синхронними електродвигунами потужністю від 160 кВт до 1600 кВт класу напруги 6 кВ. Застосовується для управління широким спектром машин, механізмів і технічних комплексів.

### Енергозбереження

Використання перетворювача частоти Тріол АТ23 дозволяє зберігати

електроенергію усуненням невиправданих її витрат, які мають місце при альтернативних методах регулювання дроселюванням або за допомогою механічних регулюючих пристроїв. Відсоток прямої економії активної електроенергії — від 20% до 50%.

**Оптимізація процесів** — головна мета вживання Тріол АТ23 в системах опалювання, водопостачання, вентиляції і так далі. Регулювання

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дозволяє надавати користувачам саме стільки потужності скільки їм необхідно зараз. В результаті використання ресурсів знижується.

#### *Зниження капітальних витрат*

Перетворювач частоти Тріол АТ23 забезпечує плавне регулювання швидкості обертання електродвигуна і дозволяє, в більшості випадків, відмовитися від використання редукторів, варіаторів і іншої регулюючої апаратури, що значно спрощує керувану механічну (технологічну) систему, і підвищує її надійність.

При використанні ПЧ Тріол АТ23 відпадає необхідність в пусковій апаратурі, устаткуванні захисту електродвигуна і компенсації реактивної потужності, не потрібні зовнішні прилади (амперметри, вольтметри, лічильники електроенергії) електровимірювань, зменшується число вживаних точок вводу-виводу, які вимагають монтажу і наладки.

#### *Зниження експлуатаційних витрат*

Частотний пуск керованого двигуна забезпечує його плавний, без підвищених пускових струмів і механічних ударів розгін, що знижує навантаження на двигун і пов'язані з ним передавальні механізми, збільшує термін їх експлуатації. Отже, витрати на ремонт і профілактику устаткування зменшуються.

Слід зазначити, що Тріол АТ23 володіє досить високим коефіцієнтом потужності, тому окрім прямої економії споживаної активної електроенергії, при його установці має місце і економія реактивної енергії — а це зниження оплати як безпосередньо за реактивну енергію, так і за втрати від її витрати.

#### *Рішення для енергоємних галузей*

Високовольтні перетворювачі частоти Тріол АТ23 призначені для використання в системах автоматичного управління потужними

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

асинхронними і синхронними електродвигунами напругою 6 кВ і з діапазоном потужностей від 160 кВт до 1,6 МВт.

Економія електроенергії за допомогою перетворювача частоти Тріол АТ23 може бути отримана:

- за рахунок регулювання швидкості окремих двигунів;
- за рахунок зменшення числа працюючих двигунів у вихідні дні, під час технологічних пауз і зниженні навантаження при управлінні групою з декількох насосних агрегатів.

Тріол АТ23 має розвинений зовнішній інтерфейс, що дозволяє адаптувати (приспосувати) його до існуючих систем автоматики і створювати на його базі автоматизовані системи управління різними механізмами.

Ядро системи управління перетворювачем — мікропроцесорний контролер, який дозволяє реалізовувати алгоритми управління двигуном практично будь-якої необхідної складності.

Можливості ПЧ Тріол АТ23:

- для прийому сигналів, що управляють і задаючих має: 6 програмованих дискретних входів, до 8 аналогових входів; 2 канали послідовного зв'язку RS-485 (для одношафового виконання); послідовний канал зв'язку RS-232 (поставляється зовнішній перетворювач RS485/232).
- для управління зовнішніми пристроями має: 6 програмованих дискретних (релейних) виходів; 2 програмованих аналогових виходи.

#### *Функція управління групою електродвигунів*

Дана функція дозволяє організувати послідовне управління групою електродвигунів від одного Тріол АТ23. При цьому кожен з електродвигунів виводиться на заданий режим, а потім перемикається на промислову мережу. Можна запрограмувати Тріол АТ23 на поперединне управління електродвигунами відповідно до вибраного алгоритму

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			43

Для мінімізації часу простоїв перетворювач частоти Тріол АТ23 забезпечений набором функцій захисту електродвигунів. Також передбачена система блокувань параметрів роботи, що підвищує безпеку під час експлуатації. Реалізовані наступні захист і блокування:

- від струмів недопустимого перевантаження і замикання «на землю»;
- від недопустимих перенапружень на силових елементах;
- від недопустимих відхилень і зникнення напруги живлячої мережі;
- від недопустимих відхилень технологічного параметра;
- від несправностей у вузлах і блоках перетворювача.

*Знижує вимоги до якості живлячої мережі*

Перетворювач Тріол АТ23 оснащений функцією подолання зниження напруги живлячої мережі. При виникненні аварійної ситуації привід не відключається, а плавно знижує оберти двигуна пропорційно величині зниження напруги. При відновленні напруги система повертається до заданих параметрів.

*Плавно запустить двигун*

Пуск двигуна здійснюється плавно, із струмами, що не перевищують номінального значення, що не призводять до перегріву ротора, ударним механічним діям на обмотки статора і, як наслідок, забезпечує значне

збільшення ресурсу двигуна (у десятки разів).

*Працює в автоматичному і ручному режимі*

У ручному режимі перетворювач частоти відпрацьовує задане з пульта управління або від АСОВІ значення вихідної частоти ПЧ і, відповідно, частоту обертів двигуна.

У автоматичному режимі регулювання частоти обертів ротора відбувається в замкнутій системі вбудованим програмним ПІД-

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулятором по сигналах з датчиків зворотного зв'язку (датчик технологічного параметра та ін.). Його наявність дозволяє змінювати швидкість обертання ротора так, щоб підтримувати на заданому рівні певний параметр системи (витрати, тиск, температуру і так далі).

#### *Реалізована функція «підхоплення» електродвигуна*

При автоматичному перезапуску електродвигуна, наприклад, після короткочасного відключення живлення, Тріол АТ23 визначає фактичну швидкість обертання ротора, порівнює цю величину зі встановленим значенням і плавно виводить двигун на заданий режим. Використання цієї функції дозволяє уникнути можливого відключення приводу при короткочасних перебоях живлячої напруги.

Цей режим дозволяє збільшити термін служби агрегату і уникнути тимчасових витрат на його зупинку перед перезапуском.

#### *Забезпечить чисту синусоїду*

Перетворювач частоти Тріол АТ23 поставляється з вихідним синусним фільтром, який забезпечує відповідність гармонійного складу вихідної напруги (на виході фільтру) вимогам ГОСТ 1310997.

При використанні блоків вихідного фільтру на вхід двигуна поступає напруга практично синусоїдальної форми. Це створює комфортний режим роботи трансформатора, кабелю, двигуна, запобігаючи перегріву трансформатора, передчасному зносу ізоляції і виходу з ладу АД.

Однією з важливих переваг блоків вихідного фільтру Тріол В2С є те, що вони працюють з більшістю типів підвищуючих трансформаторів.

#### *Просто керувати*

Тріол АТ23 забезпечений вбудованим пультом управління, на графічний ЖК дисплей якого виводяться задані і фактичні параметри (значення струму, потужності, час роботи ПЧ і тому подібне). Для зручності

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Користувача вся інформація зведена у функціональні групи і виводиться у вигляді легких розпізнавальних знаків або текстових повідомлень.

За замовленням привід може бути укомплектований дистанційним пультом управління ДУ, який по своїх функціях аналогічний вбудованому пульту.

За допомогою програмного забезпечення ConrtolDrive оператор зможе:

- включати в конфігурацію необхідне число приводів (до 5);
- стежити за станом приводів, включених в конфігурацію, в реальному часі;
- читати значення параметрів приводу по групах;
- стежити в реальному часі за зміною параметрів, включених в профіль;
- видавати команди «Пуск» і «Стоп» приводу;
- записувати задані значення параметрів;
- читати стан релейних виходів, логічних комутаторів, дискретних і аналогових входів і кодових регістрів;
- управляти станом релейних виходів, логічних комутаторів і кодових регістрів.

Перетворювач частоти Тріол АТ23 поставляється з повним комплектом спеціально розробленої експлуатаційної документації із зрозумілим викладом інформації.

*Робота на вулиці і в будь-яких умовах: гроза, сніг, дощ, пекуче сонце, лютий мороз*

Міра захисту високовольтного перетворювача частоти Тріол АТ23 — ІР43. Температура експлуатації — від  $-60$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ .

При підвищенні температури навколишнього середовища спрацьовує ефективна система охолодження. Її особливості:

- для кожного силового модуля встановлений індивідуальний вентилятор;
- передбачено охолодження конденсаторних модулів.

Вбудований захист від перенапружень мережі відповідно до вимог РД

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

34.21.12287 і ГОСТ 1310997 зберігає працездатність перетворювача:

- при нестабільності, коливаннях і провалах живлячої напруги;
- при істотному відхиленні його величини від стандартної;
- від перенапружень, що викликаються блискавкою.

На вході перетворювача частоти встановлені обмежувачі змінної напруги.

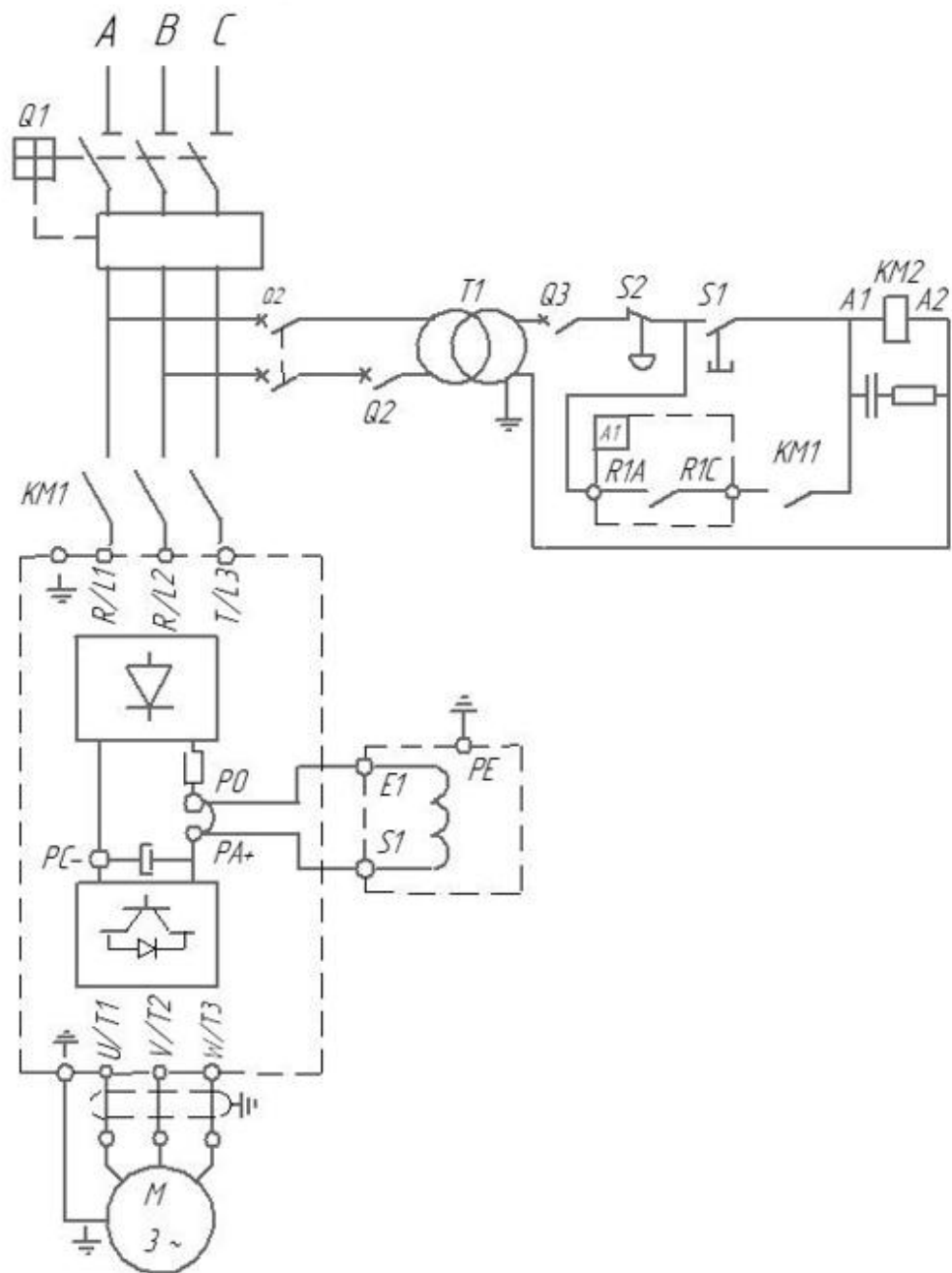
Параметри ПЧ Тріол АТ23 приведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Параметри й характеристика перетворювачів частоти  
Тріол АТ23.

Шкала потужностей	160...1600 кВт
Живляча мережа власних потреб	3x380 (415, 440) В +10%, -15%, 50(60) Гц ±2%
Вхідна напруга	3, 6, 10 кВ
Вихідна напруга	3, 6, 10 кВ
Вихідна частота	0.50 (400) Гц ± 0,1%, значення максимальної і мінімальної частоти програмуються.
Струм перевантаження	120% номінального значення не більше 120 с
Коефіцієнт корисної дії	не менше 0,95 (без двигуна)
Опір ізоляції гальванічно не зв'язаних ланцюгів і відносно корпусу	не менше 10 МОм
Електрична міцність ізоляції	2500 В, 50 Гц, в за 1 хв.
Робоча температура	-60 <sup>0</sup> С...+50 <sup>0</sup> С



### Загальна схема електропривода дробарки ККД-1500/180



					Арк.
					48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

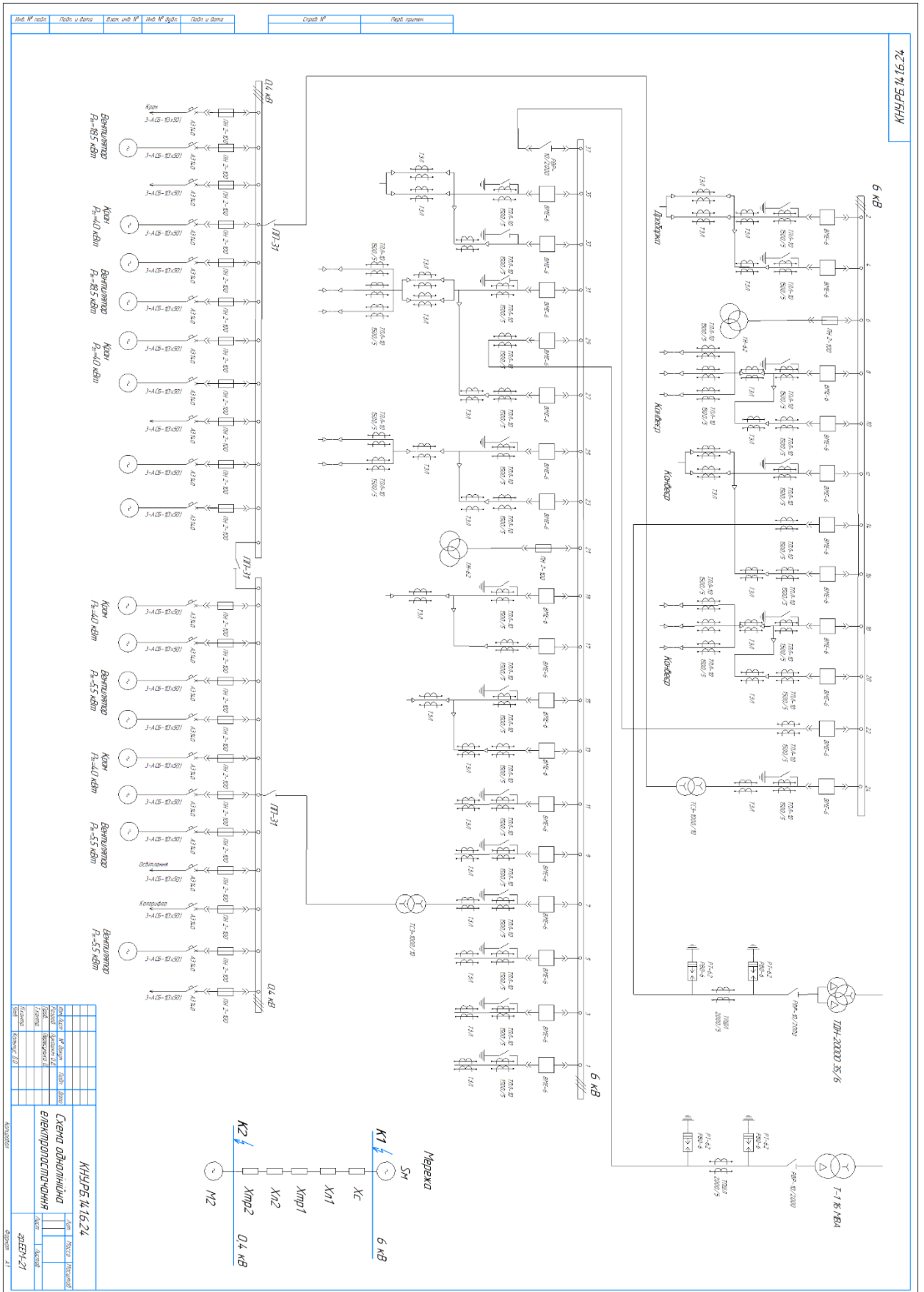
ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06

## РОЗДІЛ 3

# ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Лукашкін О. Д.			Електропостачання	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Пересунько І. І.					49	20
Реценз.						гр.ЕЕМ-21ск		
Н. Контр.		Пересунько І. І.						
Затверд.		Пересунько І. І.						

### 3.1 Електропостачання дробарки



Електропостачання передбачається від підстанції 35/6. У відповідності до технічних характеристик обладнання прийняті наступні напруги трьохфазного змінного струму:

- для живлення електродвигунів 6 кВ;
- для живлення силових приймачів низької напруги (система з глухозаземленою нейтралю) - 0,38/0,23 кВ;
- для живлення освітлення - 0,133 кВ, у блоках - 36 В;
- для живлення освітлення в будівлях 0,38/0,22 кВ (система з глухозаземленою нейтралю).

По ступеню безперебійності живлення електроенергією споживачі відносяться до різних категорій:

*1. До першої категорії відносяться:*

- головні водовідливні установки;
- насоси станцій водопостачання і каналізації;
- головні вентиляторні установки.

*2. До другої категорії відносяться:*

- електродвигуни;
- розподільчі пристрої;
- електротранспорт.

*3. До третьої категорії відносяться інші споживачі електроенергії.*

Для живлення електроенергією споживачів першої категорії передбачено дві самостійні лінії передачі. Кожна лінія перепускає повну потрібну потужність споживачів першої категорії і 75% потужності другої категорії. Живлення споживачів третьої категорії проводиться по одній лінії.

Електропостачання здійснюється допомогою відходящих кабельних ліній 6 кВ. Встановлено два трансформатори по 32 МВА . У разі виходу з ладу одного з трансформаторів частину навантаження можливо перевести на інший.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

Так як в цеху є електроспоживачі першої категорії, то головна підстанція повинна живитись від двох самостійних ліній.

### 3.2 Розрахунок установленної потужності споживачів електро-енергії в цеху та вибір трансформатора

Так як є електроспоживачі першої та другої категорії, то на підстанції слід встановити два трансформатори однакової потужності.

Потужність трансформаторів вибирають так, щоб у нормальному режимі вони були завантажені на 60-70%, а при можливому вимкненні однієї з ліній і трансформатора, інша лінія і трансформатор могли б забезпечити безперебійну роботу підприємства.

Розрахунок потужності споживаної електроприймачами здійснюємо по встановленій її величині і коефіцієнту попиту для кожного з них.

Для розрахунку необхідної потужності трансформаторів виконуємо розрахунок електричних навантажень по сумарній установленій потужності споживачів.

Для однолінійних груп споживачів електроенергії робоче навантаження за активною (P), реактивною (Q) і повною (S) споживаною потужністю визначаємо за формулою:

$$P_{\text{роз}} = \Sigma P_{\text{н}} \cdot k_{\text{с}} ; Q_{\text{роз}} = P_{\text{роз}} \cdot \text{tg} \varphi ;$$

$$S_{\text{роз}} = \sqrt{P_{\text{роз}}^2 + Q_{\text{роз}}^2} \quad \#(3.83)$$

де  $k_{\text{с}}$  - коефіцієнт попиту енергії по окремих споживачах;

$\text{tg} \varphi$  - коефіцієнт навантаження по окремих споживачах.

Результати розрахунку зведені в таблицю 2.1.

Виходячи з важливості забезпечення електропостачання приймаємо коефіцієнт використання електроспоживачів  $k_{\text{н}} = 0,65$ , а коефіцієнт потужності  $\text{tg} \varphi = 0,75$ .

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

За розрахунковими потужностями вибираємо трансформатори, виходячи з умов:

$$S_{\text{нтр}} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{\text{зм}} \cdot S_{\text{роз}}}{\eta_c \cdot K_{\text{пер}}} \#(3.84)$$

де  $K_{1-2} = 0,8$  - коефіцієнт, який враховує споживачі 1-ї та 2-ї категорій;

$K_{\text{зм}} = 0,85$  - коефіцієнт зміщення максимального навантаження;

$K_{\text{пер}} = 1,1 \div 1,3$  - коефіцієнт перевантаження;

$\eta_c = 0,9$  - коефіцієнт мережі.

При цьому:

$$S_{\text{нтр}(1)} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{\text{зм}} \cdot S_{\text{роз}}}{\eta_c \cdot K_{\text{пер}}} = \frac{0,8 \cdot 0,85 \cdot 1300}{0,9 \cdot 1,1} = 790 \text{ кВА};$$

$$S_{\text{нтр}(2)} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{\text{зм}} \cdot S_{\text{роз}}}{\eta_c \cdot K_{\text{пер}}} = \frac{0,8 \cdot 0,85 \cdot 15170}{0,9 \cdot 1,1} = 10420 \text{ кВА};$$

Вибираємо трансформатори, паспортні значення яких зведені у табл. 3.1.

Таблиця 3.1.

### Паспортні дані силових трансформаторів

№ пп	Тип трансформатора	Номін. потужність, кВА	Номинальна напруга, кВ		Втрати трансформатора, кВт		Напруга короткого замикання, $u_k$ , %	Струм холостого ходу, $I_{xx}$ , %
			$U_{1н}$	$U_{2н}$	$\Delta P_{xx}$	$\Delta P_{кз}$		
1.	ТСЗ-1000/10	1000	6	0,4	3,0	11,2	5,5	1,5
2.	ТДН-20000/35	20000	38,5	6,6	50	130	8,3	3,5

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06				Арк.
									53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

### 3.3 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі вище 1 кВ.

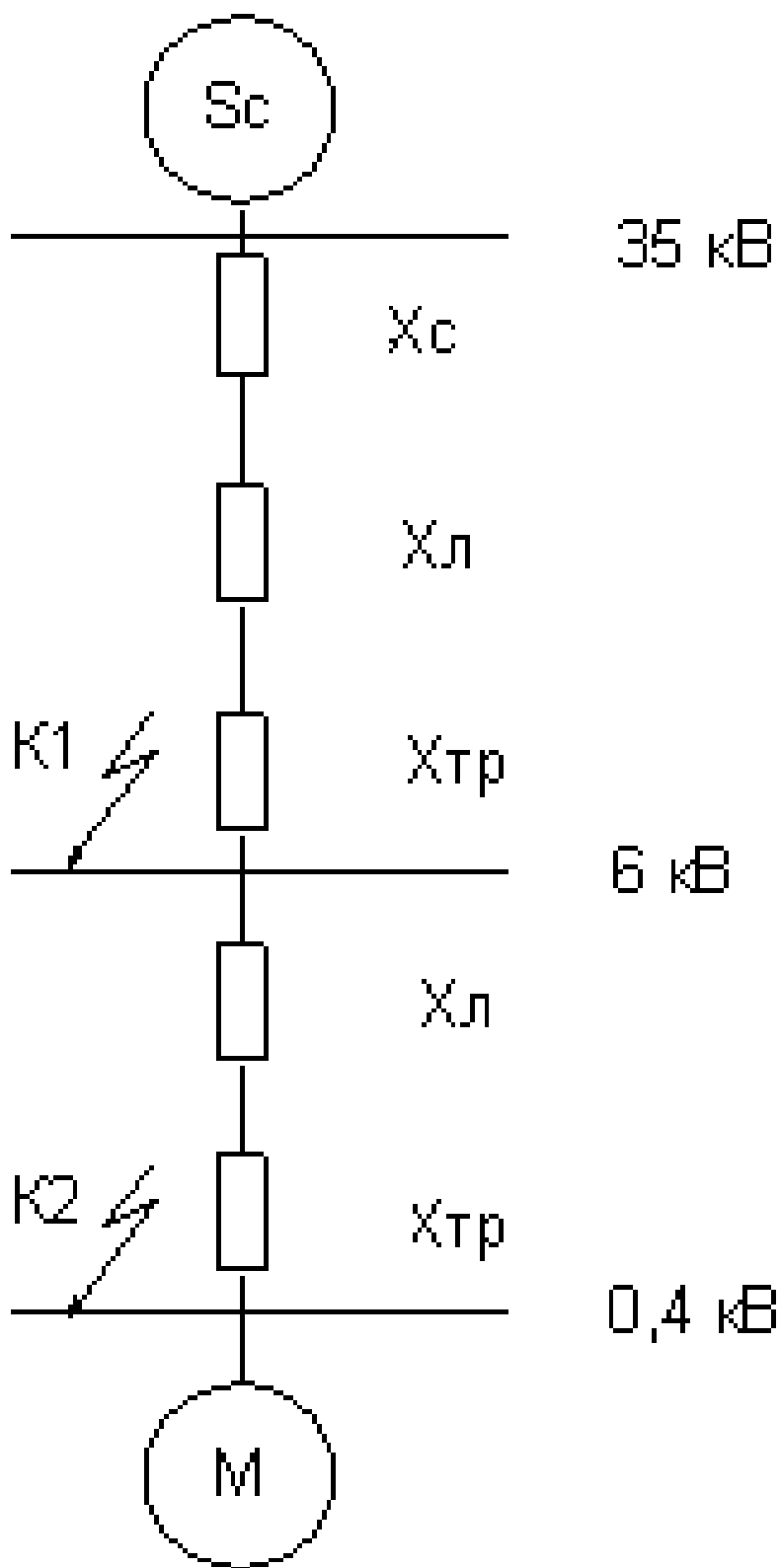


Рисунок 3.1. Схема заміщення системи для розрахунку струмів короткого замикання.

Визначення реактивних опорів, які приведені до базисної напруги.

Розрахунок ведемо у базисних величинах. Схема заміщення приведена на рис. 3.1.

Приймаємо за базисну потужність  $S_{\delta} = 100 \text{ МВА} = S_c$ , базисну напругу  $U_{\delta} = 6,3 \text{ кВ}$ .

Тоді базисний струм дорівнює:

$$I_{\delta} = \frac{S_{\delta}}{1,73 \cdot U_{\delta}} = 9,2 \text{ кА} . \#(3.85)$$

Визначаємо розрахункові величини:

- відносний базисний опір системи:

$$X_c = \frac{X_c \% \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_{nc}} = \frac{3 \cdot 100}{100 \cdot 32} = 0,094 \#(3.86)$$

- відносний базисний опір трансформатора:

$$X_{mp} = \frac{u_n \% \cdot S_{\delta}}{100 \cdot S_{nc}} = \frac{8,3 \cdot 100 \cdot 10^6}{100 \cdot 20000 \cdot 10^3} = 0,415 ; \#(3.87)$$

- відносний базисний опір кабельної лінії 6,3 кВ:

$$X_L = \frac{X_{ел} \cdot l_l \cdot S_{\delta}}{U_n^2} = \frac{0,08 \cdot 1,0 \cdot 100}{6,0^2} = 0,222 ; \#(3.88)$$

де  $X_{ел} = 0,08$  - індуктивний питомий опір кабельної лінії 6 і 10 кВ;

$l_l = 1,0 \text{ км}$  - довжина кабельної лінії.

Сумарний опір у точці К1 на стороні 6 кВ:

$$X_{\Sigma 1} = X_c + X_{mp} + X_L = 0,094 + 0,415 + 0,222 = 0,731 . \#(3.89)$$

Тоді струм к.з. дорівнює:

$$I_{кз1} = \frac{I_{\delta}}{X_{\Sigma 1}} = \frac{9,2}{6,7} = 12,6 \text{ кА} . \#(3.90)$$

Ударний струм к.з. дорівнює:

$$I_{y1} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{кз1} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 12,6 = 32 \text{ кА} . \#(3.91)$$

Потужність короткого замикання:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



$$S_{кз} = \frac{S_6}{X_{\Sigma 1}} = \frac{100}{0,731} = 137 \text{ МВА.} \#(3.92)$$

Повна розрахункова потужність:

$$S_p = 15170 \text{ кВА.}$$

Тоді розрахунковий струм дорівнює:

$$I_{p1} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{15170}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 1,4 \text{ кА.} \#(3.93)$$

Динамічний струм на шинах дорівнює:

$$I_p = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{кз1} + 6,5 \cdot I_p = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 12,6 + 6,5 \cdot 1,4 = 41 \text{ кА.} \#(3.94)$$

### 3.4 Вибір апаратури в мережі більш 1000 В.

*Вибір струмоведучих шин.*

За величиною розрахункового струму  $I_{p1} = 14 \text{ кА}$  вибираємо алюмінієві шини на струмове навантаження 1480 А розміром  $h = 8 \text{ см}$ ,  $b = 1,0 \text{ см}$  з відстанню між ізоляторами  $L=250 \text{ мм}$ , а між шинами  $a=150 \text{ мм}$ .

Перевіряємо шини на динамічну стійкість:

$$i_{дн} = \sqrt{\frac{10 \cdot G \cdot W \cdot a}{1,76} \cdot \frac{10}{L}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 90 \cdot 10,7 \cdot 150 \cdot 10}{1,76 \cdot 250}} = 180 \text{ кА.} \#(3.95)$$

де  $G = 90 \text{ МПа}$  – припустима напруга в матеріалі шини;

$W$  - момент опору шини відносно осі.

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{1,0 \cdot 64}{6} = 10,7. \#(3.96)$$

За паспортними даними стійкість прийнятих шин:

$$41 < 165 \text{ кА.}$$

Перевіряємо переріз шин за термічною стійкістю:

$$S_{ш} = \frac{I_{пзш} \cdot \sqrt{t_{пр}}}{c} = \frac{12600 \cdot \sqrt{0,2}}{85} = 66 \text{ мм}^2 ; \#(3.97)$$

де  $t_{пр} = 0,2 \text{ с}$  - час дії струму к.з.;

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$c = 85 \text{ Ас}^2/\text{мм}^2$  - коефіцієнт, який відповідає різниці теплоти, виділеної в алюмінієвих шинах до і після к.з.

Вибір ізоляторів за перерізом шин.

$$S = h \cdot b = 80 \cdot 10 = 800 \text{ мм}^2 \text{ .\#(3.98)}$$

Вибираємо ізолятор типу **ОМА-6**: номінальна напруга 6 кВ з розривним навантаженням  $F_p = 4 \text{ кН}$ .

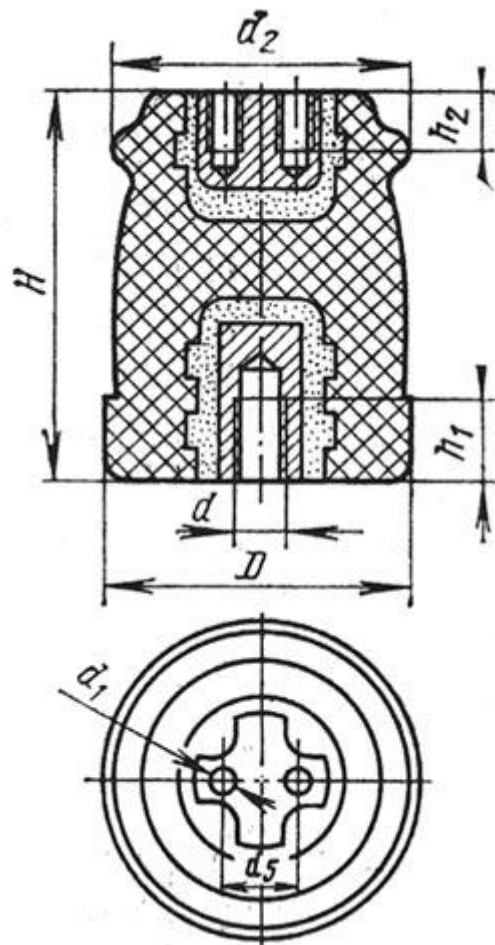


Рис3.2. Креслення ізолятора ОМА-6

Для виконання умови механічної міцності необхідно, щоб розрахункова електродинамічна сила  $F_{розр}$  на ізолятор не перевищувала б припустиме на нього навантаження. Перевірка на припустиме зусилля:

$$F_{розр} \leq F_{пр} = 0,6 \cdot F_p ; \#(3.99)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

де  $F_{розр}$  - максимальне зусилля на ізолятор при ударному струмі к.з.

$$F_{розр} = \frac{1,73 \cdot L \cdot I_{д}^2 \cdot 0,1}{a \cdot k_h} ; \#(3.100)$$

де  $k_h = 1$  - коефіцієнт, що враховує розміщення шин на ізоляторах;

$I_{д}$  - ударний струм трифазного короткого замикання;

$L$  – відстань між ізоляторами;

$a$ - відстань між шинами.

$$F_{розр} = \frac{1,73 \cdot L \cdot I_{д}^2 \cdot 0,1}{a \cdot k_h} = \frac{1,76 \cdot 250 \cdot 41^2 \cdot 0,1}{150 \cdot 1} = 490 \text{ Н};$$

$F_p = 4000 \text{ Н}$  - паспортне значення, тоді:

$F_{розр} < 0,6 \cdot F_p$  та  $490 < 2400$ .

### *Вибір кабелів.*

Вибір живильних кабелів здійснюємо за величиною розрахункового струму найбільшого навантаження 6 кВ рівному 1,2 кА , вважаючи тривало припустимий струм для алюмінієвої жили  $i_{доп} = 3 \text{ А/мм}^2$ .

$$I_p = \frac{800}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 74 \text{ А.} \#(3.101)$$

Приймаємо трижильний алюмінієвий кабель типу АСБ 6,3 (3x70) на напругу 6кВ перерізом 3x70 мм з тривало припустимим струмом 190 А.

Перевірка кабелю на термічну стійкість до струмів к.з.



Рис3.3 Зображення кабелю АСБ 6.3 (3x70)

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

При сталому струму:

$$S_{min} = \frac{I_{кзк} \cdot \sqrt{t_{пр}}}{c_k} = \frac{12660 \cdot \sqrt{0,2}}{85} = 64 \text{ мм}^2 \cdot \#(3.102)$$

Обраний кабель задовольняє навантаженню, тому що прийнятий переріз  $S_k = 70 \text{ мм}^2 > S_{min} = 66 \text{ мм}^2$ .

Вибір високовольтних вимикачів.

Вибираємо вимикачі маломасляні навантаження типу **ВМС-6** з номінальним струмом 200 А на напругу 6 кВ із припустимим ударним струмом  $I_y = 16,8 \text{ кА}$ .

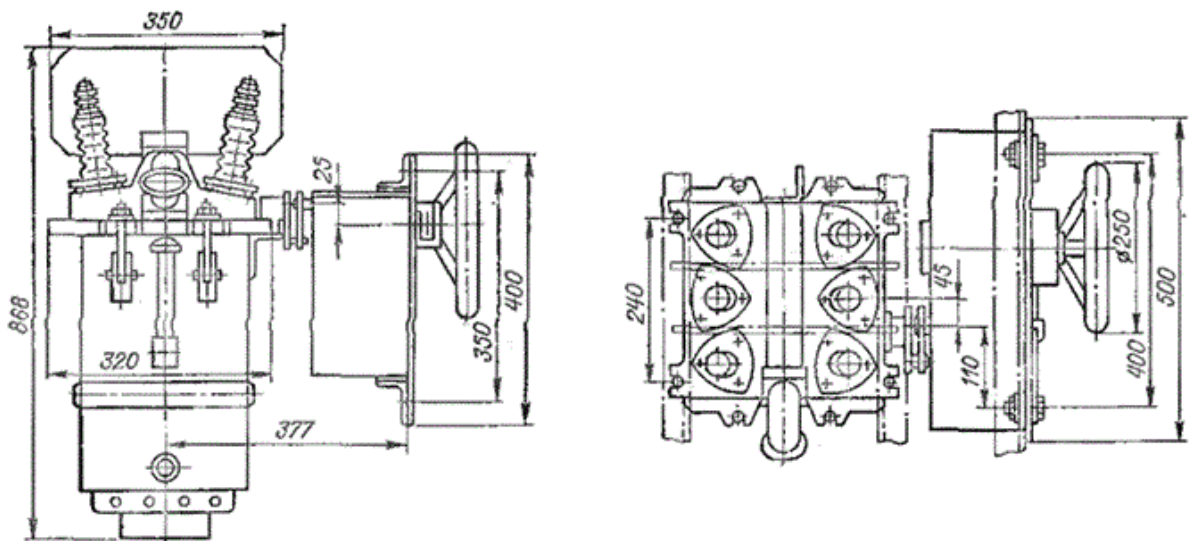


Рис3.4 Креслення масляного вимикача ВМС-6

Усі наступні електричні апарати вибираємо за робочими параметрами і перевіряємо по стійкості до струмів короткого замикання.

Струм вимкнення:  $I_{max} > I_{кзроз}$ .

Максимальне амплітудне значення ударного струму к.з.  $I_{уном} > I_{уроз}$ .

Перевірка за термічної стійкості за час, який дорівнює 10 секундам:

$$I_{t=10} = \sqrt{I_k^2 \cdot \frac{t_{пр}}{t}} = \sqrt{12,6^2 \cdot \frac{0,3}{10}} = 2,2 \text{ кА} \cdot \#(3.103)$$

Вибираємо розмикач типу **РВК-10/3000** з електродинамічною стійкістю 85 кА і термостійкістю  $I_{тем.ст.10с} = 60 \text{ кА}$ .

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

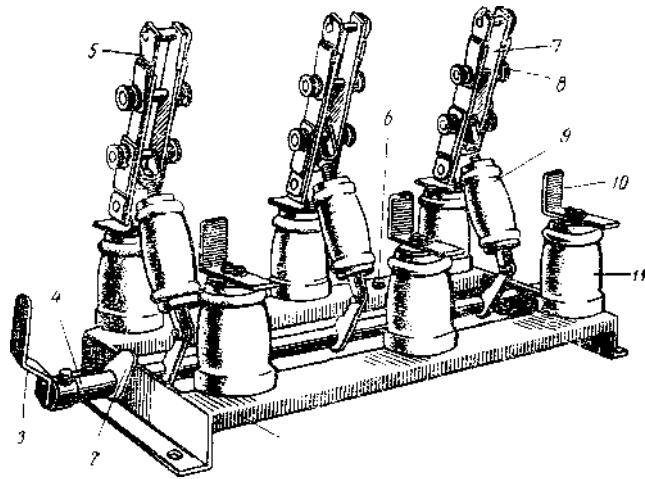


Рис 3.5. Креслення розмикача РВК-10/3000

Аналогічно вибираємо короткозамикач типу **КЗ-35** (двополюсний):

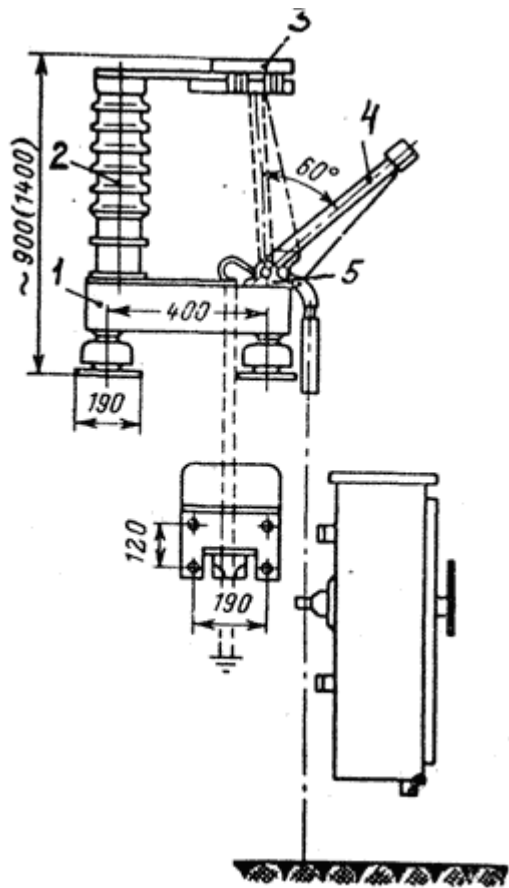


Рис 3.6. Креслення короткозамикача КЗ-35

$$U_n = 35 \text{ кВ}, I_{\text{ел.дин}} = 42 \text{ кА}, I_{\text{терм.ст.}} = 18 \text{ кА}.$$

За вимогами ПУЕ опір заземлення в установках зі струмами замикання на землю ( $I_z > 500 \text{ А}$ ) дорівнює  $R_z = 0,5 \text{ Ом}$ .

Вибираємо заземлювач типу ЗОН-110М-1-400:

						ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			60

- номінальна напруга  $U_H = 110$  кВ;
- номінальний струм  $I_H = 500$  А;
- амплітуда граничного струму  $I_{пр.ст.} = 16$  кА;
- номінальний струм термічної стійкості  $I_{т.ст.} = 6,3$  кА.

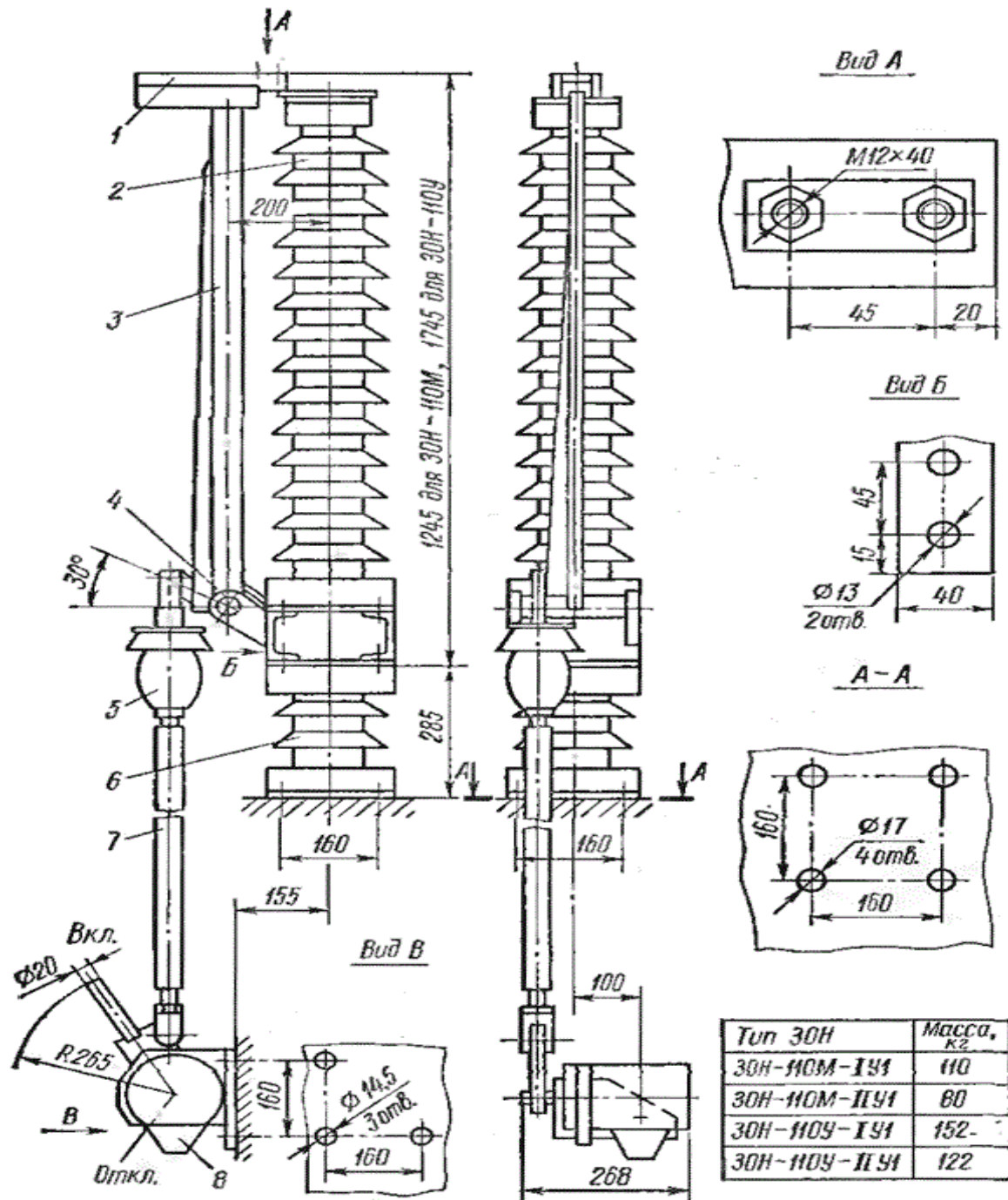


Рис.3.7. Креслення засполювача 30H-110M-1-400

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

ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06

Арк.

61

Вибираємо роз'єднувач РВР-III-10/2000 УЗ:

- номінальна напруга  $U_H = 10$  кВ;
- максимальна робоча напруга  $U_{p,max} = 12$  кВ;
- граничний сквозний струм – 85 кА;
- струм термічної стійкості – 31,5 кА.

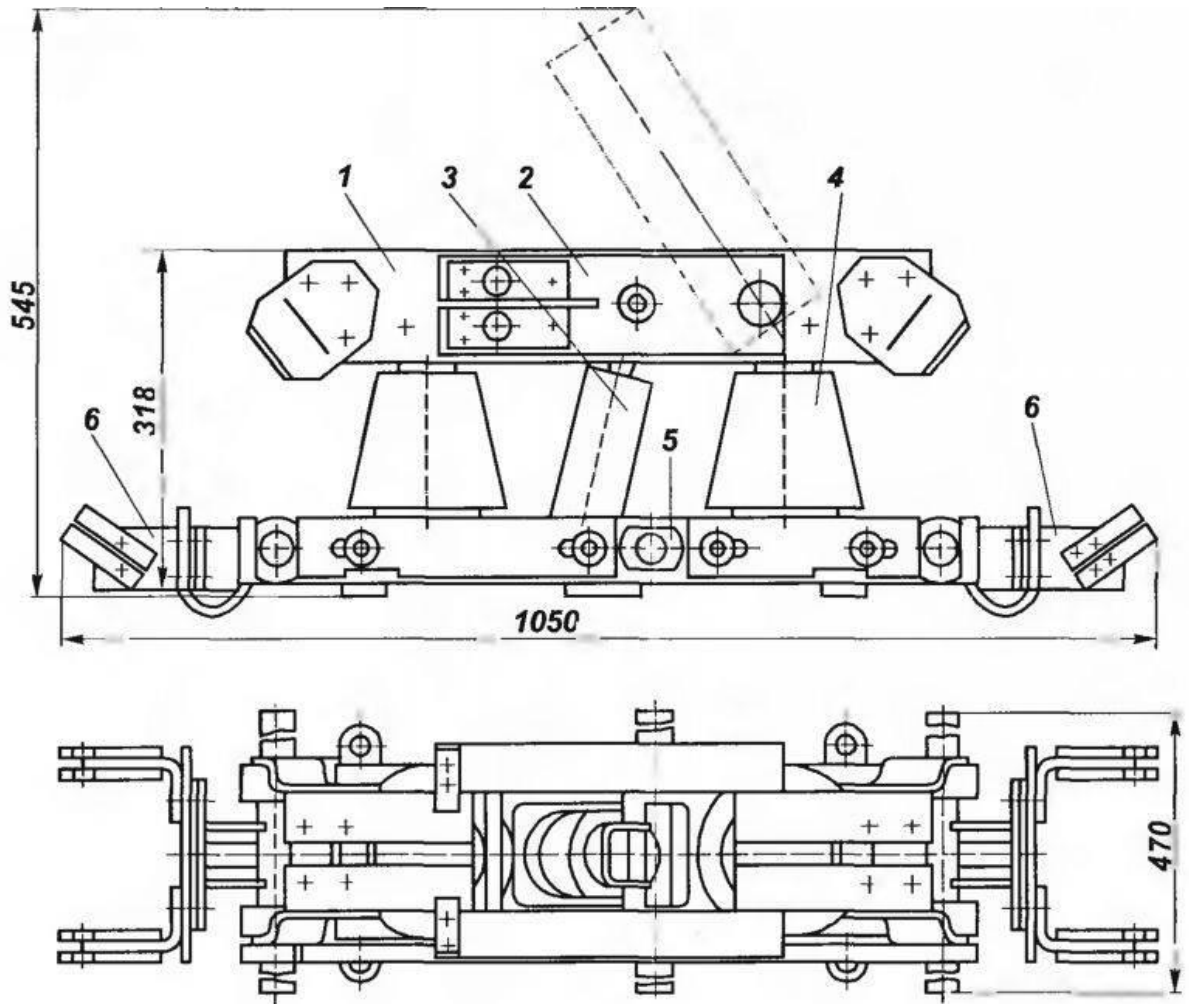


Рис 3.8. Креслення роз'єднувача РВР-III-10/2000 УЗ

Силові запобіжники на напругу вище 1000 В для внутрішньої установки типу ПК 6:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		62

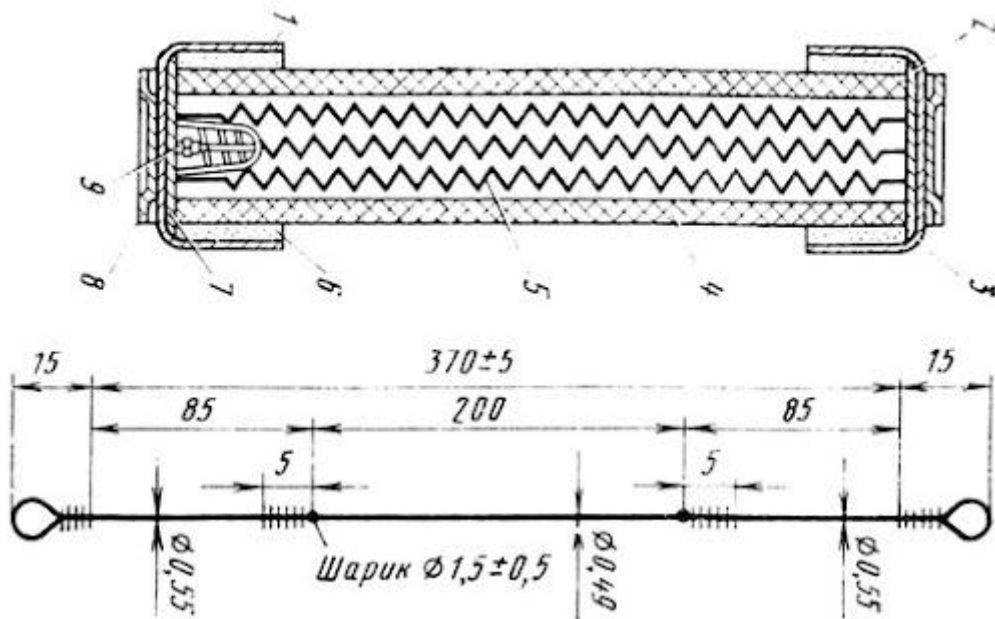


Рис 3.9 Креслення запобіжника ПК-6

$$I_{max} = 20 \text{ кА}; \quad I_{гр.в} = 35 \text{ кА}; \quad S_{max \text{ 3фаз}} = 20 \text{ МВА}.$$

### 3.5 Розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1000 В.

Проводячи розрахунок струмів короткого замикання в мережі до 1 кВ необхідно урахувати величини не тільки індуктивних опорів споживачів, але й активні опори.

Приймаємо базисні величини:

- 1) Напряга  $U_6 = 0,4 \text{ кВ}$  ;
- 2) Потужність  $S_6 = 100 \text{ МВА}$  .

Розрахунковий базисний струм буде дорівнювати:

$$I_6 = \frac{S_6}{1,73 \cdot U_6} = \frac{100}{1,73 \cdot 0,4} = 144,45 \text{ кА} . \#(3.104)$$

						ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			63



Визначаємо розрахункові значення реактивних опорів струмів і потужності к.з.:

- реактивний опір трансформатора ТСЗ-1000/10 (6/0,4) у в.о.:

$$X_{mp(0,4)} = \frac{u_H \% \cdot S_{\bar{6}}}{100 \cdot S_H} = \frac{5,5 \cdot 100 \cdot 10^6}{100 \cdot 1000 \cdot 10^3} = 5,5 \#(3.105)$$

- активний опір трансформатора ТСЗ-1000/10 (6/0,4) у в.о.:

$$r_{tp(0,4)} = \frac{\Delta P_M \cdot S_{\bar{6}}}{S_H \cdot S_H} = \frac{11,2 \cdot 100 \cdot 10^6}{1000 \cdot 1000 \cdot 10^6} = 1,12 ; \#(3.106)$$

- відносний базисний опір системи до цехового трансформатора приймають рівним нулеві:  $X_c = 0$  ;

- відносний базисний опір трансформатора ТДН-20000/35 (35/6):

$$X_{tp(6)} = \frac{u_K \% \cdot S_{\bar{6}}}{100 \cdot S_{HC}} = \frac{8,3 \cdot 100 \cdot 10^6}{100 \cdot 20000 \cdot 10^3} = 0,415 ; \#(3.107)$$

- активний опір трансформатора (35/6):

$$r_{tp(6)} = \frac{\Delta P_M \cdot S_{\bar{6}}}{S_H \cdot S_H} = \frac{130 \cdot 100}{20000 \cdot 2000} = 0,033 ; \#(3.108)$$

- відносний реактивний опір кабельної лінії 6,3 кВ

$$X_{L(6)} = \frac{X_{ол} \cdot l_L \cdot S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2} = \frac{0,24 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 100}{0,4^2} = 0,038 ; \#(3.109)$$

де  $X_{ол} = 0,24$  мОм/км- індуктивний опір кабеля  $70 \text{ мм}^2$ ;

$l_L = 0,25$  км - довжина кабельної лінії від трансформатора до точки к.з.;

- відносний активний опір кабеля  $185 \text{ мм}^2$  :

$$r_{L(6)} = \frac{r_{ол} \cdot l_L \cdot S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2} = \frac{0,47 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 100}{0,4^2} = 0,073 ; \#(3.110)$$

де  $r_{ол} = 0,47$  - мОм/км - активний опір кабеля  $70 \text{ мм}^2$ ;

- індуктивний опір шин 6 кВ перерізом  $80 \times 8$  мм:

$$X_{ш(6)} = \frac{X_{ош} \cdot l_{ш} \cdot S_{\bar{6}}}{U_{\bar{6}}^2} = \frac{0,170 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05 \cdot 100}{0,4^2} = 0,005313 ; \#(3.111)$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де  $X_{\text{ош}} = 0,170$  мОм/км - індуктивний питомий опір шини 80x10 мм;

$l_{\text{ш}} = 0,05$  км - довжина шини;

- відносний активний опір алюмінієвих шин 6 кВ перерізом 80x10 мм:

$$r_{\text{ш}(6)} = \frac{r_{\text{ош}} \cdot l_{\text{ш}} \cdot S_6}{U_6^2} = \frac{0,044 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05 \cdot 100}{0,4^2} = 0,0014 ; \#(3.112)$$

де  $r_{\text{ош}} = 0,044$  мОм/м - активний питомий опір алюмінієвих шин 80x10 мм;

- значення перехідного опору контактів рубильника:

$$r_{\text{р}(6)} = \frac{r_{\text{ор}} \cdot S_6}{U_6^2} = \frac{0,08 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{0,4^2} = 0,05 ; \#(3.113)$$

де  $r_{\text{ор}} = 0,08$  мОм - перехідний опір контактів при номінальному струмі більшому 1000 А;

Визначаємо сумарний реактивний опір у точці К2 на стороні 0,4 кВ:

$$\begin{aligned} X_{\Sigma 0,4} &= X_{\text{тр}(6)} + X_{L(6)} + X_{\text{тр}(0,4)} + X_{\text{ш}(6)} = 0,415 + 0,038 + 5,5 + 0,005 = \\ &= 5,958 ; \end{aligned}$$

Визначаємо сумарний активний опір у точці К2 на стороні 0,4 кВ:

$$\begin{aligned} r_{\Sigma 0,4} &= r_{\text{тр}(6)} + r_{L(6)} + r_{\text{тр}(0,4)} + r_{\text{ш}(6)} + r_{\text{р}} = \\ &= 0,033 + 0,073 + 1,12 + 0,0014 + 0,05 = 1,277 ; \end{aligned}$$

Визначаємо повний опір у точці К2:

$$z = \sqrt{X_{\Sigma 0,4}^2 + r_{\Sigma 0,4}^2} = \sqrt{6^2 + 1,3^2} = 6,139 ; \#(3.116)$$

Тоді струм к.з. у точці К2 дорівнює:

$$I_{\text{кз2}} = \frac{I_6}{z} = \frac{144,5}{6,139} = 23,5 \text{ кА} ; \#(3.117)$$

Ударний струм к.з. визначаємо за формулою:

$$I_{\text{у2}} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{\text{кз2}} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 23,5 = 59,6 \text{ кА} . \#(3.118)$$

Визначимо ударний струм з урахуванням електродвигунів. Номінальний струм двигуна вентилятора:

$$I_{\text{нд}} = \frac{nP_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \eta_{\text{н}} \cos_{\text{н}}} = \frac{8 \cdot 18500}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,885 \cdot 0,88} = 28 \text{ А} . \#(3.119)$$

За формулою визначимо величину динамічного струму у шинах:

$$I_y = k_y \cdot 1,41 \cdot I_{кз2} + 6,5 \cdot I_{нд} = 1,8 \cdot 1,41 \cdot 23,5 + 6,5 \cdot 0,028 = 60 \text{ кА} . \#(3.120)$$

Потужність короткого замикання на стороні 0,4 кВ:

$$S_{кз0,4} = \frac{S_{\delta}}{X_{\Sigma 2}} = \frac{100}{6,139} = 16,3 \text{ МВА} . \#(3.130)$$

Повна розрахункова потужність визначається за параметрами вибраного трансформатора (табл.3.1.)  $S = 1000 \text{ кВА}$  .

Тоді розрахунковий струм дорівнює:

$$I_{p2} = \frac{S_{p2}}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1,4 \text{ кА} . \#(3.131)$$

### 3.6 Вибір апаратури і струмоведучих частин у мережі до 1000 В.

*Вибір струмоведучих шин.*

За величиною розрахункового струму  $I_{p1} = 1,4 \text{ кА}$  вибираємо алюмінієві шини на струмове навантаження 1480 А розміром  $h = 8,0 \text{ см}$ ,  $b = 1 \text{ см}$  з відстанню між ізоляторами  $L = 250 \text{ мм}$ , а між шинами  $a = 150 \text{ мм}$ .

Перевіряємо шини на динамічну стійкість:

$$i_{дн} = \sqrt{\frac{10 \cdot G \cdot W \cdot a \cdot 10}{1,76 \cdot L}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 90 \cdot 10,7 \cdot 150 \cdot 10}{1,76 \cdot 250}} = 180 \text{ кА} ; \#(3.132)$$

де  $G = 90 \text{ МПа}$  – припустима напруга в матеріалі шини;

$W$  - момент опору шини відносно осі.

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{1 \cdot 64}{6} = 10,7 . \#(3.133)$$

За паспортними даними стійкість прийнятих шин  $60 < 180 \text{ кА}$ .

Перевіряємо переріз шин за термічною стійкістю:

$$S_{ш} = \frac{I_{кзш} \cdot \sqrt{t_{пр}}}{c} = \frac{23500 \cdot \sqrt{0,2}}{85} = 124 \text{ мм}^2 , \#(3.134)$$

де  $t_{пр} = 0,2 \text{ с}$  - час дії струму к.з.;

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$c = 85 \text{ Ас}^2/\text{мм}^2$  - коефіцієнт, який відповідає різниці теплоти, виділеної в алюмінієвих шинах до і після к.з.

*Вибір кабелів.*

Вибираємо кабель для двигуна вентилятора ( $I_p = 28 \text{ А}$ ) за величиною розрахункового струму, а саме алюмінієвий 3-х жильний провід з перерізом жил (3x50).

Перевіряємо кабель за термостійкістю струму к.з. при його сталому значенні (на кожну жилу):

$$S_{min} = 41 \text{ мм}^2 .$$

*Вибір пуско-захисної апаратури двигунів дробарки.*

Номинальний струм двигуна дробарки:

$$I_{нд} = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \eta_H \cdot \cos\varphi_H} = \frac{1850}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,885 \cdot 0,88} = 28 \text{ А} . \#(3.135)$$

Піковий струм дорівнює пусковому струму двигуна  $I_{п} = 7 \cdot I_{нд} = 7 \cdot 28 = 196 \text{ А}$  . Вибираємо дрiт марки АПРТО (переріз жили  $2,5 \text{ мм}^2$  ,  $I_H = 20 \text{ А}$ ).



Рис 3.10. Зображення кабелю АПРТО

Плавка вставка вибирається з умов:

1)  $I_{\Sigma c} \geq I_p$  ; 2)  $I_{\Sigma c} \geq \frac{I_{п}}{k}$  ,  $k = 1,6$  при захисті двигунів відповідальних механізмів.

$$I_{п} = I_p + 7 \cdot I_{нд} \cdot \frac{I_p}{\Sigma I_H} \approx 200 \text{ А} . \#(3.136)$$

За першого умовою  $I_{\Sigma c} = 35 \geq I_{нд} = 28 \text{ А}$  ;

				ЕТФ:КНУ:РБ:141.24.304-06		АВК
ЗМН.	АВК	№ 80300М	ПІВНІС	Дата		
						66

за другою умовою  $I_{\text{вс}} \geq I_n/k \geq 200/2,5 = 80 \text{ А}$ .

За другою умовою вибираємо плавку вставку  $I_{\text{вс}} = 80 \text{ А}$ .

Перевіримо дрiт перерiзом  $4 \text{ мм}^2$  на захищенiсть вiд перевантаження:

$$I_{\text{доп}} \geq \frac{k_3 \cdot I_3}{k} \#(3.137)$$

де  $k_3 = 1, k = 1$  - за номiнальних умов прокладки дроту.

Так як

$$\frac{k_3 \cdot I_3}{k} = \frac{1 \cdot 180}{1} = 180 > I_n = 28 \text{ А},$$

то вибраний дрiт перерiзом  $s=4 \text{ мм}^2$  не буде захищений вiд перевантаження.

Необхiдно прийняти дрiт перерiзом  $s=25 \text{ мм}^2$  на припустимий струм  $I_n = 80 \text{ А}$ .

*Захист автоматичними вимикачами.*

Вимикачi вибираються за умов:

1) номiнальний струм електромагнiтного або комбiнованого розчеплювача вибирається за значенням тривалого розрахункового струму лiнii:

$$I_{\text{ел}} \geq I_p ;$$

2) струм спрацьовування (вiдсiчки) електромагнiтного або комбiнованого розчеплювача перевіряється за пiковим струмом лiнii:

$$I_{\text{спел}} \geq k I_n, k = 1,25 ;$$

для бiльшостi автоматiв:

$$I_{\text{спел}} \geq k \cdot I_n = 1,25 \cdot 200 = 250 \text{ А}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач А 3140:

- номiнальний струм вимикача – 600 А;
- комбiнований розчеплювач;
- число полюсiв – 2.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Пiдпис	Дата		

## Список джерел

1. «Електропостачання промислових підприємств» Автор: А. Г. Волошин  
Видавництво: Техніка Місто: Київ Рік: 2017
2. «Електропостачання сільськогосподарських підприємств» Автор: І. П. Коваль  
Видавництво: Урожай Місто: Київ Рік: 2016
- 3 «Електричні машини та апарати» Автор: В. В. Білан  
Видавництво: Каравела Місто: Харків Рік: 2018
4. «Електроприводи та їх системи» Автор: М. С. Дубровін  
Видавництво: Ліра-К Місто: Дніпро Рік: 2019
5. «Сучасні електроприводи» Автор: О. В. Іванов  
Видавництво: Інститут електродинаміки НАН України Місто: Київ Рік: 2020
6. «Електричні мережі та системи» Автор: П. М. Харченко  
Видавництво: Видавничий дім "Слово" Місто: Львів Рік: 2015
7. «Електротехнічні матеріали та їх властивості» Автор: Н. С. Гончар  
Видавництво: Видавництво НТУ "ХПІ" Місто: Харків Рік: 2017
8. «Системи електропостачання та їх елементи» Автор: Л. М. Кучер  
Видавництво: Аграрна наука Місто: Київ Рік: 2018
9. «Перетворювальні пристрої електропостачання» Автор: Д. В. Ситник  
Видавництво: Техніка Місто: Київ Рік: 2016
10. «Основи електротехніки» Автор: М. М. Петренко  
Видавництво: Ліра-К Місто: Дніпро Рік: 2015
11. «Електропостачання будівель та споруд» Автор: І. В. Левченко  
Видавництво: Будівельник Місто: Київ Рік: 2018
12. «Дробарки та їх експлуатація» Автор: О. С. Шевченко  
Видавництво: НТУУ "КПІ" Місто: Київ Рік: 2019

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

13. **«Проектування систем електропостачання»** Автор: В. О. Ковальчук  
Видавництво: Техніка Місто: Київ Рік: 2020

14. **«Розрахунки електропостачальних систем»** Автор: Н. О. Ткаченко  
Видавництво: Аграрна наука Місто: Київ Рік: 2017

15 **«Електричні машини: теорія та розрахунки»** Автор: В. С. Мельничук  
Видавництво: Каравела Місто: Харків Рік: 2019

16. **«Спеціальні методи розрахунку електромеханічних систем».** Автор:  
Толмачов С.Т., Щокін В.П. Методичні вказівки до лабораторних робіт та  
розрахункові завдання з курсу Кривий Ріг, КТУ, 2002.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.24.304-06	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		