

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

«Електромеханічне обладнання ділянки головного водовідливу шахти
«Криворізька» АТ «КЗРК» м. Кривий Ріг»

Виконав: здобувач вищої освіти групи ЕЕМ-21-1 Володимир ЛИХОПАВЛО

Керівник випускної роботи к.т.н., доц. Ільченко О.В.

Нормоконтролер к.т.н., доц.

Декан ЕТФ к.т.н., доц. Федотов В.О.

Гарант освітньої програми к.т.н., доц. Пересунько І.І.

Кривий Ріг
2025 р.

ЗАЯВА

щодо самостійності виконання кваліфікаційної роботи

Я, Лихопавло Володимир Юрійович, здобувач вищої освіти за першим (бакалаврським) рівнем за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка заявляю, що моя кваліфікаційна робота, яка подана до екзаменаційної комісії для публічного захисту, виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше кваліфікаційних робіт, кандидатських і докторських дисертацій мають відповідні посилання.

Я ознайомлений з діючим Положенням про академічну доброчесність у Криворізькому національному університеті. Згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску письмової роботи до захисту та застосування дисциплінарних заходів.

___ червня 2025 р.

_____ (підпис)

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Лихопавла Володимира Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Електромеханічне обладнання ділянки головного водовідливу шахти «Криворізька» АТ «КЗРК» м. Кривий Ріг

2. Строк подання студентом роботи червня 2022 р.

3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи *Полишення роботи водовідливу шахта «Криворізька»*

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)_____

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)_____

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ільченко О.В.		
II	Ільченко О.В.		
III	Ільченко О.В.		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін виконання
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

Дата видачі завдання _____ 2025р.

Здобувач вищої освіти _____ Володимир ЛИХОПАВЛО
(підпис) (Ім'я Прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис) (Ім'я Прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему «Електромеханічне обладнання дільниці головного водовідливу шахти «Криворізька» АТ «КЗРК» м. Кривий Ріг:

___ стор., ___ рис., ___ табл., ___ формула, ___ джерел літератури.

Досліджуваний об'єкт – Водовідлив шахти «Криворізька»

В умовах військового стану, коли за певних обставин робота Криворізького залізорудного комбінату було зупинена. Тому видобуток руди також було зупинено, але перед підприємством постає питання затоплення шахт. Для того, щоб це не відбулося, прийняте рішення для подальшої роботи водовідливів шахт.

Умови роботи шахтних водовідливних установок значно відрізняється від умов роботи насосних станцій на поверхні, що пояснюється великою глибиною шахт, гірничо-геологічними особливостями родовищ, наявністю раптових підвищених приток шахтних вод і спеціальними вимогами правил техніки безпеки.

Надійна робота водовідливних установок – одна з необхідних умов для забезпечення планомірної роботи гірських підприємств.

В роботі розглянуті питання розробки автоматизованого електропривода головного водовідливу шахти «Криворізька» при забезпеченні надійності роботи, безпека і зменшення трудомісткості процесів, оскільки шахтний водовідлив належить до трудомістких допоміжних процесів гірського виробництва, збільшення терміну служби водовідливних установок і їх економічності роботи, оскільки водовідлив є одним з найенергоємніших процесів.

В розділах роботи проведено аналіз водовідливу шахти, вибрана водовідливна установка та допоміжне електротехнічне обладнання, проведено розрахунок засобів автоматизації за системою ТПЧ-АД.

В роботі обґрунтовано, що модернізація головного водовідливу шахти «Криворізька» забезпечує: підвищення безпеки і надійності роботи водовідливу, зменшує витрати на капітальний і поточний ремонт устаткування і є більш економічно ефективним.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ЕНЕРГОЄМНИЙ ОБ'ЄКТ ШАХТИ, ВОДОВІДЛИВ, АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248с12.05.25.6.Р.			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата	Реферат	Лім.	Лист	Листів
Розробив	Лихопавло В							
Перевірів	Ільченко О.В.							
Реценз.						ЕЕМ-21- 1		
Н. Контр.								
Затвердив								

ЗМІСТ

Вступ.....	6
РОЗДІЛ І.....	7
1.1 Загальні відомості про підприємство.....	8
1.2 Водовідлив шахти «Криворізька».....	9
1.3 Розрахунок водовідливної установки та вибір електродвигуна та насосу.....	9
1.3.1 Розрахунок опору трубопроводу.....	10
1.3.2 Вибір насосу.....	13
1.3.3 Робоча характеристика насосу. Зовнішня характеристика мережі.....	13
1.3.4 Розрахунок потужності двигуна.....	15
1.4 Обґрунтування і вибір системи електроприводу водовідливної установки.....	15
РОЗДІЛ ІІ.....	17
2.1 Розрахунок системи керування електродвигуном.....	18
2.1.1 Складання схеми заміщення, математичний опис і розрахунок механічних і енергетичних характеристик.....	18
2.1.2 Розрахунок механічних характеристик при частотах 50 Гц, 35 Гц і 15 Гц.....	19
2.2 Розрахунок статичних характеристик насосу при зміні частоти.....	21
2.3 Розрахунок динамічних характеристик у системі ПЧ-АД.....	24
2.4 Розробка вузлів електричного захисту електроприводу.....	25
РОЗДІЛ ІІІ.....	27
3.1 Опис електропостачання і електрообладнання поверхневих і підземних об'єктів шахти	28
3.2 Електрообладнання та електропостачання підприємства	29
3.3 Визначення навантажень та вибір силового трансформатора дільниці шахти	29
3.4 Розрахунок струмів короткого замикання.....	30
3.5 Вибір та розрахунок шин	33
3.6 Вибір силового кабелю	34
3.6.1 Вибір силового кабелю, що живить двигун насоса ЦНС 300/540	34
3.6.2 Вибір силового кабелю, живлячого трансформатор ТС – 2,6/6.....	35
3.7 Вибір апаратури захисту у мережі напругою більше 1 кВ.....	35
3.8 Вибір низьковольтної апаратури.....	36
3.8.1 Вибір апаратури захисту у мережі до 1 кВ	36
3.8.2 Вибір магнітних пускатів.....	36
3.8.3 Вибір силового кабелю	36

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248с12.05.25.6.3.			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата				
Розробив	Лихопавло В				Зміст	Літ.	Лист	Листів
Перевірів	Ільченко О.В.							
Реценз.						ЕЕМ-21- 1		
Н. Контр.								
Затвердив								

Вступ

Водовідлив шахти є важливим гірничотехнічним процесом шахти, від надійної роботи якого залежить безперебійність і безпека роботи шахти в цілому. Шахтні водовідливні установки виконують відповідальне завдання – запобігають заповненню гірських вироблень підземними водами, що пред'являє дуже високі вимоги до надійності цих установок. В сучасному стані водовідлив шахт відіграє дуже важливу роль, тому що більшість підприємств було зупинене, в зв'язку із воєнним станом в Україні.

Надійна робота водовідливних установок – одна з необхідних умов для забезпечення планомірної роботи гірських підприємств.

Економічна і надійна робота водовідливної установки переважно визначається фактичним режимом роботи насоса, який в процесі експлуатації постійно змінюється в результаті підвищеного зносу устаткування при перекачуванні вод з включенням твердих часток, кислих вод, "заростанні" елементів трубопровідної мережі.

Довгий час регулювання продуктивністю насосних агрегатів робилося неефективними способами, без застосування ресурсів, які має електропривод. Двигуни постійного струму, які володіють широким діапазоном плавного регулювання швидкості, допускають значні перевантаження по моменту, мають високий ККД, в широкому діапазоні регулювання частоти обертання не використовували в водовідливі через їх високу вартість, великі габарити і достатньо низьку надійність порівняно з асинхронними двигунами.

На даному етапі розвитку напівпровідникових систем та вентильного електроприводу при використанні системи «перетворювач частоти – асинхронний двигун» можна досягти характеристик близьких до характеристик двигунів постійного струму, такої ж жорсткості і керованості, але з усіма перевагами двигунів змінного струму.

Перетворювачі частоти отримують все більш широке використання у міру поліпшення якісних показників напівпровідникових елементів, виконання їх на великі струми і напруги, поліпшення перевантажувальних характеристик, вдосконалення схем перетворювачів і схем управління.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248с12.05.25.6.В.			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата				
Розробив	Лихопавло В				Вступ	Літ.	Лист	Листів
Перевірів	Ільченко О.В.							
Реценз.						ЕЕМ-21- 1		
Н. Контр.								
Затвердив								

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО
ОБ’ЄКТУ ТА ЙОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248с12.05.25.6.Р1.			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата				
Розробив	Лихопавло В				Розділ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБ’ЄКТУ ТА ЙОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ	Лім.	Лист	Листів
Перевірів	Ільченко О.В.							
Реценз.						ЕЕМ-21- 1		
Н. Контр.								
Затвердив								

1.1 Загальні відомості про підприємство

«Криворізький залізорудний комбінат» – підприємство з видобутку залізної руди підземним способом, виробництво з багаторічною історією з виробничими потужностями 2,1, 4,5, 2,1, 2,5 млн. тон рік. Але, нажаль, з 2022 року потужності виробництва у зв'язку з повномасштабним вторгненням на територію України значно знизились. З грудня 2024 року добування руди припинено.

В структуру комбінату входять допоміжні підрозділи:

- ремонтно-механічний завод;
- шахтобудівне та шахтомонтажне управління;
- автобаза, управління залізничного транспорту;
- ремонтно-будівельний;
- енергетичний цехи;
- центральна енерголабораторія;
- база матеріально-технічного постачання.

В шахті «Криворізька» дуже круте падіння всіх рудних покладів. Поклади розміщені в глибину під кутом більше 450. Раніше при видобутку запасів горизонту, одночасно проводився розробка і підготовка запасів нових поверхів. Кожен подальший горизонт був розташований на 75-80 м нижче попереднього.

Розробку шахтних полів здійснюють вертикальними стовбурами і поверховими квершлагами з відробітком здвоєними поверхами. Висота поверху рівна 150-160 м. Відособлених поверхів– 75-80 м.

Контактними електровозами К-14 і вагонетками УВГ-10 робиться відкатка руди. Буропідричним способом підготовлюють горизонтальні підготовчі вироблення. Прохідницький комплекс, складається із бурової установки СБКНС-2С, вантажної машини ППН-3А, пневмозарядчика ЗП-2, вентилятору СВМ-5. Прохідницьким комплексом типу КПВ-4, комбайнами 2КВ проводяться вертикальні роботи. 10% робіт звичайним способом: буріння шпурів телескопними перфораторами ПТ-48А.

Більша частина (70%) запасів шахтних полів переробляється за методом камерних систем розробки. Метод полягає у відбою руди з бурових штреків, пройдених по породі. З чотирьох етапів ведеться очисна виїмка:

1. підсочка запасів камери;
2. розворот воронок;
3. виїмка запасів очисної камери;
4. укріплення поточчини і целику.

На шахтах обов'язково передбачене провітрювання з різними діагональними схемами. Повітря (свіже) подається на основні горизонти, на яких проводяться роботи, а також на горизонти, що допрацьовуються.

Виробляється руда залізна агломераційна, містить заліза від 56% до 60%.

До війни «Кривбасзалізрудком» був одним із найбільших підприємств України по добуванні руди підземним способом. Він щорічно забезпечував річний видобуток більше ніж 6 млн. тон залізорудної сировини. Частка видобутку аглоруди на вітчизняному ринку складав більше 40%.

Балансові запаси розвідані на шахті «Криворізька» до глибини 1765 метра. Вони складають 148,1 млн. тон руди з вмістом заліза в ній 56,96 %.

До 2024 року видобуток залізної руди відбувався на горизонті 1315 метра. В мирний час на шахті «Криворізька» відбувалося переоснащення застарілого обладнання, проводилася модернізація виробничих процесів.

					Розділ 1	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2 Водовідлив шахти «Криворізька»

До війни проводилося поглиблення шахтних розробок. Тому було дуже важливо вирішувати проблему виникнення шахтних вод на глибоких горизонтах. Дуже серйозну небезпеку для проведення гірничих робіт на глибоких горизонтах створюються великим тиском шахтних вод. Підвищена температура води створює тяжкі експлуатаційні умови щодо водовідливних установок. Це погіршує всмоктування, утворює кавітації в насосах.

За гідрологічними даними водяний приплив на шахті «Криворізька» складає:

- нормальний – $350 \text{ м}^3/\text{год}$;
- максимальний – $500 \text{ м}^3/\text{год}$.

Багатоступінчасту схему водовідливу має шахта «Криворізька».

Головна водовідливна установка розміщена на горизонті 500 м.

Допоміжні на горизонтах 940 м, 1090 м та 1540 м.

Головна, допоміжні водовідливні установки обладнані відцентровими секційними насосами. Це обумовлюється їх надійністю. Робота цих насосів дуже надійна, у них висока економічність, якщо порівнювати їх із поршневыми аналогами, є можливість використання високошвидкісних електродвигунів, це скорочує їх габарити. Це дає можливість економії за рахунок невисоких витрат на відкачування води.

Водовідливна установка складається:

- з відцентрового насоса, нагнітального;
- всмоктуючого трубопроводу;
- обладнана зворотними клапанами, засувками.

Секційні насоси у шахтах використовуються при подачі води $380 \text{ м}^3/\text{год}$, тиску 600 м, з коефіцієнтом швидкохідності 100[1].

Насоси головного водовідливу типу ЦНС 300-600, встановлені в насосних підземних камерах на бетонних фундаментах, на спеціально виготовлених рамах, що в свою чергу забезпечує якісну центровку з двигуном.

Для безпечного монтажу і обслуговування, а також для розміщення насосних агрегатів визначаються параметри насосних камер. Згідно норм ЕПБ визначається місткість водозбірника. Місткість водозбірника розрахована на чотирьох годинний прийом нормального припливу води.

Вода з горизонту 940 м поступає на горизонт 500 м по повстаючому.

Насос ЦНС 300-600 є горизонтальним, багатоступінчастим, обладнаний вертикальним клемником, розрахований на окремі секції, які скріпляються стяжними болтами, утворюючи єдиний корпус. Насоси ЦНС 300-600 використовуються на шахтах для відкачування нейтральних шахтних вод.

1.3 Розрахунок водовідливної установки та вибір електродвигуна та насосу

Принципова схема головних та допоміжних водовідливних установок ш. «Криворізька» представлена на рисунку 1.2

Найбільший приплив рідини, якій наводить до одного із насосів:

$$Q_n = 36 \text{ м}^3/\text{ч} \quad (1.1)$$

Глибина від водозбору на горизонті 940 м до камери головного водовідливу на горизонті 500 м:

$$H_n = 145 \text{ м} \quad (1.2)$$

Відстань від стволу шахти до насосної камери:

$$L_{n2} = 38 \text{ м} \quad (1.3)$$

					Розділ 1	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Відстань від стволу шахти до камери водовідливу:

$$L_{нз} = 32 \text{ м} \tag{1.4}$$

Насосна камера. Довжина нагнітального патрубку:

$$L_{нл} = 10 \text{ м} \tag{1.5}$$

Висота всмоктувального трубопроводу:

$$H_{вс} = 5 \text{ м} \tag{1.6}$$

Загальні данні для розрахунків:

Прискорення вільного падіння:

$$g = 10 \text{ м}^2/\text{с}$$

Щільність води:

$$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$$

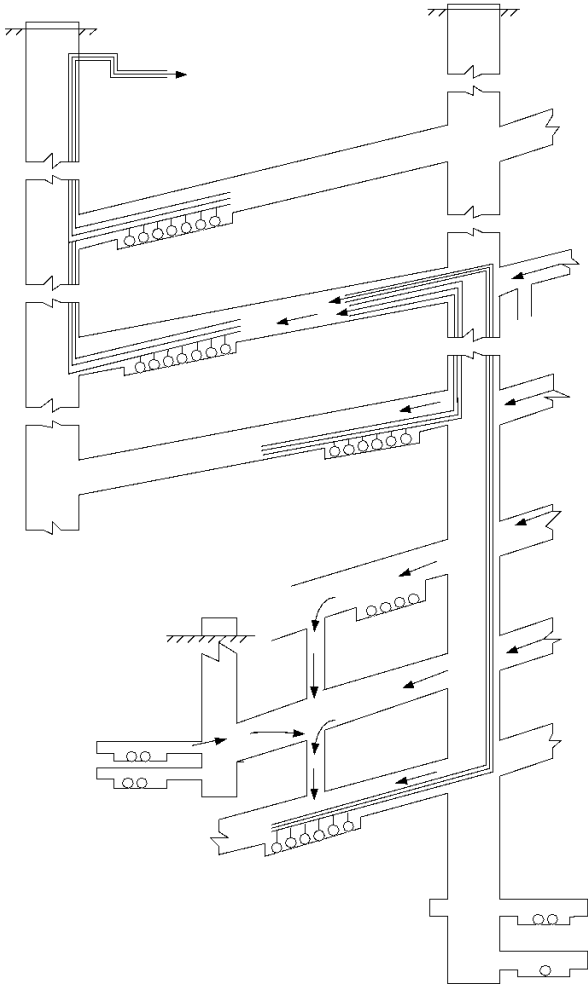


Рисунок 1.2 – Принципова схема головних та допоміжних водовідливних установок ш. «Криворізька»

1.3.1 Розрахунок опору трубопроводу

У трубопроводі максимальний напір:

$$H = 1.1 H_n = 154 \text{ м} \quad (1.7)$$

У трубопроводі максимальний тиск:

$$p = \rho \cdot g \cdot H = 1510740 \text{ Па} \quad (1.8)$$

Знаходимо гідравлічні втрати.

Порахуємо число Рейнольдса:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (1.9)$$

де $\nu = 10^{-6}$ – динамічна в'язкість рідини;

V – швидкість рідини в трубопроводі;

D – діаметр трубопроводу;

- для нагнітаючого трубопроводу:

$$Re_n = \frac{2,5 \cdot 0,168}{10^{-6}} = 420522 \quad (1.10)$$

- для всмоктуючого трубопроводу:

$$Re_v = \frac{0,5 \cdot 0,217}{10^{-6}} = 325735 \quad (1.11)$$

Визначимо коефіцієнт опору по довжині трубопроводу:

$$\lambda_1 = \frac{0,021}{d^{0,3}} \quad (1.12)$$

Всмоктуючий трубопровід. Коефіцієнт опору.

$$\lambda_{1v} = \frac{0,021}{0,217^{0,3}} = 0,0332 \quad (1.13)$$

Нагнітаючий трубопровід. Коефіцієнт опору.

$$\lambda_{1n} = \frac{0,021}{0,168^{0,3}} = 0,0359 \quad (1.14)$$

Втрати напору по довжині трубопроводу:

$$H_1 = \lambda_1 \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (1.15)$$

$$H_{1vc} = \lambda_{1v} \cdot \frac{H_{vc}}{d} \cdot \frac{V_{vc}^2}{2g} = 0,0098, \text{ м} \quad (1.16)$$

$$H_{11} = \lambda_{1n} \cdot \frac{L_{n1}}{d_n} \cdot \frac{V_{n1}^2}{2g} = 0,6800, \text{ м} \quad (1.17)$$

$$H_{12} = \lambda_{1n} \cdot \frac{L_{n2}}{d_n} \cdot \frac{V_{n2}^2}{2g} = 2,4479, \text{ м} \quad (1.18)$$

$$H_{13} = \lambda_{1n} \cdot \frac{L_{n3}}{d_n} \cdot \frac{V_{n3}^2}{2g} = 2,0400, \text{ м} \quad (1.19)$$

$$H_{13} = \lambda_{1n} \cdot \frac{L_{n3}}{d_n} \cdot \frac{V_{n3}^2}{2g} = 10,4717, \text{ м} \quad (1.19)$$

					Розділ 1	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Сумарні втрати напору по довжині:

$$Hl\Sigma = Hl_{\text{вс}} + Hl1 + Hl2 + Hl3 = 15.65 \text{ м} \quad (1.20)$$

Зведений розрахунок довжини трубопроводу:

1. Всмоктуюча ділянка трубопроводу: $V=0.5 \text{ м/с}$; $D=0.217\text{м}$; $R_e=325735$; $\lambda l = 0.0332$; $L=5 \text{ м}$; $Hl=0,0098$
2. Нагнітаюча ділянка трубопроводу в насосній камері: $V=2.5 \text{ м/с}$; $D=0.168\text{м}$; $R_e=420522$; $\lambda l = 0.0359$; $L=5 \text{ м}$; $Hl=0,6800$
3. Довжина ділянки трубопроводу в стволі: $V=2.5 \text{ м/с}$; $D=0.168\text{м}$; $R_e=420522$; $\lambda l = 0.0359$; $L=140 \text{ м}$; $Hl=10,4717$
4. Довжина ділянки трубопроводу від ствола до зливу на горизонті 500м: $V=2.5 \text{ м/с}$; $D=0.168\text{м}$; $R_e=420522$; $\lambda l = 0.0359$; $L=30 \text{ м}$; $Hl=2,0400$
5. Довжина ділянки трубопроводу в трубному ходку: $V=2.5 \text{ м/с}$; $D=0.168\text{м}$; $R_e=420522$; $\lambda l = 0.0359$; $L=36 \text{ м}$; $Hl=2,4479$

Втрати напору на опорах:

Для розрахунку потрібно знати коефіцієнт втрат місцевих опорів λ_m .

- для засувки $\lambda_m = 0,26$;
- для клапану прийомного із сіткою всмоктуючого трубопроводу $\lambda_m = 0,4$;
- для зворотного клапану $\lambda_m = 10$;
- для коліна $\lambda_m = 0,6$.

Визначасмо втрати в засувках:

$$H_{\text{мзав}} = n_{\text{зав}} \cdot \lambda_{\text{зав}} \cdot \frac{V_H^2}{2 \cdot g} = 0,16566 \text{ м} \quad (1.21)$$

Втрати на клапан прийомний з сіткою всмоктуючого трубопроводу:

$$H_{\text{мп}} = n_{\text{мп}} \cdot \lambda_{\text{мп}} \cdot \frac{V_B^2}{2 \cdot g} = 0,45872 \text{ м} \quad (1.22)$$

Втрати в зворотному клапані:

$$H_{\text{мок}} = n_{\text{ок}} \cdot \lambda_{\text{ок}} \cdot \frac{V_H^2}{2 \cdot g} = 6,37106 \text{ м} \quad (1.23)$$

Втрати в колінах нагнітаючого та всмоктуючого трубопроводів:

$$H_{\text{мкн}} = n_{\text{кн}} \cdot \lambda_{\text{к}} \cdot \frac{V_H^2}{2 \cdot g} = 1,33795 \text{ м} \quad (2.24)$$

$$H_{\text{мкв}} = n_{\text{кв}} \cdot \lambda_{\text{к}} \cdot \frac{V_B^2}{2 \cdot g} = 0,06882 \text{ м} \quad (1.25)$$

Сумарні втрати на опори:

$$H_{\text{м}}\Sigma = H_{\text{мзав}} + H_{\text{мп}} + H_{\text{мок}} + H_{\text{мкн}} + H_{\text{мкв}} = 8,404 \text{ м} \quad (1.26)$$

Загальні втрати:

$$\Sigma H_{\text{ш}} = H_{\text{м}}\Sigma + Hl\Sigma = 25.06 \text{ м} \quad (1.27)$$

					Розділ1	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Результати розрахунків втрат на опори трубопроводу зводимо в таблицю 1.3.

Зведені результати:

Опорів: N ; λ_m ; V ; H_m

Коліно в трубопроводі, що всмоктує: $N=1$; $\lambda_m=0,6$; $V=2,5$; $H_m=1$,

У нагнітаючому трубопроводі: $N=7$; $\lambda_m=10$; $V=2,5$; $H_m=6,371$

У зворотному клапані: $N=2$; $\lambda_m=0,26$; $V=2,5$; $H_m=0,166$

У зсуві: $N=2$; $\lambda_m=4$; $V=1,5$; $H_m=0,459$

У прийомному клапані із сіткою $N=1$; $\lambda_m=1,5$; $V=0,069$; $H_m=1,038$

1.3.2 Вибір насосу

$$H_{m.n.} = H_n + \sum H_{ш} = 179.07 \text{ м}$$

$$Q_{m.n.} = Q_n = 40 \text{ м}^3/\text{год}$$

З часом та в зв'язку з обставинами, які пов'язаними із військовим станом та вимушеним простоем шахти «Криворізька» кількість притока підземних вод може зрости, тому обираємо насос: ЦНС 300-600 (рисунок 1.3).



Рисунок 1.3 – Зовнішній вигляд насосу ЦНС 300-600

Насоси призначені для відкачування води[2]. Допустима величина твердих частин не більш 2 мм, всього допускається до 15 % змісту механічних домішок. Температура речовини повинна бути не більше +60°C. Рекомендується насоси ЦНС300-600 використовувати на гірничих підприємствах. Притока води на один насос 180-320 м³/год. Данні до насосу вказані в табл.1.1 (Додаток 1)

1.3.3 Робоча характеристика насосу. Зовнішня характеристика мережі

Зовнішня характеристика системи визначається за формулою:

$$H_{prim}(Q) = H_n + H_{вс} + R_t \cdot Q^2 \quad (1.28)$$

R_t – питомий опір зовнішньої мережі

$$R_{tH} = \left(\frac{\lambda_{H1} \cdot (H_n + L_{H1} + L_{H2} + L_{H3})}{d_H} + n_{завд} \cdot \lambda_{завд} + n_{кп} \cdot \lambda_{кп} + n_{ок} \cdot \lambda_{ок} + n_{кн} \cdot \lambda_{кн} + 1 \right) \cdot \frac{8}{10000000 \cdot \pi^2 \cdot d_B^4 \cdot g} \quad (1.29)$$

					Розділ1	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{t\beta} = \left(\frac{\lambda_{\text{в}} \cdot H_{\text{вс}}}{d_{\text{в}}} + \lambda_{\text{к}} \cdot n_{\text{кв}} + 1 \right) \times \frac{8}{10000000 \cdot \pi^2 \cdot d_{\text{в}}^4 \cdot g} \tag{1.30}$$

$$R_t = R_{t\text{н}} + R_{t\beta} = 0,0000943295 \tag{1.31}$$

Робоча характеристика насоса яка зображена на рисунку 1.4 будується згідно залежності:

$$H_{\text{м}}(Q) = H_{\text{н}} + H_{\text{вс}} + R_t \cdot Q^2 \tag{1.32}$$

$$Q = 0..2Q_{\text{н}}$$

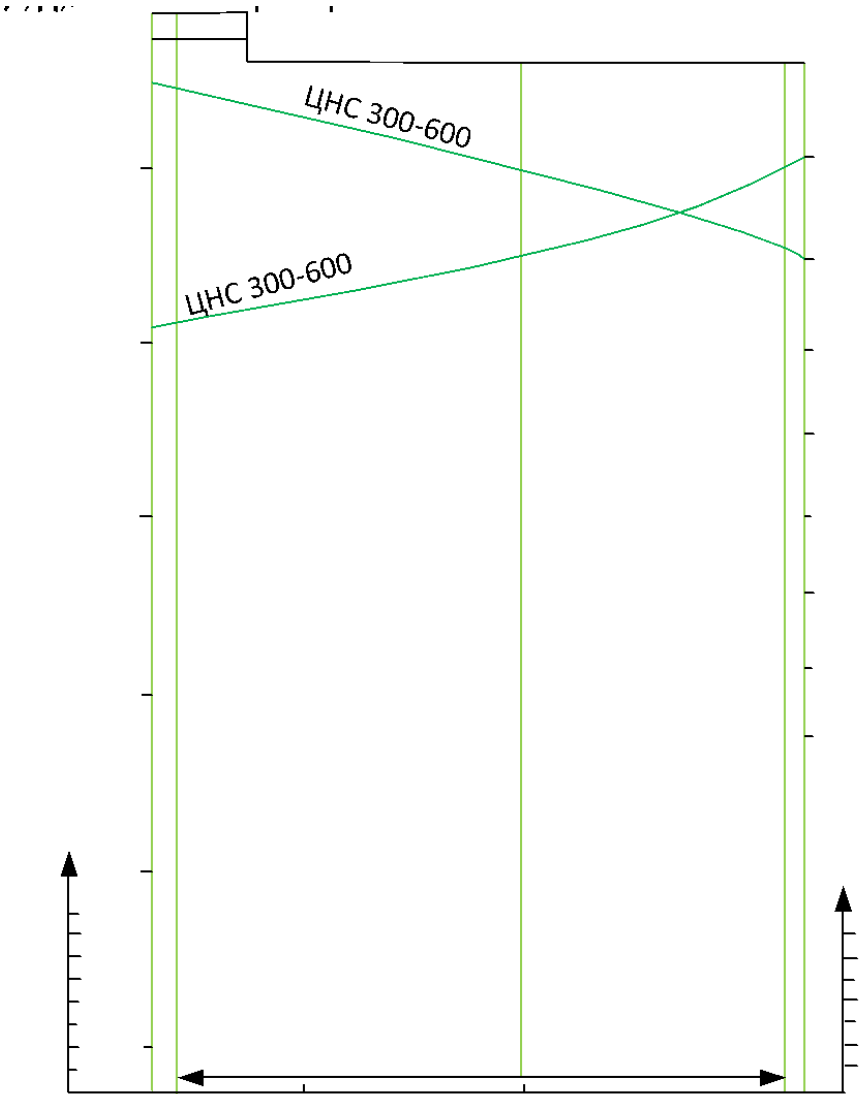


Рисунок 1.4 – Робочі характеристики

1.3.4 Розрахунок потужності двигуна

Потужність дорівнює[3]:

$$N = Q_{\text{раб}} \cdot \frac{P_{\text{раб}}}{10^3 \cdot \eta_{\text{раб}} \cdot 3600} \text{ кВт} \quad (1.33)$$
$$P_{\text{раб}} = \rho \cdot g \cdot H_{\text{раб}} = 5297400 \text{ Па.}$$

$$N = Q_{\text{раб}} \cdot \frac{5297400}{10^3 \cdot 0.7 \cdot 3600} = 630.64 \text{ кВт} \quad (1.34)$$

Попередніми розрахунками підтверджуємо вибір встановленого електричного двигуна ВАО2-560-800-6. В табл. 1.2 приведемо його паспортні параметри (Додаток 2)

1.4 Обґрунтування і вибір системи електроприводу водовідливної установки

Для того, щоб удосконалити економію електроенергії у водовідливах потрібно:

- 1) підвищувати ККД насосів;
- 2) ККД водовідливної установки;
- 3) підпорядкувати графіки навантажень;
- 4) вчасно ремонтувати обладнання.

Досягти підвищення ККД можливо, якщо балансувати робочі колеса, за потребою замінювати ущільнювачі; в зоні найвищого значення ККД треба забезпечити робочу точку насосу.

Підвищення ККД трубопроводу можемо зробити виконуючі наступні умови:

- 1) збільшити перетин труб;
- 2) включати на паралельну роботу резервний нагнітальний став;
- 3) довжину трубопроводу робити меншою;
- 4) замінювати похилі ділянки вертикальними;
- 5) регулярно чистити трубопровід;
- 6) прибирати у трубопроводі зайву арматуру;
- 7) прибирати непотрібні повороти.

Витрата електроенергії по насосній установці за рік (кВт·год/рік) визначається виразом

$$W = \frac{0.00272 \cdot H \cdot Q \cdot T}{\eta_{\text{нс}} \cdot \eta_{\text{тр}} \cdot \eta_{\text{д}}}$$

T – число годин роботи насоса за рік год/рік;

H – висота підйому води, м;

$\eta_{\text{тр}}$ – ККД трубопроводу;

Q – подача, м³/год.

Якщо значення величин, які входять у формулу, будуть змінюватися в процесі роботи то тоді треба рахувати витрату енергії по базовому варіанті. Але також необхідно брати до уваги впроваджених енергозберігаючих заходів. Тоді різниця між витратами енергії дасть економію електроенергії[4].

У даний час регулювання продуктивності насосної установки з використанням відцентрових насосів використовується не часто. Тому що напір і подача буде змінюватися одночасно. В зв'язку з цим регулювання допустимо в невеликому діапазоні для робочої точки з найбільшим ККД.

Здійснюється це за наступних заходів:

- дроселюванням на стороні нагнітального трубопроводу;
- використанням різного виду муфт;
- використанням регульованого електропривода.

Робочий режим в координатах H - Q графічно визначається Точка перетину напірних характеристик насоса і мережі трубопроводу визначає робочий режим за координатами Q , H (графічно).

					Розділ1	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Для того, щоб водовідливна установка працювала з більшою економією, також без аварійних режимів, а ці фактори залежать від умов експлуатації, фактичного режиму роботи насосу від мережі назовні. Знос обладнання при перекачуванні води залежить від якості води. На жаль шахтні води містять різні домішки, вода кисла, забруднена, що призводить до обростання складових трубопроводів.

Тому, треба враховувати, що може статися погіршення робочих параметрів в зв'язку зі зміною характеристик насосу, трубопроводу.

Дуже необхідно в процесі роботи насосу контролювати основні параметри:

- подача;
- тиск.

Чим більше потужність двигуна, тим менше його номінальне ковзання й тим більше завищення потужності потрібно від регульованого електропривода. Тому способи регулювання швидкості двигуна шляхом зміни напруги його живлення є прийнятними тільки для електроприводів малої потужності. З огляду на це електроприводом насосу обирається система ПЧ-АД.

Висновок до I розділу

У першому розділі надано повну характеристику шахти «Криворізька» та її інфраструктури. Описано гірничо-геологічні умови, особливості вентиляції, системи водовідливу, схеми буріння, використання насосів ЦНС 300-600. Проведено техніко-економічне обґрунтування вибору насосів і електродвигуна ВАО2-560-800-6, а також шляхи підвищення їх енергоефективності.

					Розділ1	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА
ТЕХНОЛОГІЧНОГО МЕХАНІЗМУ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248с12.05.25.6.Р2.			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата	Розділ 2 АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТЕХНОЛОГІЧНОГО МЕХАНІЗМУ	Лім.	Лист	Листів
Розробив	Лихопавло В							
Перевірів	Ільченко О.В.							
Реценз.						ЕЕМ-21- 1		
Н. Контр.								
Затвердив								

2.1 Розрахунок системи керування електродвигуном

2.1.1 Складання схеми заміщення, математичний опис і розрахунок механічних і енергетичних характеристик

Вимоги до електроприводу:

1. забезпечення безударного пуску;
2. невелику тривалість пуску;
3. надійний захист від коротких замикань;
4. надійний захист від перевантажень;
5. нульове блокування;
6. нульовий захист.

Загальні вимоги:

- простота, економічність обслуговування;
- мінімальна вага;
- мінімальна габаритні розміри;
- надійність у роботі;
- нагрівання струмоведучих частин, контактної системи апаратів не повинно перевищувати норм встановлених ДСТУ.
- апарати повинні надійно працювати, витримуючи механічні і електромагнітні навантаження без ушкодження.

Г-подібна схема заміщення АД показана на рисунку 2.1[4,5].

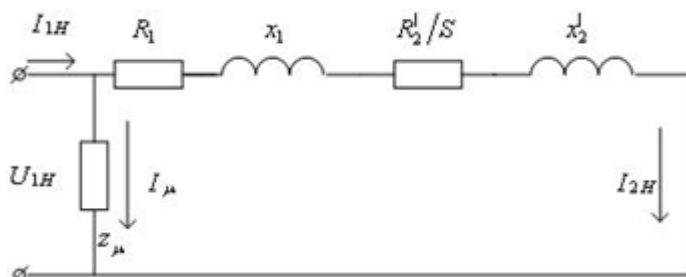


Рисунок 2.1 – Г-подібна схема заміщення АД

Розраховуємо номінальний струм статора:

$$I_1 = \frac{P_1}{\sqrt{3}U_1\eta_H\cos\varphi} = 91,888 \text{ A} \quad (2.1)$$

Приведений струм ротора, при $\lambda_{\max} > 1,7$ з похибкою $\pm 5\%$, дорівнює:

$$I_2 = I_1\cos\varphi = 80,861 \text{ A}; \quad (2.2)$$

Номінальний і критичний момент:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{800 \cdot 10^3}{155,43} = 5161,782 \text{ Нм} \quad (2.3)$$

$$M_K = m_K \cdot M_H = 2,5 \cdot 5143 = 11213,113 \text{ Нм} \quad (2.4)$$

Приведений активний опір фази ротора:

$$R_2' = \frac{M_H s_H \omega_1}{3I_2^2} = 0.416 \text{ Ом} \quad (2.5)$$

$$R_2 = R_2' \cdot 1.551 = 0.473 \text{ Ом} \quad (2.6)$$

					Розділ2	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Струм намагнічування:

$$I_{\mu} = I_1 \left(\sin\varphi - \frac{\cos\varphi}{m_k + \sqrt{m_k^2 - 1}} \right) = 21.978 \text{ A} \quad (2.7)$$

$$\sin\varphi = \sqrt{1 - \cos^2\varphi} = 0,475 \quad (2.8)$$

Індуктивний опір намагнічування:

$$X_{\mu} = \frac{U_1}{\sqrt{3}I_{\mu}} = 91,002 \quad (2.9)$$

Критичне ковзання:

$$S_{KP} = S_H \cdot (\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1}) = 0,48 \quad (2.10)$$

Активний опір фази статора для двигунів даної потужності з номінальною напругою 6 кВ:

$$R_{CT} = \frac{[U_{H\Phi}^2 \cdot (1 - S_H)]}{2 \cdot 1,03 \cdot (P_H + \Delta P_{MEK}) \cdot \lambda_M \cdot [1 + 1,03 \cdot [S_H \cdot (\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1})]^{-1}]} =$$

$$R'_P = 0,475 \text{ Ом} \quad (2.11)$$

Індуктивний опір розсіювання короткого замикання:

$$X_K = \sqrt{\left(\frac{R'_P}{S_{KP}}\right)^2 - R_{CT}^2} = 9,735, \quad (2.12)$$

Критичний момент:

$$M_{KP} = \frac{U_{H\Phi}^2}{2 \cdot \omega_H \cdot (R_{CT} + \sqrt{R_{CT}^2 + X_K^2})} \quad (2.14)$$

$$M_{KP} = 4.142 \times 10^3 (H \cdot m)$$

2.1.2 Розрахунок механічних характеристик при частотах 50 Гц, 35 Гц і 15 Гц[5]

$$M_I(\omega) = \frac{3 \cdot (U \cdot f_I)^2 \cdot \frac{R'_2 \cdot \omega \cdot f_I}{\omega \cdot f_I - \omega}}{\omega \cdot f_I \cdot \left[\left(R_I + \frac{R'_2 \cdot \omega \cdot f_I}{\omega \cdot f_I - \omega} \right)^2 + (x_e \cdot f_I)^2 \right]} \quad (2.13)$$

Індуктивні опори фаз статора (X1) і приведений ротора (X'2)

$$X_1 := \frac{X_K}{2} \quad X_1 = 4,4(\text{Ом})$$

$$X'_2 := X_1 \quad X'_2 = 4,4(\text{Ом}) \quad (2.14)$$

Активний опір дроселя приймемо:

$$R_{дp} \approx (0,1 \cdot 1 \cdot 0,3) \quad R_{\phi.д} = 0,2 \cdot 2 \cdot 0,85 = 0,171(\text{Ом}) \quad (2.15)$$

					Розділ2	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Комутаційний опір випрямляча визначимо за формулою (2.16):

$$R_B = \frac{m \cdot X_{TOP}}{2 \cdot \pi}, \quad (2.16)$$

де m – пульсність схеми ($m = 6$);

X_{TOP} – індуктивний опір струмообмежувальні реактора:

$$X_{TOP} = 2 \cdot \pi \cdot \varphi_C \cdot L_{TOP};$$

де φ_C – Частота живильної мережі;

L_{TOP} – індуктивність струмообмежувальні реактора (з паспортних даних):

Тоді:

$$X_{TOP} = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,763 \cdot 10^{-3} = 0,2397(Ом) \quad (2.17)$$

$$R_{YB} = \frac{6 \cdot 0,2397}{2 \cdot \pi} = 0,2289(Ом) \quad (2.18)$$

Комутаційний опір інвертора (2.19):

$$X_1 = \frac{U_{Л1}}{\sqrt{3} \cdot I_{1\phi} \cdot \lambda_n};$$

$$R_{И2} = \frac{6 \cdot X_1}{2 \cdot \pi},$$

$$R_{И2} = 4,202(Ом); \quad (2.19)$$

де X_1 – індуктивний опір фази асинхронного двигуна:

Тоді сумарний опір дорівнюватиме:

$$R_0 = 2 \cdot 0,637 + 0,562 + 0,064 + 2 \cdot 0,0708 + 4,202 + 0,229 = 7,033(Ом)$$

Сумарну індуктивність знайдемо з формули:

$$L_{\Sigma} := 2 \cdot I_{TOP} + L_{ДР} + 2 \cdot L_{СТ}$$

Індуктивність фази АТ дорівнює:

$$L_{СТ} := \frac{X_K}{2 \cdot \pi \cdot 50} \quad (2.20)$$

$$L_{СТ} = 0,028(Гн)$$

$$L_{\Sigma} := 2 \cdot 7,63 \cdot 10^{-4} + 2 \cdot 0,028 + 0,763 \cdot 10^{-3} = 0,058(Гн) \quad (2.21)$$

Електромагнітна постійна часу буде дорівнює:

$$T_E = \frac{L_0}{R_0} = \frac{0,058}{7,033} = 0,008(с) \quad (2.22)$$

коефіцієнт моменту двигуна:

$$K_M = \frac{M_H}{I_H} = \frac{1613}{29,5} = 44,672(Н \cdot м / А) \quad (2.23)$$

коефіцієнт ЕРС:

$$K_E = \frac{1,35 \cdot U}{\omega_0} = \frac{1,35 \cdot 6000}{157} = 52,261(В \cdot с) \quad (2.24)$$

Коефіцієнт передачі двигуна по управлінню:

$$K_{Д} = \frac{1}{K_E} = \frac{1}{52,261} = 0,019(1 / В \cdot с) \quad (2.25)$$

					Розділ2	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

коефіцієнт посилення тиристорного перетворювача:

$$K_{mn} = \frac{U_d}{U_y} = \frac{8100}{10} = 810 \quad (2.26)$$

Електромеханічна постійна часу буде дорівнювати:

$$T_M = \frac{J_0 \cdot R_0}{k_E \cdot k_M} = \frac{9,51 \cdot 7,033}{52,261 \cdot 44,672} = 0,935(c) \quad (2.27)$$

Розрахунок статичних характеристик розімкнутої системи.

Визначимо похибки регулювання, виходячи з основного рівняння динаміки (2.1):

$$w = \frac{U_n \cdot 1,35}{k_E} - \frac{M_n \cdot R_0}{k_E \cdot k_m} = w_0 - \Delta w \quad (2.28).$$

$$1) \quad w_0 = \frac{U_n \cdot 1,35}{k_E} = \frac{6000 \cdot 1,35}{51,59} = 157(rad/c)$$

$$2) \quad \Delta w = \frac{M_n \cdot R_0}{k_E \cdot k_m} = \frac{1592,35 \cdot 2,408}{51,59 \cdot 44,099} = 1,611(rad/c)$$

2.2 Розрахунок статичних характеристик насосу при зміні частоти

Механічні характеристики

Так як насос має навантаження вентиляторного типу, то оберемо наступний закон керування перетворювачем частоти[6,7]:

$$\frac{U}{f^2} = \text{const} \quad (2.29)$$

Розрахуємо значення кутової швидкості та напруги для обраних значень частоти живлячої мережі за формулами:

$$\omega_z = \frac{2\pi f_z}{p}; \quad (2.30)$$

$$U_z = \frac{f_z^2}{f_n^2} U_n \quad (2.31)$$

Таблиця 2.1 Значення кутової швидкості та напруги для обраних значень частоти (Додаток 3)

Вираз для знаходження моменту як функції від кутової швидкості, частоти та напруги має вигляд:

$$M(\omega, f, U) = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot R_2}{2\pi f s(\omega, f) \left[(R_1 + R_2 / s(\omega, f))^2 + s^2(x_1(f) + x_2(f))^2 \right]} \quad (2.32)$$

Де $s(\omega, f) = 1 - \frac{\omega \cdot p}{2\pi f}$ - функція ковзання від частоти.

					Розділ2	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

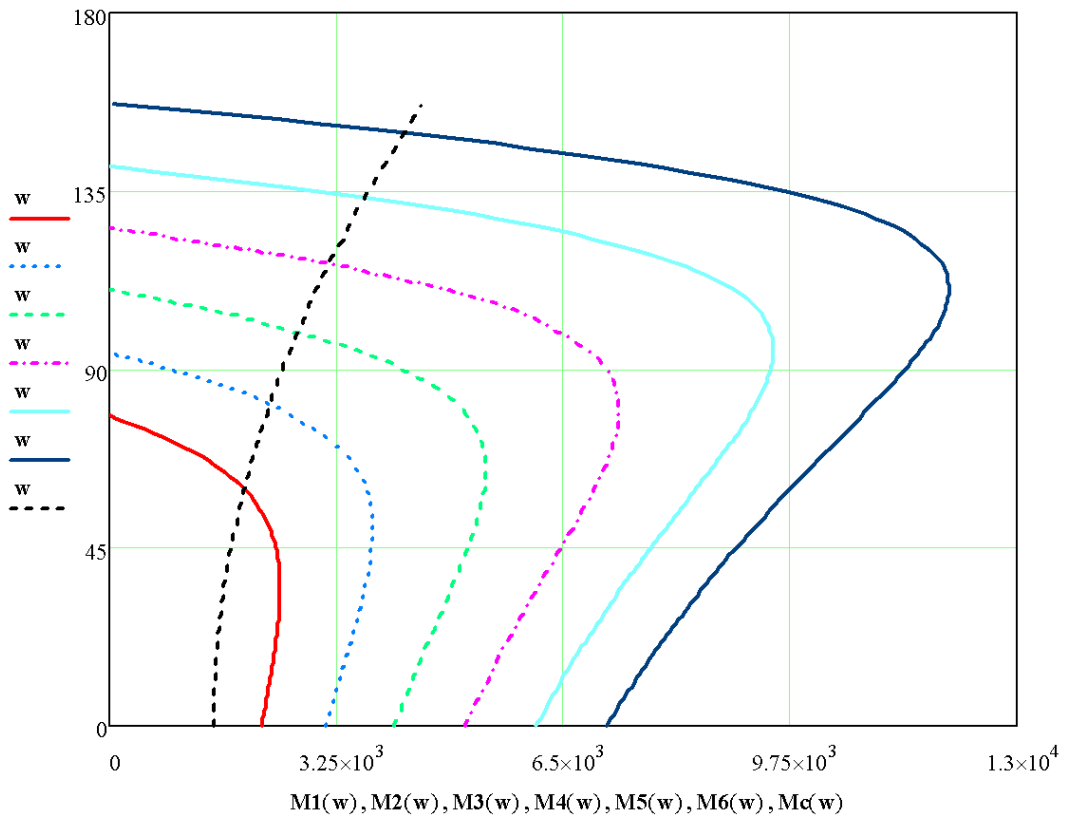


Рисунок 2.2 – Механічна характеристика

Статичний момент моделювався наступним чином, що приблизно відповідає реальному моменту опору системи:

$$M_c(w) = 1500 + 3000 \left(\frac{w}{w_n} \right)^2 \quad (2.33)$$

Швидкісні характеристики

Швидкісні характеристики будуються як функція струму від кутової швидкості, частоти обертання та напруги[9]:

$$I_1(\omega, f, U) = \sqrt{I_2^2(\omega, f, U) + I_\mu^2(\omega, f, U) + 2 \cdot I_\mu(\omega, f, U) \cdot I_2(\omega, f, U) \cdot \sin \varphi_2(\omega, f, U)} \quad (2.34)$$

де $I_2(\omega, f, U)$ - струм ротора, $I_\mu(\omega, f, U)$ - струм намагнічування, λ - кратність критичного моменту:

$$I_2(\omega, f, U) = \frac{U_1}{\sqrt{[(R_1 + R_2/s(\omega, f))^2 + (x_1(f) + x_2(f))^2]}} \quad (2.35)$$

$$\sin \varphi_2(\omega, f, U) = I_2(\omega, f, U) \left(\sin \varphi - \frac{\cos \varphi}{\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}} \right) \quad (2.36)$$

Отже, швидкісна характеристика для обраного діапазону частот надана на рисунку 2.3

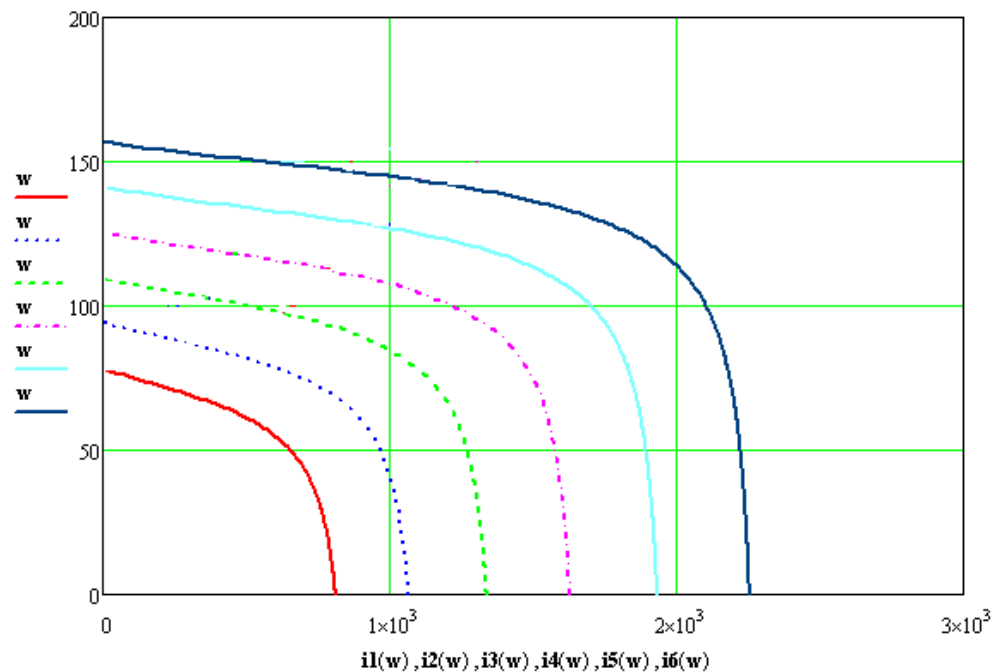


Рисунок 2.3 – Швидкісна характеристика

Енергетичні характеристики

Коефіцієнт корисної дії розраховується як відношення:

$$\eta(\omega, f, U) = \frac{M(\omega, f, U) \cdot \omega}{P_1(\omega, f, U)} \quad (2.37)$$

де $P_1(\omega, f, U)$ - потужність що споживається з мережі:

$$P_1(\omega, f, U) = 3UI_1(\omega, f, U) \cos \varphi_n \quad (2.38)$$

Отже, графічно залежність матиме вигляд наданий на рисунку 2.4.

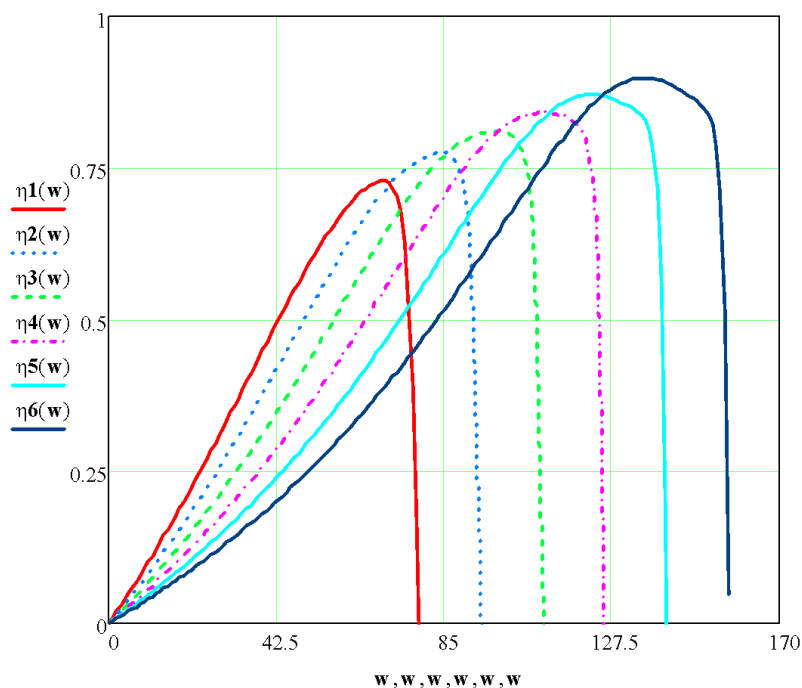


Рисунок 2.4 – Залежність коефіцієнта корисної дії двигуна насоса від частоти

Як видно з рисунку, найбільше значення ККД досягає при номінальній швидкості обертання двигуна.

2.3 Розрахунок динамічних характеристик у системі ПЧ-АД

Сумарний опір силового кола:

$$R_{\Sigma} = 2(R_1 + R_{21}) + R_d + \frac{m}{2\pi} (X_1 + X_{21}) \quad (2.42)$$

Де R_1, R_{21} – опори статора та ротора двигуна[9];

$R_d = 0,1R_1$ – опір дроселя;

X_1, X_{21} – індуктивний опір статора та ротора;

Сумарна індуктивність:

$$L_{\Sigma} = 2(L_1 + L_2) + L_d = 3.872 \text{ Гн} \quad (2.43)$$

де $L_d = 10.5 \text{ мГн}$.

Електромагнітна постійна часу:

$$T_e = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = 0.026 \quad (2.44)$$

Коефіцієнт моменту електродвигуна:

$$K_m = \frac{M_n \sqrt{2}}{I_{1n} \sqrt{3}} = 46.94 \quad (2.45)$$

Коефіцієнт ЕРС електродвигуна:

$$K_e = \frac{6000 \frac{3\sqrt{2}}{\pi}}{\omega_1} = 51.58$$

Коефіцієнт передачі електродвигуна по керуючому впливу:

$$K_d = \frac{1}{K_e} = 0.019 \quad (2.46)$$

Механічна постійна часу:

$$T_m = \frac{R_{\Sigma} J_{\Sigma}}{K_e K_m} = 11.21 \quad (2.47)$$

Характеристика перехідного процесу в системі електропривода носить сталий характер якщо $4T_e < T_m$.

Характеристика стійка.

Структурна модель електропривода за системою ПЧ-АД матиме наступний вигляд (Додаток 4):

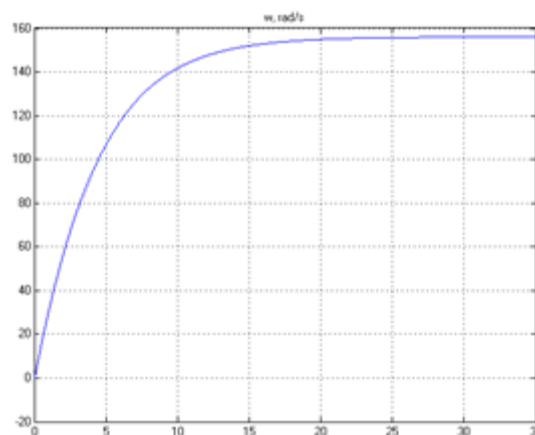


Рисунок 2.6 – Перехідний процес по швидкості при пуску під навантаженням

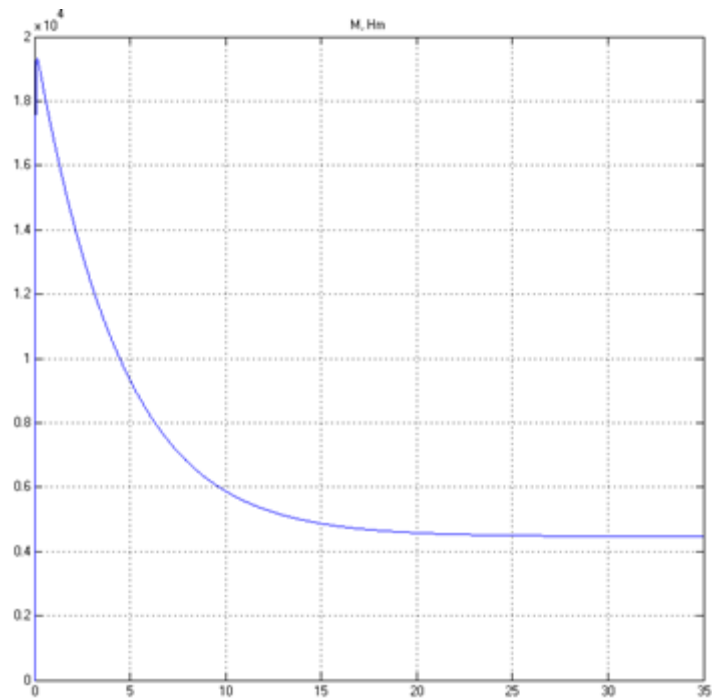


Рисунок 2.7 – Перехідний процес по моменту при пуску під навантаженням

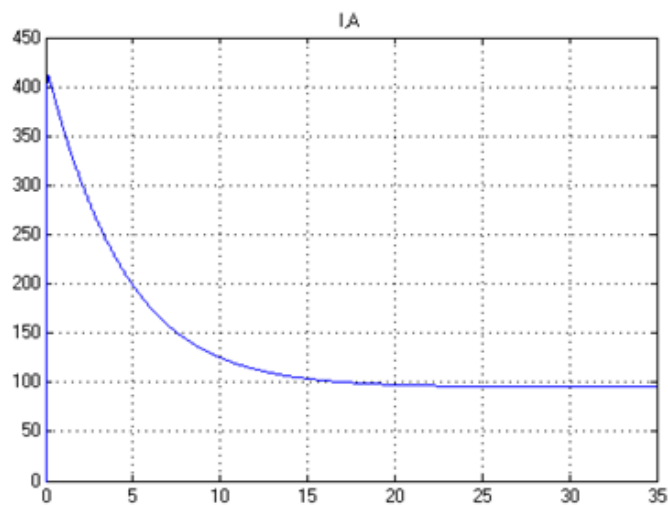


Рисунок 2.8 – Перехідний процес по струму при пуску під навантаженням

2.4 Розробка вузлів електричного захисту електроприводу

Захисту електроприводу повинні забезпечувати задане швидкодію, володіти точністю і надійністю, бути селективними.

Від коротких замикань апарати захищають або автоматами з електророзчіплювачем або автоматами з електромагнітними розчіплювачами або плавкими запобіжниками. Захист від короткого замикання (максимальний струмовий захист) представлений на рис.2.9.

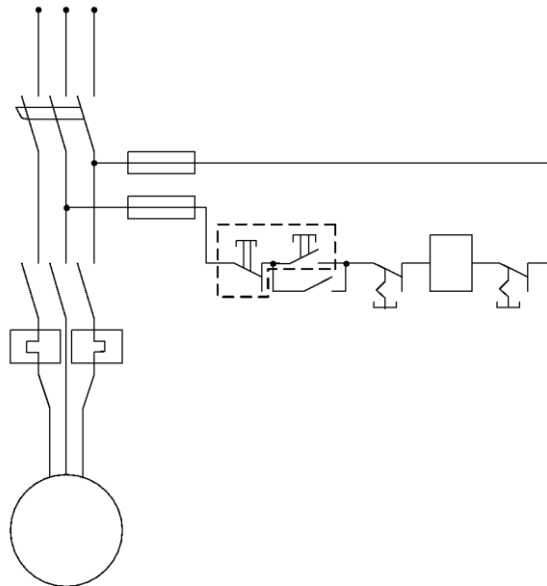


Рисунок 2.9 - Максимальний струмовий захист.

Струм уставки реле струму вибирається наступним чином:

$$I_{уст} = (1,3 - 1,5) \cdot I_{пуск} \quad (2.76)$$

Для асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором захист від обриву фази виконується за допомогою спеціального реле мінімальної напруги (РОФ – реле обриву фази). При нормальній роботі двигуна напруга на РОФ = 0. При обриві однієї з фаз на реле буде подана напруга, рівень спрацьовування реле вибирається в межах 10 – 30% номінальної $U_{ф.с.}$ (Додаток 5)

Захист від перегріву викликаного перевантаженням по струму здійснюють за допомогою високочутливих елементів резисторів (різко підвищують свій опір при нагріванні).

Для захисту силових елементів від перенапруги використовуються різні схеми рішення і елементи. Найбільшого поширення набули розрядні ланцюжка (КС – ланцюжок), яка підключається паралельно до кожного вентиля або входу (для захисту від внутрішніх перенапруги).

Захист від перегріву, викликаного перевантаженням по струму [12]

При тривалому режимі роботи даний захист здійснюється за допомогою 2 теплових реле РТ і 2Р7. Для забезпечення нормального пуску двигуна, контакти РТ, з ручним поверненням, на період пуску шунтуються нормально – замкнутим контактом реле часу. Номінальний струм теплового розчеплювача вибирається рівним номінальному струму двигуна.

У даній схемі автомат комплектується тепловим розчіплювачем, тому установка реле не обов'язкова

Нульовий захист

Нульова захист – захист від надмірного зниження або зникнення напруги. Здійснюється за допомогою лінійних контакторів Л, вимикаючих схему. При відновленні живлення автоматичний повторний запуск неможливий. Якщо у пусковій схемі присутня командоконтроллера, То даний вид захисту дозволяє повторне включення тільки після установки командоконтроллера в нульове положення.

Висновок до II розділу

Розділ присвячений моделюванню та розрахункам електроприводу водовідливної установки. Детально розглянуто механічні, енергетичні, динамічні характеристики, визначено оптимальні режими роботи асинхронного двигуна. Сформовано систему захисту (від перенапруг, коротких замикань, перевантаження, обриву фази). Обґрунтовано доцільність використання системи ПЧ–АД для забезпечення ефективності та надійності.

					Розділ 2	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248с12.05.25.6.РЗ.						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата	Розділ 3 ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ				Лім.	Лист	Листів
Розробив	Лихопавло В										
Перевірів	Ільченко О.В.										
Реценз.											
Н. Контр.											
Затвердив											
					ЕЕМ-21-1						

3.1 Опис електропостачання і електрообладнання поверхневих і підземних об'єктів шахти

Для живлення шахтних електромашин та механізмів електроенергією найбільш широке розповсюдження здобув трифазний змінний струм з частотою 50 Гц.

Для електропостачання підземних електроприймачів шахт та рудників використовується напруга 127, 380, 1140 та 6000 В. Для освітлення виробіток рівень напруги – 36 В.

Двигун насосів головного водовідливу та підземних пристроїв використовується в підземних виробітках і живляться від мережі 6 кВ.

Для живлення шахтних електровозів використовується постійний струм з рівнем напруги 250 В. В якості випрямляючої установки застосовуються АТП – 500/275 В.

Для управління мережами автоматики використовується рівень напруги 24 В.

Для живлення споживачів дільниці підстанції використовується рівень напруги 0,4 кВ.

Перехід на напругу 660 В, та 6000 В дозволить забезпечити більш довгу експлуатацію та зменшити переріз кабелів.

Від характеру збитків, які можуть бути нанесені підприємству, через перерви в електропостачанні, всі споживачі згідно ПУЕ (правила улаштування електричних установок) діляться на три категорії. Споживачі дільниці підстанції відносяться до споживачів III категорії.

Вибір схеми електропостачання споживачів.

У нинішній час на шахтах застосовуються два основні способи передачі електричної енергії у підземні виробки. При першому способі приймачі живляться по кабелям, що прокладені по стовбуру. При другому способі електроприймачі, що знаходяться у межах біля ствольного двору, живляться аналогічним образом, а усі останні споживачі електроенергії одержують живлення по кабелям, що прокладені у свердловинах або у вентиляційних шурфах.

Вибір схем електропостачання залежить від багатьох факторів: глибина міцність, залягання, загальні розміри та спосіб викриття, кількість дочасно розроблюваних горизонтів, кількість та розкиданість дільниць, використовувана система розробки, кількість та потужність електроприводів основних споживачів, значення змінної напруги.

Кожна з прийнятих схем повинна забезпечувати безперервність живлення усіх споживачів першої категорії та безпеку при експлуатації у підземних виробках, враховуючи перспективний розвиток гірничих робіт; бути економічно вигідною як при улаштуванні, такі при технічному обслуговуванні. Остання вимога може бути не вирішальною, так як для умов праці у шахті головними являється надійність та безпека.

Найбільш поширений спосіб електропостачання споживачів горизонту – це постачання електричної енергії через стовбур шахти. Це пов'язане з великою глибиною шахт та більш малими витратами при прокладанні кабелів по вже готовим виробкам[1,12].

Основними споживачами електричної енергії на шахті є асинхронні двигуни. Це вказує на необхідність застосовування змінного струму. Для живлення споживачів прийняті такі величини напруги:

а) 6 кВ – для живлення підземних підстанцій (центральної, дільничої, тягової) та для живлення двигунів головних водовідливних установок;

б) 380 В – для живлення асинхронних двигунів добувних механізмів, вентиляторів та освітлювальних трансформаторів;

в) 127 В – для живлення освітлювальних мереж біля ствольного двору, відкаточних виробок та камер;

г) 36 В – для живлення освітлювальних мереж добувних дільниць, забоїв та ходових підняттяєвих.

Для живлення контактної мережі електровозної відкатки приймається постійний струм напругою 275 В. Величини напруг взяті у зв'язку з вимогами ПУЕ (правила улаштування електричних установок) та ПТБ (правила техніки безпеки).

3.2 Електрообладнання та електропостачання підприємства

Поверхнєве електропостачання

Основними споживачами електроенергії поверхневих споруджень на промайданчику шахти є піднімальні машини шахт, вентиляторні установки шахт, а також поверхневий комплекс ДСФ.

Поверхнева підстанція шахти «Криворізька» живить всі енергоприймачі шахти напругою 6 кВ. Живлення поверхневої підстанції здійснюється за допомогою трьох вводів від ЕС розташованої на відстані 490 метрів від шахти «Криворізька». Підстанція ЕС обладнана двома понижувальними трансформаторами потужністю 63 МВ·А, які трансформують напругу 154 кВ в напругу 6 кВ[13].

Підземне електропостачання та електроустаткування

За ступенем безперебійності живлення електроенергії споживачів рудника відносяться до різних категорій.

До першої категорії відносяться:

1. Шахтні водовідливні установки;
2. Вентиляція;
3. Шахтні підземні пристрої;
4. СЦБ.

До другої категорії відносяться:

1. Підземний електротранспорт;
2. Калориферні пристрої.

До третьої категорії відносяться всі інші споживачі.

Для електропостачання споживачів вентиляційного пристрою «Вентиляційна» є підстанція 6/0,4 яка знаходиться в приміщенні вентиляційної.

Розподіл електроенергії в підземних виробітках

Живлення підземних споживачів електроенергією здійснюється від підстанції напругою 6 кВ.

Живлення електроприводів видобувальних механізмів здійснюється від розподільних щитів 0,4 кВ дільничних і тягових підстанцій через групові розподільні пункти (ГРП), обладнані рудничними автоматами.

Електропостачання споживачів 0,4 кВ навколоствольних дворів, підземного бункера здійснюється від розподільних пунктів (РП), обладнаних вимикачами в ручному виконанні.

3.3 Визначення навантажень та вибір силового трансформатора дільниці шахти

Для вибору силового трансформатора попередньо складаємо таблицю електроприймачів для розрахунку навантажень через коефіцієнт попиту – таблиця 3.1 (Додаток 6)

Розрахункова потужність даного силового трансформатора буде дорівнювати:

$$S_{MP} = \frac{P_y \cdot K_c}{\cos \phi} = \frac{810 \cdot 0,6}{0,85} = 571,7 \text{ кВА} \quad (3.1)$$

де коефіцієнт попиту $K_c = 0,6$

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Потужність трансформатора за розрахунковим навантаженням визначається за формулою:

$$S_y = \frac{S_{MP}}{1,25} = \frac{571,7}{1,25} = 457,41 \text{кВА}, \quad (3.2)$$

де 1,25 – коефіцієнт можливого використання трансформаторів на даній ділянці.

За розрахованою потужністю приймаємо трансформатор типу ТМ – 630/10.

Дані трансформатора ТМ – 630/10 наведені у таблиці 3.2 (Додаток 7)

3.4 Розрахунок струмів короткого замикання

Розрахунок струмів короткого замикання зводиться до визначення в базисних відносних одиницях індуктивних опорів $X_{\delta i}$ усіх елементів короткозамкнутого кола до точки К1, що зображено на рисунку 3.1.

Дані трансформатора ТДНГ-2500/150 наведені у таблиці 3.3

Таблиця 3.2 – Параметри трансформатора ТМ – 630/10 (Додаток 8, 9)

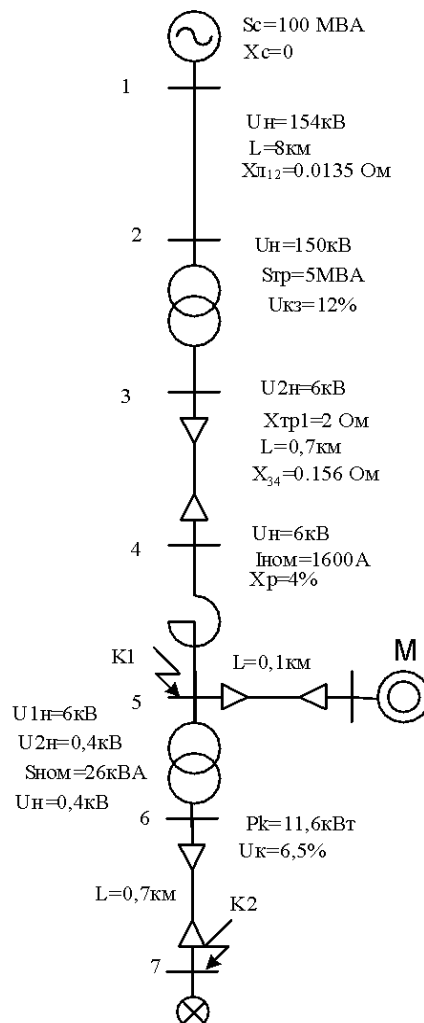


Рисунок 3.1 – Схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

Величину базисної потужності приймаємо рівною $S_6=100\text{МВА}$. За базисну напругу U_6 приймаємо номінальну напругу тої ділянки кола, для якої визначається величина струму короткого замикання[14].

Визначаємо індуктивний опір системи $X_{\delta c}$ у базисних відносних одиницях:

$$X_{\delta c} = \frac{S_6}{S_K} = \frac{100}{1450} = 0,069 \quad (3.3)$$

Визначаємо індуктивний опір лінії електропередач, приведений до базисних умов:

$$X_{\text{БЛ12}} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{н}}^2} = 0,4 \cdot 8 \cdot \frac{100}{154^2} = 0,0135 \quad (3.4)$$

де X_0 – питомий реактивний опір лінії електропередач, Ом/км; ($X_0=0,4$ Ом/км)
 l – довжина лінії, км; ($l=8$ км).

Активний опір тут і в подальших розрахунках високовольтного кола не враховується, тому що він значно менший за індуктивний і в даному випадку ним можна зневажати.

Знаходимо індуктивний опір силового трансформатора:

$$X_{\text{бтр1}} = \frac{U_k\%}{100} \cdot \frac{S_6}{S_{\text{нтр}}} = \frac{10}{100} \cdot \frac{100}{5} = 2 \quad (3.5)$$

де U_k – напруга короткого замикання першого трансформатора, %;
 $S_{\text{нтр}}$ – номінальна потужність першого трансформатора, кВА.

Індуктивний опір реактора знаходиться за формулою:

$$X_{\text{бр}} = \frac{X_p\%}{100} \cdot \frac{I_6}{I_{\text{нр}}} \cdot \frac{U_{\text{нр}}}{U_6} = \frac{16}{100} \cdot \frac{9,2}{0,8} \cdot \frac{6}{6,3} = 0,657 \quad (3.6)$$

де I_6 – базисний струм, кА.

Базисний струм визначається за формулою:

$$I_6 = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,2\text{кА} \quad (3.7)$$

Визначаємо опір кабельної лінії.

Розглянемо опір кабельної лінії на ділянці 3-4:

Індуктивний опір:

$$X_{\delta 3-4} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_6}{U_{\text{н}}^2} = 0,08 \cdot 0,7 \cdot \frac{100}{6^2} = 0,156 \quad (3.8)$$

Сумарний індуктивний опір лінії визначається за формулою:

$$X_{\delta \Sigma} = \sum X_{\delta i} = X_{\delta c} + X_{\delta 12} + X_{\delta_{\text{ТР1}}} + X_{\delta_p} + X_{\delta_{\text{Е12}}} = X_{\delta c} + X_{\delta 12} + X_{\delta_{\text{ТР1}}} + X_{\delta_p} + X_{\delta_{\text{Е12}}} = 0,069 + 0,0135 + 2 + 0,057 + 0,156 = 2,8265 \hat{i} \quad (3.9)$$

Визначаємо струм і потужність короткого замикання у точці К1 в абсолютних одиницях:

$$I_{K1} = \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6 \cdot x_{\Sigma}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3 \cdot 2,8265} = 3,24\text{кА} \quad (3.10)$$

$$I_{K1} = \frac{S_{K1}}{\sqrt{3}U_6} = \frac{56}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 5,131\text{кА} \quad (3.11)$$

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Струм короткого замикання з врахуванням підживлення асинхронного двигуна:

$$I_{\text{пд}} = \frac{4,5 \cdot P_H}{\sqrt{3} U_6 \cdot \eta_H \cdot \cos \phi_H} = \frac{4,5 \cdot 800}{\sqrt{3} \cdot 6300 \cdot 0,952 \cdot 0,88} = 0,689 \text{ кА} \quad (3.12)$$

Повний струм короткого замикання:

$$I_{\text{кз}} = I_{\text{к1}} + I_{\text{пд}} = 5,131 + 0,689 = 5,82 \text{ кА} \quad (3.13)$$

Ударний струм короткого замикання:

$$I_y = \sqrt{2} K_y \cdot I_{\text{к1}} = \sqrt{2} \cdot 1,3 \cdot 5,82 = 10,7 \text{ кА} \quad (3.14)$$

де K_y – ударний коефіцієнт, $K_y=1,3$.

Друга точка короткого замикання знаходиться в колі з напругою 380 В.

Перший елемент кола короткого замикання трансформатор типу ТСН-2,6/6 з $U_k=4,5\%$.

Величини опорів активного і індуктивного визначаються за формулами:

$$R_{\text{НТР2}} = \frac{U_a\%}{100} \quad (3.15)$$

$$X_{\text{НТР2}} = \frac{U_p\%}{100} \quad (3.16)$$

де $R_{\text{НТР2}}$ – активний опір трансформатора у номінальних відносних одиницях,

$X_{\text{НТР2}}$ – індуктивний опір трансформатора у номінальних відносних одиницях;

$U_a\%$ - активна складова напруги к.з трансформатора, %;

$U_p\%$ - реактивна складова напруги к.з трансформатора, %;

Активна складова напруги к.з трансформатора визначається за формулою:

$$U_a\% = \frac{\Delta P_K}{S_{\text{ТРН}}} \cdot 100 = \frac{280}{10000} \cdot 100 = 2,8\% \quad (3.17)$$

де ΔP_K – втрати потужності трансформатора в міді, кВт.

Тоді активний опір трансформатора в відносних одиницях буде дорівнювати:

$$R_{\text{НТР2}} = \frac{2,8}{100} = 0,028$$

Реактивна складова напруги к.з трансформатора визначається за формулою:

$$U_p = \sqrt{U_k^2 - U_a^2} = \sqrt{4,5^2 - 2,8^2} = 3,52\% \quad (3.18)$$

Таким чином, згідно з формулою 3.16 індуктивний опір трансформатора буде дорівнювати:

$$X_{\text{НТР2}} = \frac{3,52}{100} = 0,0352$$

Переведемо $R_{\text{нтр}}$ та $X_{\text{нтр}}$ з відносних у абсолютні одиниці:

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$R_{TP2} = \frac{R_{HTP2} \cdot U_H^2}{S_H} = \frac{0,028 \cdot 0,38^2}{10} = 4,04 \cdot 10^{-4} \quad (3.19)$$

$$X_{TP2} = \frac{X_{HTP2} \cdot U_H^2}{S_H} = \frac{0,0352 \cdot 0,38^2}{10} = 5,1 \cdot 10^{-4} \quad (3.20)$$

Для знаходження струму короткого замикання необхідно також знайти активний і реактивний опір кабельної лінії марки АВГ³×6:

Активний опір:

$$R_{67} = R_0 \cdot l = 0,62 \cdot 7 = 4,34 \quad (3.21)$$

Індуктивний (реактивний) опір:

$$X_{67} = X_0 \cdot l = 0,083 \cdot 7 = 0,581 \quad (3.22)$$

Знаходимо сумарні активні і реактивні опори:

$$R_{\Sigma} = R_{TP2} + R_{67} = 0,000404 + 4,34 = 4,34 \quad (3.23)$$

$$X_{\Sigma} = X_{TP2} + X_{67} = 0,00051 + 0,581 = 0,5815 \quad (3.24)$$

Розраховуємо струм короткого замикання:

$$I_{K2} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{\Sigma}^2 + X_{\Sigma}^2}} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{4,3404^2 + 0,5815^2}} = 52,7 \text{ кА} \quad (3.25)$$

Ударний струм короткого замикання:

$$I_{\dot{O}} = \sqrt{2} \hat{E}_{\dot{O}} \cdot \hat{E}_2 = \sqrt{2} \cdot 1,05 \cdot 52,7 = 78,256 \text{ кА} \quad (3.26)$$

Потужність короткого замикання:

$$S_{\dot{E}\dot{C}} = \sqrt{3} U_{\dot{a}} \cdot I_{K2} = \sqrt{3} \cdot 0,4 \cdot 52,7 = 36,512 \text{ кВА} \quad (3.27)$$

3.5 Вибір та розрахунок шин

Вибір перерізу шин проводиться по розрахунковому струму навантаження:

$$I_{PO3P} = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{31500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2932,6 \text{ А} \quad (3.28)$$

де S_P - повна розрахункова потужність споживачів, кВ·А;

U_H - номінальна напруга, кВ.

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Приймаємо до встановлення алюмінієві шини прямокутного перерізу 120 х 6 (мм),

$I_{\text{доп}} = 3000$ А, які розташовані в одній площині.

Шини перевіряють на міцність впливу електродинамічних сил:

Момент опору шини прямокутного перерізу, які розташовані в одній площині визначають за формулою:

$$W = 0,167 \cdot b \cdot h^2 = 0,167 \cdot 0,6 \cdot 12^2 = 14,43 \text{ см}^3 \quad (3.29)$$

де b – товщина шини, см;

h – ширина шини, см.

Максимальне розрахункове напруження в односмуговій шині:

$$G_{\text{розр}} = \frac{1,76 \cdot 10^{-3} \cdot l^2 \cdot i_y^2}{a \cdot W} = \frac{1,76 \cdot 10^{-3} \cdot 120^2 \cdot 78,256^2}{30 \cdot 14,43} = 358,528 \text{ кгс/см}^2 = 35,85 \text{ МПа} \quad (3.30)$$

де l – відстань між двома сусідніми опорними ізоляторами, см;

i_y – ударний струм трифазного к.з. кА;

a – відстань між вісями суміжних фаз, см.

Так як $G_{\text{доп}} = 40$ МПа більше, ніж $G_{\text{розр}} = 35,85$ МПа, то вибрані шини динамічно стійкі.

3.6 Вибір силового кабелю

3.6.1 Вибір силового кабелю, що живить двигун насоса ЦНС 300/540

Знаходимо розрахунковий струм за формулою:

$$I_p = \frac{P_H \cdot 1000}{\sqrt{3} U_c \cdot \eta_H \cdot \cos \phi_H} = \frac{800 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 0,952 \cdot 0,88} = 91,89 \text{ А} \quad (3.31)$$

Вибір перетину жили кабелю робимо згідно з умовою $I_{\text{доп}} \gg I_p$.

Обираємо площу поперечного перетину кабелю, яка витримує питомий струм. Для площі поперечного перетину 95 мм² струм дорівнює 240 А, отже обираємо кабель типу СБН 3×95.

Необхідно зробити перевірку обраного кабелю по допустимій втраті напруги.

У мережі $U_c = 6000$ В, $\Delta U = 5\%$ від U_c , отже $\Delta U = 300$ В.

Втрати напруги знаходимо за формулою:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \cos \phi}{\gamma \cdot S} = \frac{\sqrt{3} \cdot 91,89 \cdot 360 \cdot 0,9}{32,2 \cdot 95} = 16,85 \text{ В} \quad (3.32)$$

де l – довжина кабельної мережі, $l = 360$ м;

γ – удільна провідність, для алюмінію – 32,2 м/Ом·мм².

Перевірку перетину кабелю за економічною густиною струму знаходимо за формулою:

$$S = \frac{I_p}{J_{\text{ЕК}}} = \frac{91,89}{1,9} = 48,36 \text{ мм}^2 \quad (3.33)$$

де $J_{\text{ЕК}}$ – нормативне значення економічної густини струму (для кабелів з гумовою ізоляцією та з алюмінієвою жилою нормативне значення економічної густини струму дорівнює $J_{\text{ЕК}} = 1,9$).

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевірку кабелю за термічною стійкістю знаходимо за допомогою формули:

$$St = \frac{l_{\Pi} \sqrt{t_{\Pi}}}{C} = \frac{980 \sqrt{3,5}}{90} = 20,37 \text{MM}^2 \quad (3.34)$$

де C – коефіцієнт нагріву, який для алюмінію дорівнює $C=90$;

t_{II} – час короткого замикання, приймаємо максимальне для спрацювання реле максимального струму, $t_{II}=3,5\text{с}$.

Висновок: обраний кабель СБН 3 × 95 задовольняє усім вимогам.

3.6.2 Вибір силового кабелю, живлячого трансформатор ТС – 2,6/6

Знаходимо розрахунковий струм:

$$I_P = \frac{P_H \cdot 1000}{\sqrt{3} U_C \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_H} = \frac{10 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,4 \cdot 0,9} = 42,2 \text{ A} \quad (3.35)$$

Обираємо перетин, витримуючий питомий струм.

Для перетину 6 мм² струм дорівнює 55А, отже обираємо кабель АВТ3×6.

Необхідно зробити перевірку обраного кабелю по допустимій втраті напруги.

У мережі $U_c=380$ В, $\Delta U=5\%$ від U_c , отже $\Delta U=19$ В.

Втрати напруги знаходимо за формулою 2.36:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot Ip \cdot l \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot S} = \frac{\sqrt{3} \cdot 42,2 \cdot 70 \cdot 0,4}{32,2 \cdot 6} = 11 \text{ В} \quad (3.36)$$

Отже кабель задовольняє усім вимогам.

3.7 Вибір апаратури захисту у мережі напругою більше 1 кВ

Вимикач вибираємо по номінальній напрузі $U_n=6$ кВ та по номінальному струму $I_{nn} \leq I_{nvix}$.

$$I_{HH} = \frac{Sp}{\sqrt{3}U_H} = \frac{31500}{\sqrt{3} \cdot 6} = 3043 \quad \text{A} \quad (3.37)$$

Тому вибираємо мастильний вимикач ВМП-31,5 зі струмом $I_{від}=31,5$ кА, $U_{ном}=10$ кВ, $I_n=3200$ А, $I_{дин.к.з}=31,5$ кА, а умовою того, що вимикач обрано вірно є $I_{від}=31,5 > I_{кз}=5,94$ кА, тому умова виконана.

Головним параметром при виборі роз'єднувача є напруга. У нашому випадку $U_n=154$ кВ. Тому вибираємо роз'єднувач типу ОД-220, тому що його напруга більша за системну. Параметри роз'єднувача:

 $t_{\text{wid}}=0,5 \text{ c};$
$$I_{екв}=80 \text{ кА};$$
 $t_{\text{кв}}=3 \text{ с};$ $I_{wid}=31.5 \text{ kA}.$

Таким самим чином обираємо короткозамикач:

$$U_{HH} \leq U_{Hсист} = 154 \text{ кВ}$$

Вибираємо короткозамикач типу КЗ-220 з номіальною напругою 220 кВ.

Параметри короткозамикача:

$t_{відк}=0,5$ с;

$I_{екв}=51$ кА;

$t_{екв}=3$ с;

Роз'єднувач вибираємо по номінальній напрузі, де $U_H \leq U_{Hроз}=158$ кВ та номіальному струму $I_H \leq I_{Hроз}=140$ А. Вибираємо роз'єднувач РД-154/100 з номіальною напругою 154 кВ та номіальним струмом 1 кА.

3.8 Вибір низьковольтної апаратури

3.8.1 Вибір апаратури захисту у мережі до 1 кВ

Для захисту обираємо автоматичний вимикач з електромагнітним роз'єднувачем типу АК-63. Параметри автоматичного вимикача:

$I_H=63$ А;

$U_H=200-400$ В;

$I_{уст}=0,63-63$ А;

$I_{пред1}=5$ кА;

$I_{пред2}=9$ кА;

$t_{від}=0,63$ с.

Номіальний струм оперативних кіл

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{4,5}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 6,5 \text{ А} \quad (3.38)$$

де P_H - номіальна потужність, кВт.

Приймаємо до встановлення запобіжник типу АП50: $I_H = 10$ А, $U_H = 380$ В, $I_{РАСУ} = 10$ А.

3.8.2 Вибір магнітних пускачів

Вибір магнітних пускачів здійснюється за номіальною напругою, робочому струму та потужності підключеного обладнання.

Для оперативних ланцюгів приймаємо до встановлення магнітний пускач серії ПАЕ-300 $U_H = 380$ В; максимальна потужність підключеного обладнання 4,5 кВт; $I_H = 6,5$ А.

3.8.3 Вибір силового кабелю

Вибір перетину жили кабелю робимо згідно з умовою $I_{дон} > I_p$.

Обираємо площу поперечного перетину кабелю, яка витримує питомий струм. Для площі поперечного перетину 15 мм² струм дорівнює 15 А, отже обираємо кабель типу АБВГ 3×5.

Необхідно зробити перевірку обраного кабелю по допустимій втраті напруги.

У мережі $U_c=380$ В, $\Delta U=5\%$ від U_c , отже $\Delta U=22$ В.

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Втрати напруги знаходимо за формулою:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot S} = \frac{\sqrt{3} \cdot 6,5 \cdot 20 \cdot 0,9}{32,2 \cdot 15} = 4,1 \text{ В} \quad (3.39)$$

де l – довжина кабельної мережі, $l=20$ м;

γ – удільна провідність, для алюмінію – $32,2$ м/Ом·мм².

Перевірку перетину кабелю за економічною густиною струму знаходимо за формулою:

$$S = \frac{I_p}{J_{ЕК}} = \frac{6,5}{2} = 3,25 \text{ мм} \quad (3.40)$$

де $J_{ЕК}$ – нормативне значення економічної густини струму (для кабелів з гумовою ізоляцією та з алюмінієвою жилою нормативне значення економічної густини струму дорівнює $J_{ЕК}=2$).

Перевірку кабелю за термічною стійкістю знаходимо за допомогою формули:

$$St = \frac{I_{\Pi} \sqrt{t_{\Pi}}}{C} = \frac{52,7 \sqrt{0,4}}{90} = 12,3 \text{ мм}^2 \quad (3.41)$$

де C – коефіцієнт нагріву, який для алюмінію дорівнює $C=90$;

t_{Π} – час короткого замикання, приймаємо максимальне для спрацювання реле максимального струму, $t_{\Pi}=0,4$ с.

Висновок: обраний кабель АВВГ 3×5 задовольняє всім вимогам.

Висновок до III розділу

У третьому розділі представлено структуру електропостачання поверхневих і підземних об'єктів шахти. Проведено вибір трансформаторів, кабелів, захисної апаратури та розрахунок струмів короткого замикання. Вибір обладнання обґрунтовано з урахуванням безпеки, економічності та надійності. Окремо охарактеризовано живлення аварійно-важливих споживачів та розраховано механічну стійкість шин.

					Розділ 3	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

Комплексний аналіз енергетичної інфраструктури шахти «Криворізька» включає опис гірничо-технічних умов, системи водовідливу, вибору насосного та електротехнічного обладнання, а також розробку ефективної та безпечної системи електропостачання. Вибір обладнання базується на розрахунках, що враховують специфіку шахтної роботи, вимоги безпеки, енергоефективності та експлуатаційної надійності. Ефективне функціонування підземного гірничого підприємства неможливе без надійної, енергоощадної та адаптивної до складних гірничо-геологічних умов енергетичної системи.

Проведений вибір насосного та електротехнічного обладнання базується на ретельних інженерних розрахунках, які враховують:

- специфіку шахтної роботи (глибина, агресивність вод, запиленість середовища),
- вимоги техніки безпеки,
- критерії економічної доцільності та енергоефективності,
- потребу у високій експлуатаційній надійності.

Також було проведено опис електропостачання і електрообладнання, що відповідає сучасним вимогам безпеки, резервування і автоматизації, з урахуванням перспектив подальшої цифровізації шахтного виробництва.

Таким чином, застосування інноваційних технічних рішень в енергетичній інфраструктурі шахти «Криворізька» дозволяє забезпечити стабільність виробничого процесу, зменшення аварійних простоїв та підвищення загального рівня енергоефективності підприємства в умовах сучасних викликів.

					Висновки	Лист
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Додатки

Додаток 1

Таблиця 1.1. - Паспортні данні насосу ЦНС 300-600

Подача м ³ /год	Напір м.вод.ст.	Частота обертання об/хв.	ККД	Маса кг
300	600	1500	0.70	2310

Додаток 2

Таблиця 1.2 Паспортні данні двигуна ВАО2-560-800-6

Напруга В	Потужність кВт	Синхронна частота обертання об/хв	М _{пуск} / М _{ном}	Ковзання %	Струм статора А	Оберт овий момент кНм	К К Д %	с о с ф
6000	800	1500	2.0	1,3	91	8,4	95,2	0,88

Додаток 3

Таблиця 2.1 Значення кутової швидкості та напруги для обраних значень частоти

Значення частоти, Гц	Кутова швидкість, рад/с	Напруга, В
25	78	865
30	94,24	1245
35	109,9	1695
40	125,6	2214
45	141,37	2802
50	157	3460

Додаток 4

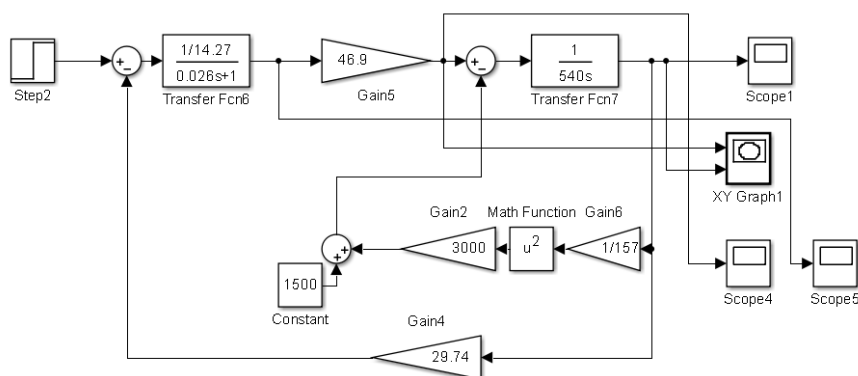


Рисунок 2.5 - Структурна модель електропривода за системою ПЧ-АД

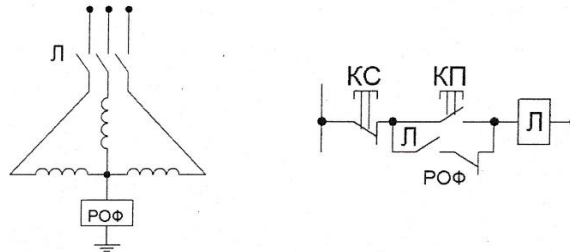


Рисунок 2.10 - Схема захисту від обриву фази

Додаток 6

Таблиця 3.1 – Електроприймачі

№	Найменування машин та механізмів	Тип двигуна	Потужність, кВт	Швидкість обертання, об/хв	Номінальний струм, А	КК Д, %	с о с ф
1	ЦНС 300-	А4-450Х-	800	1500	91	95,	0
2	540	4УЗ	10	-	25,25	2	, 8
	ТСЗ-10/0,66	-				60	8 0
							, 4

Додаток 7

Таблиця 3.2 – Параметри трансформатора ТМ – 630/10

Тип трансформатора	S _н , кВА	U _{вн} , кВ	U _{нн} , кВ	ΔP _{хх} , Вт	ΔP _{кз} , Вт	U _к , %
ТМ-630/10	630	6	0,4	1310	7600	5,5

Додаток 8

Таблиця 3.3 – Параметри трансформатора ТДНГ-2500/150

Тип трансформатора	S _н , кВА	U _{вн} , кВ	U _{нн} , кВ	ΔP _{хх} , кВт	ΔP _{кз} , кВт	U _к , %
ТДНГ-2500/150	2500	150	6,6	9	16	12

Додаток 9

Таблиця 3.3 – Параметри трансформатора ТДНГ-2500/150 (Додаток 8)

Тип трансформатора	S _н , кВА	U _{вн} , кВ	U _{нн} , кВ	ΔP _{хх} , кВт	ΔP _{кз} , кВт	U _к , %
ТДНГ-	2500	150	6,6	9	16	12
2500/150						

ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248с12.05.25.6.С.

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис.	Дата							
Розробив		Лихопавло В			Список використаних джерел	Лім.		Лист	Листів		
Перевірів		Ільченко О.В.									
Реценз.						ЕЕМ-21-1					
Н. Контр.											
Затвердив											
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ											

1. Сінчук І. О., Козакевич І. А., Барановська М. Л., Берідзе Т. М., Пересулько І. І. Превентивна оцінка і основні напрями підвищення енергоефективності підземних залізрудних підприємств / Криворізький національний університет, Вісник. – Кривий Ріг. 2020. № 50. С. 142-147.
2. Електричні машини: підручник / Б.Т. Кононов, Г.І. Лагутін, О.Б. Котов та ін.; за заг. ред. Б.Т. Кононова. – Харків : ХУПС, 2015. – 493 с.
3. Міліх В.І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник / В.І. Міліх, О.О. Шавьолкін; за ред. В.І.Міліх. –Київ : Каравела, 2012. – 688 с.
4. Белікова Л.Я. Електричні машини : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / Л.Я. Белікова, В.П. Шевченко. – Одеса: Наука і техніка, 2012. – 478 с.
5. Андрієнко В.М. Електричні машини: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напрямом підгот. «Електротехніка та електротехнології» / В.М. Андрієнко, В.П. Куєвда. – К.: НУХТ, 2010. – 366 с.
6. Jacek F Gieras. Electrical Machines. Fundamentals of Electromechanical Energy Conversion. – CRC Press Taylor & Francis Group, 2020. – 452 P.
7. Ion Boldea, Lucian Nicolae Tutelea. Electric Machines. Steady State, Transients, and Design with MATLAB: B/W Illustrations. – CRC Press Taylor & Francis Group, 2010. – 792 P.
8. Міліх В.І. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка : підручник / В.І. Міліх, О.О. Шавьолкін; за ред. В.І.Міліх. –Київ: Каравела, 2012. – 688 с.
9. Епштейн І.І. Теорія керування та синтез системи регулювання асинхронним електропривідом на базі автономного інвертору струму: Праці НІІ НПО «ХЕМЗ» та ООО «ННТ», 1999.
10. Проектування електричних машин: навч. посіб. / Д.В. Ципленков, О.Б. Іванов, О.В. Бобров, В.В. Кузнецов, В.В. Артемчук, М.О. Баб'як ; Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». – Д. : НТУ «ДП», 2020. – 408 с.
11. Шестеренко Є.В. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця : Нова книга, 2004. 655 с.
12. Спеціальні питання електропостачання та електрозахисту електричних мереж залізрудних кар'єрів. Підручник / О.М. Сінчук, І.О. Сінчук, А.В. Пироженко, М.Л. Барановська. Кременчук: ЧП Щербатих, 2019. 320 с.
13. Функціональна безпека електротехнічних систем та комплексів залізрудних підприємств. Традиції та новітні рішення. / О.М. Сінчук, А.В. Пироженко, М.Л. Барановська, О.О. Харитонов. Кременчук: ЧП Щербатих, 2018. 190 с.
14. Методичні вказівки до виконання випускної роботи бакалаврів зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».напрямку підготовки «Електромеханіка (усіх форм навчання) Укладачі: Толмачов С.Т., Ільченко О.В., Барановська М. Л., Бондаревський С. Л., Рожненко Ж. Г., КНУ-2021, с.35.
15. http://www.tsatu.edu.ua/etem/wp-content/uploads/sites/60/dp_ch2.pdf
16. <https://res.ua/kak-vybrat-magnitnyj-puskatel.html>