

Здобувач: Швидкий Ігор Сергійович

Керівник: Барановська Міла Леонідівна

Тема: Електромеханічне обладнання технологічної лінії дробильно-сортувальної фабрики шахти «Покровська» АТ «Кривбасзалізрудком»

РЕФЕРАТ

У першому розділі виконано аналіз технологічного процесу дробильно-сортувальної фабрики, розглянуто основне обладнання та проведено вибір електродвигунів для конвеєра №1 (двигун AIC200LA6) і дробарки ККД-500/75 (двигун AIP315S6).

У другому розділі проведено аналіз вимог до електроприводів конвеєрного транспорту та обґрунтовано вибір системи ТРН–АД для конвеєра №1 з використанням пристрою плавного пуску Schneider Electric Altistart ATS22D22. Виконано розрахунок параметрів схеми заміщення та досліджено в MATLAB механічні, енергетичні й динамічні характеристики системи. Встановлено, що застосування ППП та регуляторів дозволяє знизити пусковий струм з 6 до 3 номінальних значень. Додатково проаналізовано електропривод дробарки ККД-500/75 та реостатний пуск двигуна AIP315S6 із блоками резисторів ЯС4 УЗ.

У третьому розділі розроблено систему електропостачання шахти Покровська, виконано вибір силових трансформаторів, комутаційної та захисної апаратури, а також проведено розрахунок струмів короткого замикання.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для модернізації електромеханічного обладнання дробильно-сортувальної фабрики, підвищення енергоефективності та надійності роботи електроприводів.

**ДРОБИЛЬНО-СОРТУВАЛЬНА ФАБРИКА, КОНВЕЄР, ДРОБАРКА,
АСИНХРОННИЙ ДВИГУН, МОДЕЛЮВАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ,
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**

ВСТУП

Гірничодобувна промисловість України є базовою галуззю економіки, ефективність якої значною мірою залежить від надійності електропостачання, рівня автоматизації та енергоефективності обладнання. У сучасних умовах особливого значення набуває підвищення ефективності роботи конвеєрних систем, дробильного обладнання та електроприводів.

Гірничі підприємства характеризуються значною кількістю потужних електроспоживачів і складними режимами роботи, що зумовлює необхідність оптимізації схем електропостачання, впровадження енергоощадних технологій та застосування сучасних систем електропривода, зокрема пристроїв плавного пуску та частотного регулювання.

Підвищення ефективності роботи обладнання досягається також шляхом використання математичного моделювання, яке дозволяє досліджувати динамічні та енергетичні режими без проведення дорогих експериментів.

Об'єкт дослідження – електромеханічне обладнання дробильно-сортувальної фабрики шахти Покровська АТ Кривбасзалізрудком.

Предмет дослідження – режими роботи та характеристики електроприводів конвеєрів і дробарок, а також система електропостачання.

Мета роботи – підвищення надійності та енергоефективності електромеханічного обладнання шляхом вдосконалення систем електропривода та електропостачання.

У роботі розглянуто технологічні особливості конвеєра №1 та дробарки ККД-500/75, виконано розрахунки електроприводів і електропостачання, а також проведено моделювання режимів роботи електромеханічних систем. Основні завдання включають аналіз технологічних процесів, дослідження характеристик обладнання, вибір елементів електропостачання, оцінку енергетичних показників та розробку заходів підвищення ефективності.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для модернізації обладнання та підвищення ефективності роботи дробильно-сортувальної фабрики.

1.1 Характеристики установок шахти Покровська

1.1.1 Підйомні установки

Наразі ствол шахти Покровська не використовується для видачі руди, а призначений для розкриття та підготовки горизонтів, а також виконання допоміжних робіт. Стовбур заглиблено до горизонту 1340 м із влаштуванням переднього бункера на горизонті 1265 м.

1) Скіпова підйомна установка використовується для видачі кварцитів. Скіпова підйомна установка оснащена двома скіпами вантажопідйомністю по 10 т та підйомною машиною типу БЦК 8/5×2,7 з двигуном потужністю $P_H=3800$ кВт.

Клітьова підйомна установка використовується для транспортування людей, матеріалів і обладнання. Установка оснащена підйомною машиною БЦК 8/5×2,7 з канатом діаметром 60,5 мм та приводом від двигуна потужністю $P_H=1000$ кВт та однією двоповерховою кліттю для вагонеток ВГ-4,5А вантажопідйомністю $Q_B=10$ т. Габарити кліті – 4,5×1,5 м.

2) Шахтна підйомна машина Ц–1,6×1,2 АР

Підйомна машина Ц–1,6×1,2 АР (рис. 1.1) встановлена у вертикальному стовбурі даної шахти. Вона також може застосовуватись у похилих стовбурах і виробках з кутом нахилу $\alpha=10^\circ$ і більше. Машина призначена для підйому руди й породи, спуску обладнання та матеріалів, а за потреби – перевезення працівників

Максимальна висота підйому визначається з урахуванням п'яти витків тертя, а також додаткових 30 м каната, передбачених для проведення випробувань.

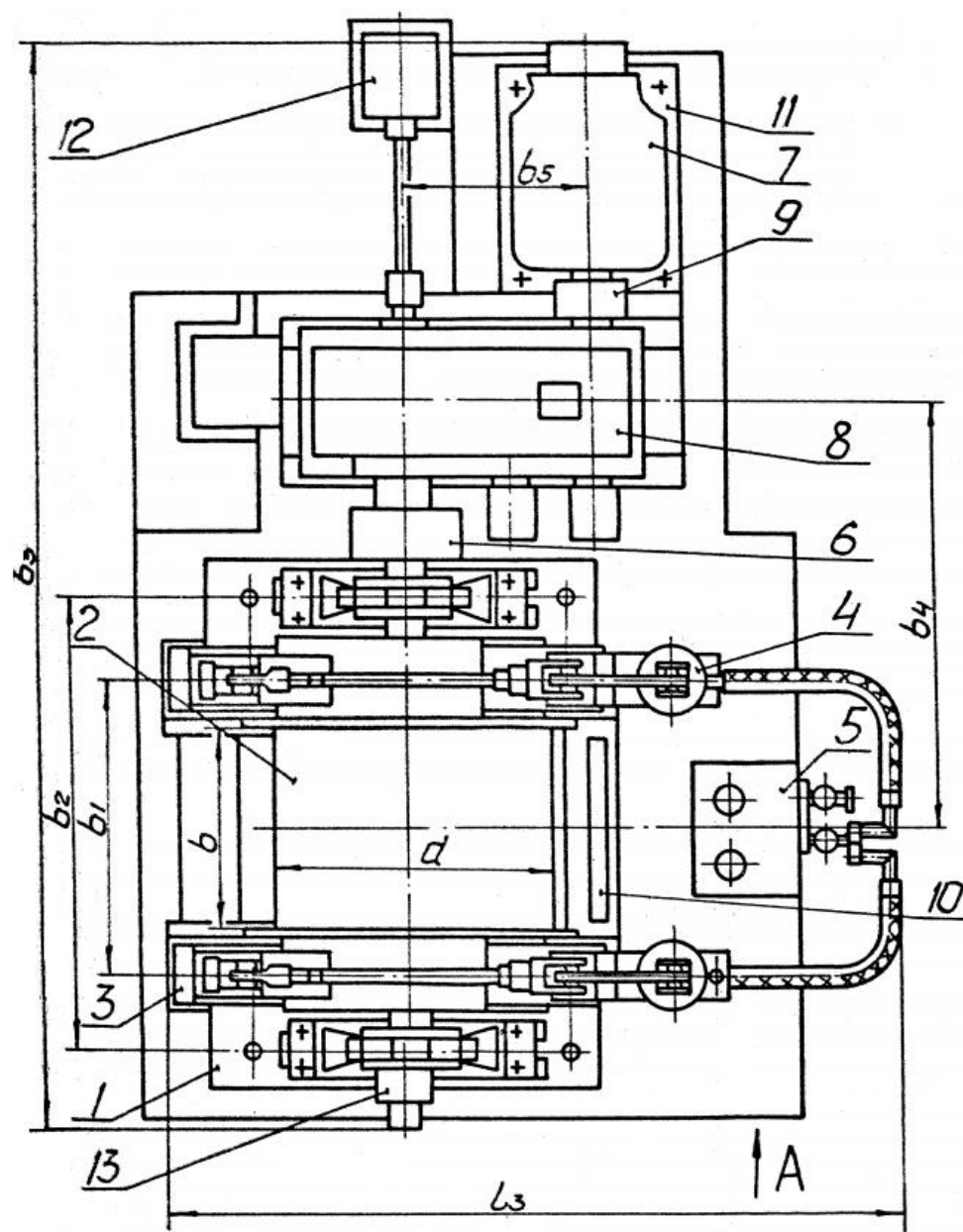


Рисунок 1.1 – Машина підйомна шахтна: 1 – рама машини; 2 – головний вал в зборі; 3 – гальма; 4 – привод гальма пружино-гідравлічний; 5 – станція керування приводами гальма; 6 – муфта зубчаста; 7 – двигун; 8 – редуктор; 9 – муфта еластична; 10 – щиток; 11 – рама привода машини; 12 – апарат керування машиною; 13 – датчик напрямлення обертання барабана

Більш докладно ознайомитися з характеристиками машини Ц-1,6×1,2 АР можна, використовуючи табл. 1.2.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики машини Ц - 1,6 ×1,2 АР

Позначення	Виконання	Статичний натяг кН(тс), не більше	Різниця статичних натягів кН(тс), не більше	Швидкість канату, м/с	Передавальне число редуктора	Двигун			Маховий момент (GD) ² з двигуном ТМ ²	Діаметр квадрата, мм	Крок нарізки t, мм	Висота підйому, м, при навівці на барабан		
						Частота обертів, об/хв	Потужність кВт	Напруга В				один шар	два шари	три шари
01.430.0154	вибухобезпечне	40 (4,0)	40 (4,0)	2,0..2,1	31,5	740	100	380	59	20	22	215	491	773
- 01						660		22		24	190	440	690	
- 02				2,6..2,8	980	125	380	54	25	27	165	385	620	
- 03				660										
- 04				4,1..4,5	20	985	160	380						72
- 05	660													
- 06	загально промислове	40 (4,0)	40 (4,0)	2,0..2,1	31,5	735	100	380	59	25	27	165	385	620
- 07				2,6..2,8		970	125		54					
- 08				4,1..4,5	20		160		72					

Електрична частина підйомної машини охоплює приводний електродвигун, двигуни насосної станції, тахогенератор, кінцеві вимикачі, реле контролю швидкості РКС-М, регулятор тиску РДУГ та пристрій УПТВ.

До складу системи керування гальмівними приводами входить станція керування, яка включає насоси, електродвигуни, маслобак і регулювально-розподільчу апаратуру.

Таблиця 1.2 – Паспортні параметри АД підйомної машини

№ з/п	Паспортні параметри	Значення / одиниці вимірювання
1	Потужність	160 кВт
2	Число полюсів	3
3	Частота мережі	50 Гц
4	Частота обертання	970 об/хв
5	Номінальна напруга	380 В
6	Номінальний струм ротора	268 А
7	I_{π}/I_{π}	6,0

8	M_{Π}/M_{Π}	1,5
9	$M_{\max}/M_{\Pi}$	2,8
10	Інерційний момент	0,07528 кг/м ²
11	Коефіцієнт потужності	0,8
12	ККД	93,4 %

1.1.2 Вентиляційні установки

Провітрювання шахтного поля здійснюється за фланговою схемою. Свіже повітря загальною витратою 250 м³/с надходить через стволи шахт Зоря та Покровська. Відпрацьоване повітря видається на поверхню через стволи шахт Ново-Південна ($Q = 146 \text{ м}^3/\text{с}$, $H = 4275 \text{ Па}$) і Ново-Північна ($Q = 104 \text{ м}^3/\text{с}$, $H = 4324 \text{ Па}$).

Головні вентиляторні установки розміщені на флангах шахтного поля біля стволів шахт Ново-Південна та Ново-Північна. Кожна установка оснащена двома вентиляторами ВЦ-5: один працює, інший є резервним.

Розподіл повітря по дільницях і блоках забезпечується вентиляційними дверима, перемичками з вікнами, шлюзовими камерами та вентиляційним штреком, прокладеним на 10 м вище відкатувального штреку горизонту 1040 м.

На горизонтах 1040 м та 1115 м проходять глухі виробки, які провітрюються комбінованим способом. Свіже повітря подається від ствола шахти ім. Комінтерну, а забруднене відсмоктується вентиляторами та відводиться трубопроводами на горизонт 965 м. Для кожного вибою передбачений окремий вентиляційний трубопровід.

Провітрювання глухих вибоїв здійснюється шляхом одночасної подачі свіжого повітря допоміжними вентиляторами та відсмоктування забрудненого повітря основними вентиляторами.

1.1.3 Компресорні установки

Постачання шахти стисненим повітрям здійснюється від компресорної станції КСЦВ-2, розташованої на проммайданчику шахти Покровська. Станція оснащена відцентровими компресорами типу К-500 і К-250 продуктивністю 500 та 250 м³/хв відповідно.

Подача стисненого повітря в шахту виконується трубопроводами діаметром 325 мм, діаметр повітропроводів на основних горизонтах вибрано з умови, щоб втрати тиску на найбільш віддалених ділянках не перевищували 0,1 МПа. Для видалення конденсату в мережі встановлені вологовідокремлювачі місткістю 0,5–2,0 м³.

1.1.4 Водовідливні установки

Водовідлив шахти призначений для видалення води, що надходить у гірничі виробки з підземних водоносних горизонтів, поверхневих джерел, атмосферних опадів і технологічних процесів (рис. 1.2). Зменшення водоприпливу забезпечується водовідливними установками, водонепроникними перемичками та протифільтраційними спорудами.

Для шахти Покровська нормальний водоприплив становить 300 м³/год, максимальний – 500 м³/год. На шахті діють головний водовідлив на горизонті 1115 м та допоміжні установки на горизонтах 437 м, 965 м і 1265 м.

На насосних станціях застосовуються насоси:

- ЦНС 300-600 – на горизонтах 437 м та 965 м;
- ЦНС 300-240 – на горизонтах 1115 м та 1265 м;
- ЦНС 60-198 – на горизонті 1265 м.

На кожному горизонті встановлено по п'ять насосних агрегатів: два робочі, два резервні та один ремонтний. Привід насосів виконаний високовольтними асинхронними двигунами напругою 6 кВ, а для насосів ЦНС 60-198 – двигунами 380 В.

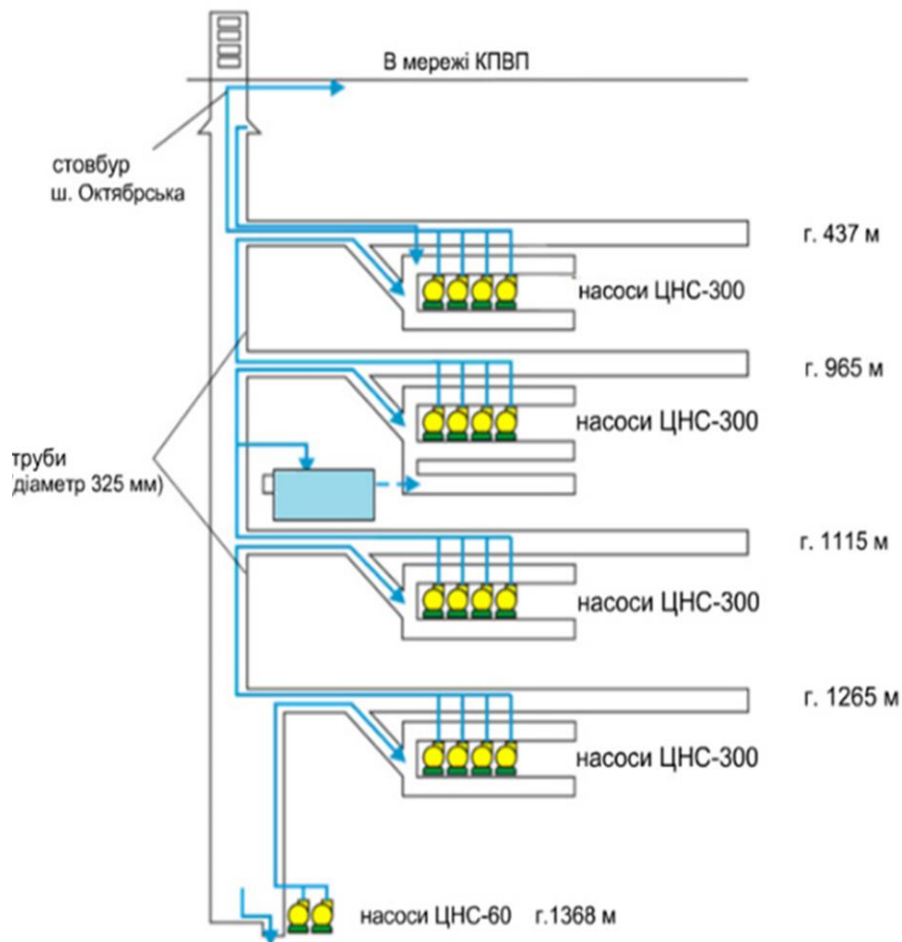
Кожний горизонт обладнаний двома водозбірниками, місткість яких забезпечує накопичення чотиригодинного нормального припливу води. Для

підвищення надійності системи додатково споруджені аварійні водозбірники на горизонтах 1115 м, 1190 м та 1265 м.

Відкачування шахтних вод здійснюється поетапно:

1368 м → 1265 м → 1115 м → 965 м → 437 м → поверхня.

Насосні установки головного та допоміжного водовідливу є стаціонарними.



Рисунку 1.2 - Водовідлив шахти Покровська

1.1.5 Внутрішній шахтний транспорт

У підземних відкатних виробках прокладена залізнична колія шириною 750 мм із рейками типу Р-33 по якій рухається локомотивний транспорт. Як тяговий засіб застосовуються контактні електровози К14, для перевезення гірничої маси – вагонетки ВГ-4,5А, для перевезення людей – вагонетки ВП-18 на 18 осіб.

Керування роботою підземного транспорту здійснює диспетчер дільниці ВШТ.

1.1.6 Дробильно-сортувальна фабрика

Видобута в шахті залізна руда надходить на дробильно-сортувальну фабрику для переробки у товарну продукцію, яка повинна відповідати встановленим вимогам за вмістом заліза та крупністю.

Режим роботи ДСФ залежить від властивостей залізорудної сировини, що надходить на переробку. Відповідно змінюються технологічні параметри та склад задіяного обладнання.

За умови відповідності вмісту заліза нормативним показникам технологічний процес спрямований переважно на доведення руди до необхідної крупності. Технологічна схема фабрики включає лінії:

- крупного дроблення з попереднім грохоченням;
- середнього дроблення з попереднім грохоченням;
- дрібного дроблення у замкненому циклі з попереднім і контрольним грохоченням;
- суху магнітну сепарацію.

Товарна руда має крупність 0–16 мм.

1.2 Дробильно-сортувальна фабрика шахти Покровська

1.2.1 Технологічні процеси роботи ДСФ та контроль виробництва

Видана на поверхню залізорудна сировина надходить у приймальний бункер дробильно-сортувальної фабрики (ДСФ) (див. рис. 1.3).

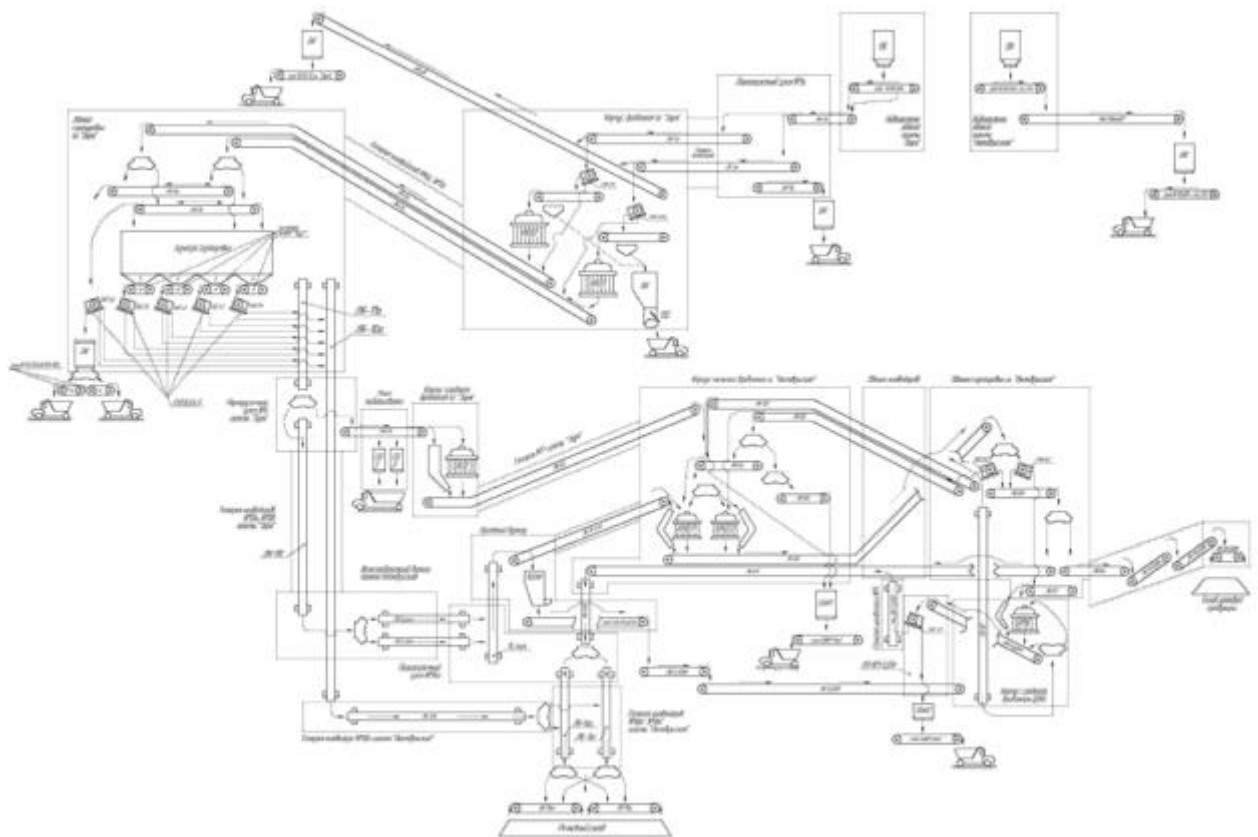


Рисунок 1.3 – Принципова схема технологічних ліній ДСФ

Із шахти руда крупністю 0–350 мм скіповим підйомом подається до приймального бункера шахти Зоря, звідки пластинчастим живильником направляється на колосниковий грохот із шириною щілин 75 мм.

Після грохочення матеріал розділяється на два класи:

- 0–75 мм – подається безпосередньо на подальше сортування;
- 75–350 мм – направляється на дробарки ККД-500/75 для крупного дроблення.

Після дроблення руда транспортується стрічковими конвеєрами до корпусу сортування, де на віброгрохотах розділяється на:

- готовий продукт класу 0–16 мм;
- проміжний продукт класу 16–75 мм.

Фракція 0–16 мм складається на резервному складі як готова продукція. Матеріал класу 16–75 мм подається на середнє дроблення в дробарки КСД-2200, після чого надходить на стадію дрібного дроблення.

Дрібне дроблення виконується на дробарках КМДТ-2200 і КМД-2200 із подальшим грохоченням. У результаті отримують:

- готову руду класу 0–16 мм;
- некондиційну фракцію понад 16 мм, яка відвантажується на склад НФРМ.

Контроль технологічного процесу здійснює відділ технічного контролю (ВТК). Контролюються крупність руди, наявність сторонніх і металевих предметів, вміст загального заліза, кількість переробленої руди.

Якість готової продукції визначається ручним розсівом на ситі 16×16 мм, а облік переробленої руди – за кількістю скіпів та показаннями конвеєрних ваг.

1.2.2 Характеристики дробильно-сортувального обладнання

Технічні характеристики дробильно-сортувального обладнання представлені в табл. 1.3 - 1.6.

Таблиця 1.3 – Характеристики дробильного обладнання

Показники	Тип дробарки			
	ККД-500/75	КСД-2200	КМД-2200	КМД-2200Т
Стадія дроблення	перша	друга		третя
Кількість, шт.:				
робочих	1	1	—	3
резервних	1	—	1	—
Продуктивність, м ³ /год	180	340-580	300-340	160-220
Потужність двигуна, кВт	160	250	250	250
Ширина приймальної щілини, мм	500	350	100	100
Ширина розвантажувальної щілини, мм	75	30-60	25-30	5-15

Число хитань конуса в хвилину	160	224	224	242
-------------------------------	-----	-----	-----	-----

Таблиця 1.4 – Характеристики інерційних грохотів

Показники	Тип грохота					
	ГИТ-51		ГИТ-52			
Прийом грохочення	I	II	III			
Кількість, шт.:						
робочих	1	1	4			
резервних	1	–	–			
Розміри однієї поверхні, що просіює, мм:						
довжина	4100	4100	3990			
ширина	1750	1750	1750			
Площа одного сита, м ²	7,18	7,18	6,98			
Розміри отворів сит (на гуркоті № ...), мм:	№1А	№7	№1	№2	№3	№4
верхнього	–	–	С*20х20	С*20х20	С*20х20	Р*27х27
нижнього	Ш*Ø100	С*40х40	С*16х16	С*16х16	С*16х16	Р*18х18
Кут нахилу короба	12°	15°	12°	11°	15°	10°
Число коливань короба в хвилину	730	730	730			
Потужність електродвигуна, кВт	20	20	22			

Основні характеристики шахтного конвеєра наведені у табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Характеристики шахтного конвеєра №1

№ з/п	Основні показники	Позначення	Значення / одиниці вимірювання
1	Розрахункова продуктивність	Q	320 т/год
2	Ширина стрічки	a	1200 мм
3	Швидкість руху стрічки	V	0,22 м/с
4	Кут нахилу стрічки	α	-
5	Довжина конвеєра	L	10 м
6	Матеріал що транспортується	–	залізна руда
7	Діаметр привідного барабана	D_1	800 мм
8	Діаметр натяжного барабана	D_2	630 мм
9	Тип редуктора	–	РМ-1000
10	Потужність привідного двигуна	P	18,5 кВт
11	Тип натяжного пристрою	–	гвинтовий

Таблиця 1.6 – Технічні параметри конусної дробарки ККД-500/75

№ з/п	Основні показники	Значення / одиниці вимірювання
1	Продуктивність, м ³ /год	140 м ³ /год
2	Потужність головного привода, кВт	110 кВт
3	Напруга двигуна	380 В
4	Діаметр основи дробильного конуса	1250 мм
5	Ширина приймальної щілини на відкритій стороні	500 мм
6	Найбільший розмір кусків живлення	400 мм
7	Ширина розвантажувальної щілини номінальна	75 мм

1.3 Вибір приводних двигунів обладнання технологічної лінії

1.3.1 Двигун стрічкового конвеєра

Потужність двигуна:

$$P = \frac{k_3 \cdot Q_{\max} \cdot g}{1000 \cdot \eta_M} (cL + H) = \frac{1,3 \cdot 320 \cdot 9,81}{1000 \cdot 0,80} (0,27 \cdot 10 + 0) = 16 \text{ кВт}, \quad (1.1)$$

де $K_3 = 1,3$ – коефіцієнт запасу;

Q – продуктивність, т/год;

$c = 0,27$ – коефіцієнт;

L – довжина, м;

H – висота підйому, м.

На конвеєрі встановлено двигун AIC200LA6 (див. табл. 1.7).

Таблиця 1.7 – Паспортні дані двигуна типу AIC200LA6

№ з/п	Основні показники	Значення / одиниці вимірювання
1	Номінальна потужність	18,5 кВт
2	Синхронна частота обертання ротора	1000 об/хв
3	Номінальна частота обертання ротора	975 об/хв
4	Номінальна напруга	380 В
5	Номінальна частота напруги	50 Гц
6	Номінальний ККД	0,9
7	Номінальний коефіцієнт потужності	0,81
8	M_n/M_n	2,0

1.3.2 Двигун дробарки ККД-500/75

На дробарці встановлено сучасний двигун AIP315S6 з фазним ротором (див. табл. 1.8) замість застарілих двигунів серії ГАМ.

Таблиця 1.8 – Паспортні дані двигуна типу AIP315S6

№ з/п	Основні показники	Значення / одиниці вимірювання
1	Номінальна потужність	110 кВт
2	Синхронна частота обертання ротора	1000 об/хв
3	Номінальна частота обертання ротора	990 об/хв
4	Номінальна напруга	380 В
5	Номінальна частота напруги	50 Гц
6	Номінальний ККД	0,945
7	Номінальний коефіцієнт потужності	0,89
8	M_n/M_n	1,8

9	$M_{кр}/M_n$	2,2
10	I_n/I_n	6,5
11	Ступінь захисту	IP 55

Висновки до розділу 1

У розділі проведено аналіз електромеханічного обладнання шахти «Покровська», зокрема шахтного підйому, вентиляційних і компресорних установок, водовідливних систем, а також роботи дробильно-сортувальної фабрики (ДСФ).

Розглянуто технологічний процес ДСФ шахти, наведено схему кола апаратів та охарактеризовано основне обладнання фабрики. До складу обладнання входять конусні дробарки типів ККД-500/75, КСД-2200, КМД-2200, КМД-2200Т, інерційні грохоти ГИТ-51 і ГИТ-52 та конвеєри.

З урахуванням технічних параметрів конвеєра і умов експлуатації проведено розрахунок потужності привода та вибрано асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу АІС200LА6 потужністю 18,5 кВт.

Для дробарки ККД-500/75 вибрано сучасний двигун АІР315S6 з фазним ротором замість застарілих двигунів серії ГАМ.

2.1 Вимоги до електроприводу конвеєрів ДСФ шахти

Електроприводи конвеєрного транспорту дробильно-сортувальної фабрики повинні відповідати ряду технологічних та експлуатаційних вимог, зумовлених характером роботи та значними інерційними навантаженнями.

Основні вимоги:

- застосування приводного двигуна у закритому виконанні з підвищеним пусковим моментом;
- забезпечення плавного пуску та зупинки конвеєра;
- обмеження прискорень, ривків, а також максимального моменту двигуна та швидкості його наростання. Це пов'язано з наявністю значних мас переміщуваного вантажу та елементів конвеєра, приведений момент інерції

яких може істотно перевищувати інерцію електродвигуна. Різкі зміни моменту при пружних механічних зв'язках викликають коливання системи, що призводить до додаткових динамічних навантажень у стрічці та тяговому органі;

- забезпечення рівномірного розподілу навантаження між кількома двигунами, оскільки нерівномірність виникає через відмінності їх механічних характеристик та умов зчеплення зі стрічкою;

- можливість регулювання швидкості руху конвеєра залежно від обсягу транспортованого матеріалу з метою зниження енергоспоживання та зменшення зносу стрічки.

Для забезпечення плавного пуску конвеєрних установок застосовують тиристорні регулятори напруги (ТРН), які також відомі як пристрої плавного пуску (див. рис. 2.1). Вони серійно випускаються на струми від десятків до сотень ампер і дозволяють:

- обмежувати пусковий струм до заданого рівня;
- реалізовувати різні закони зміни керуючої напруги;
- забезпечувати керований і плавний розгін електроприводу.

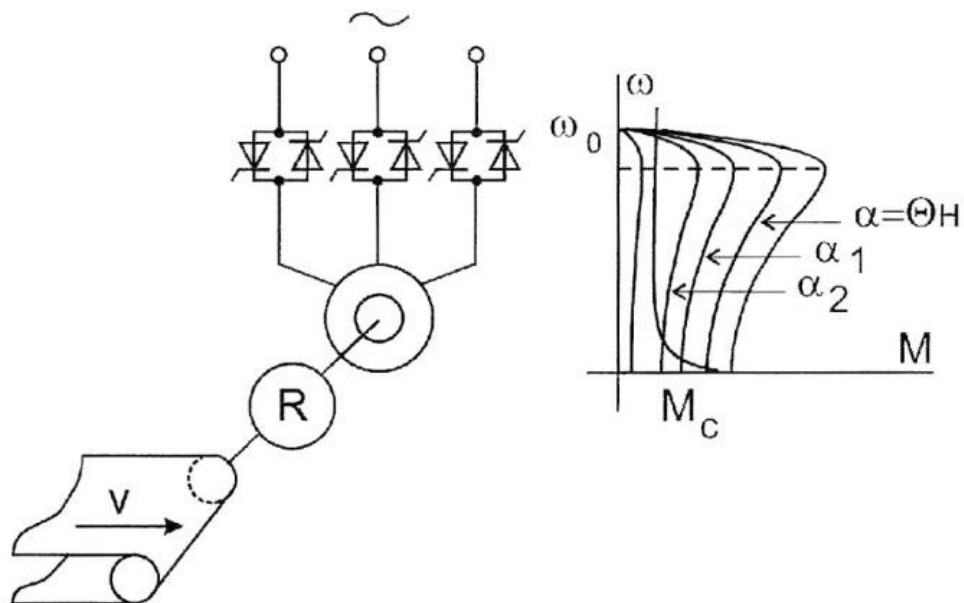


Рисунок 2.1 – Встановлення тиристорного регулятора напруги на привод конвеєра

2.2 Розрахунок параметрів асинхронних двигунів

Розрахуємо параметри класичної схеми заміщення АД (див. табл. 2.1, 2.2).

Таблиця 2.1 – Розрахунок параметрів схеми заміщення АД

№ з/п	Параметр	Формула	Номер
1	Кількість пар полюсів	$p = \frac{60 \cdot f_n}{n_0}$	(2.1)
2	Номінальна швидкість	$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30}$	(2.2)
3	Синхронна швидкість	$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30}$	(2.3)
4	Номінальне ковзання	$S_n = \frac{\omega_0 - \omega_n}{\omega_0}$	(2.4)
5	Номінальний струм статора	$I_{1л} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_{1л} \cdot \eta_n \cdot \cos \varphi_n}$	(2.5)
6	Номінальний момент	$M_n = \frac{P_n}{\omega_n}$	(2.6)
7	Пусковий момент	$M_n = \lambda_n \cdot M_n$	(2.7)
8	Критичний момент	$M_{кр} = \lambda_m \cdot M_n$	(2.8)
9	Повний опір двигуна при загальмованому роторі	$z_{кз} = \frac{U_{1н}}{\sqrt{3} \cdot I_n \cdot k_i}$	(2.9)
10	Приведений активний опір ротора	$r'_2 = \frac{M_n \cdot z_{кз}^2}{m_c \cdot U_{1н}^2} = \frac{1}{3 \cdot \omega_0}$	(2.10)
11	Пусковий коефіцієнт потужності	$\cos \varphi_n = \cos \varphi_n \cdot \left[\lambda \cdot \frac{\eta_n}{(1 - S_n) \cdot k_i} + 0,33 \cdot [(1 - \eta_n) \cdot k_i] \right]$	(2.11)

12	Активний опір фазної обмотки статора	$r_1' = z_{\kappa 3} \cdot \cos \varphi_n - r_2'$	(2.12)
13	Повний індуктивний опір	$X_{\kappa 3} = z_{\kappa 3} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n}$	(2.13)
14	Повний активний опір	$R_{\kappa 3} = \sqrt{z_{\kappa 3}^2 - X_{\kappa 3}^2}$	(2.14)
15	Індуктивний опір ротора	$X_2' = \frac{X_{\kappa 3}}{\left(1 + \frac{r_1'}{r_2'}\right)}$	(2.15)
16	Індуктивний опір статора	$X_1 = X_{\kappa 3} - X_2'$	(2.16)
17	Критичне ковзання	$S_{\kappa} = S_n \cdot \left(\lambda_m + \sqrt{\lambda_m^2 - 1}\right)$	(2.17)
18	Струм неробочого ходу статора	$I_{hx} = I_n \cdot \left(\sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n} - \cos \varphi \cdot \frac{X}{r_1' + \frac{r_2'}{S_n}} \right)$	(2.18)
19	Індуктивність обмотки статора і ротора	$L_1 = \frac{\frac{U_{1\phi}}{\sqrt{3}}}{2 \cdot p \cdot f_1 \cdot I_{1n} \cdot \left(\sqrt{1 - \cos^2 \varphi} - \frac{\cos \varphi \cdot S_n}{S_{\kappa}} \right)}$	(2.19)
20	ЕРС статора при номінальному режимі	$e_{11} = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi_n - r_1' \cdot I_n$	(2.20)
21	ЕРС ротора, приведена до сторони статора	$e_{12} = \frac{U_{1n}}{\sqrt{3}} \cdot \cos \varphi_n - X_1 \cdot I_n$	(2.21)
22	Опір взаємоіндукції	$X_m = \frac{\sqrt{e_{11}^2 + e_{12}^2}}{I_{xx}}$	(2.22)

23	Взаємна індуктивність	$L_m = \frac{X_m}{2\pi \cdot 50}$	(2.23)
24	Індуктивність розсіювання статора	$L_{\sigma S} = \frac{X_1}{2\pi \cdot 50}$	(2.24)
25	Індуктивність розсіювання ротора	$L_{\sigma r} = \frac{X_2'}{2\pi \cdot 50}$	(2.25)
26	Індуктивність статора	$L_S = L_{\sigma S} + L_m$	(2.26)
27	Індуктивність ротора	$L_r = L_{\sigma r} + L_m$	(2.27)

Таблиця 2.2 – Розрахунок параметрів схеми заміщення АД

№ з/п	Параметр	Двигун №1 AIC200LA6	Двигун №2 AIP315S6
1	Кількість пар полюсів	3,0	4,0
2	Номінальна швидкість, рад/с	102,1	103,15
3	Синхронна швидкість, рад/с	104,7	104,72
4	Номінальне ковзання	0,0248	0,015
5	Номінальний струм статора, А	38,6	198,8
6	Номінальний момент, Н·м	181	1066
7	Пусковий момент, Н·м	362	1919
8	Критичний момент, Н·м	399	2345
9	Повний опір при загальмованому роторі, Ом	0,875	0,170
10	Приведений активний опір ротора, Ом	0,201	0,0245
11	Пусковий коефіцієнт потужності	0,404	0,25
12	Активний опір фазної обмотки статора, Ом	0,152	0,018
13	Повний індуктивний опір, Ом	0,513	0,165
14	Повний активний опір, Ом	0,709	0,0425

15	Індуктивний опір ротора, Ом	0,292	0,0825
16	Індуктивний опір статора, Ом	0,221	0,0825
17	Критичне ковзання	0,1033	0,12
18	Струм неробочого ходу статора, А	21,5	60,0
19	Індуктивність обмотки статора і ротора, Гн	0,0484	0,0083
20	ЕРС статора при номінальному режимі	172	214
21	ЕРС ротора, приведена до сторони статора	169	3,21
22	Опір взаємоіндукції, Ом	11,2	3,67
23	Взаємна індуктивність, Гн	0,0357	0,0117
24	Індуктивність розсіювання статора, Гн	0,00070	0,000263
25	Індуктивність розсіювання ротора, Гн	0,00093	0,000263
26	Індуктивність статора, Гн	0,03638	0,01196
27	Індуктивність ротора, Гн	0,03661	0,01198

2.2 Модернізація електропривод конвеєра

Є декілька варіантів вибору пристрою плавного пуску для приводного двигуна конвеєра №1 ДСФ:

- 1) Schneider Electric Altistart ATS22D22 з такими параметрами:
 - потужність: 22 кВт;
 - напруга 400 В;
 - струм: 45 А;
 - режим роботи: важкий пуск (heavy duty)
 - забезпечує захист двигуна.
- 2) ABB PSE 45-600-70 (серія PSE) з аналогічними параметрами.
- 3) Siemens SIRIUS 3RW3026-1BB14 з аналогічними параметрами.

Остаточного прийнято сучасний пристрій типу Schneider Electric Altistart ATS22D22, який забезпечує обмеження пускового струму, плавний розгін і

зупинку асинхронного двигуна та підвищує надійність електропривода (див. рис. 2.2).

Паспортні технічні дані Schneider Electric Altistart ATS22D22 наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Паспортні технічні дані Schneider Electric Altistart ATS22D22

№ з/п	Параметри	Значення / Одиниці вимірювання
1	Серія	Altistart 22
2	Тип пристрою	Плавний пуск (soft starter)
3	Номінальна потужність	22 кВт
4	Напруга живлення	200 – 440 В АС
5	Номінальний струм	45 А
6	Частота мережі	50/60 Гц
7	Режим пуску	Обмеження пускового струму / керування моментом



Рисунок 2.2 – Типовий вигляд пристроїв серії Altistart 22

Пристрій плавного пуску Schneider Electric Altistart 22 ATS22D22 має компактний корпус, передня панель з індикацією стану, кнопками керування та верхні/нижні силові клеми

Пристрій плавного пуску Schneider Electric Altistart 22 ATS22D22 на 22 кВт (45 А), який забезпечує плавний пуск і зупинку асинхронного електродвигуна, обмеження пускового струму та зниження динамічних навантажень на механічні елементи приводу, що підвищує надійність та енергоефективність роботи конвеєрної системи..

Для приводу конвеєра застосовано пристрій плавного пуску Schneider Electric Altistart 22 ATS22D22, який підключається за схемою “в лінію” між живильною мережею та асинхронним двигуном. Керування здійснюється через дискретні входи від кнопочового поста або PLC. Після завершення пуску передбачається можливість підключення байпасного контактора для зниження втрат потужності та підвищення енергоефективності приводу.

2.3 Статичні та енергетичні характеристики електропривода конвеєра за системою ТРН-АД

Природна механічна характеристика (рис. 2.3):

$$M(\omega, U) = \frac{m \cdot p \cdot K_e^2 \cdot U^2 \cdot R_2}{3 \cdot \pi \cdot f \cdot S(\omega) \cdot \left[\left(R_l + \frac{c_l \cdot R_2}{S(\omega)} \right)^2 + \left(2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma l} + c_l \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 2} \right)^2 \right]} \quad (2.28)$$

У програмі Matlab виконаємо розрахунок сімейства механічних (рис. 2.4), швидкісних (рис. 2.5, 2.6), енергетичних характеристик (рис. 2.7), коефіцієнта потужності (рис. 2.8) при зміні напруги живлення для десяти значень напруги мережі.

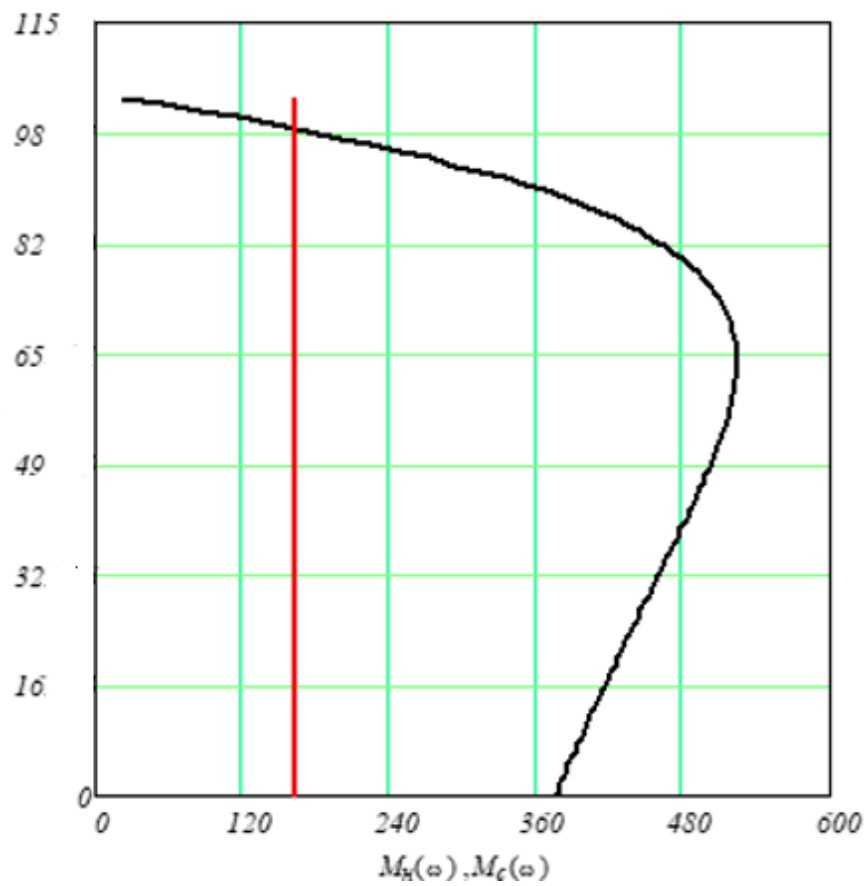


Рисунок 2.3 – Механічні характеристики двигуна і навантаження

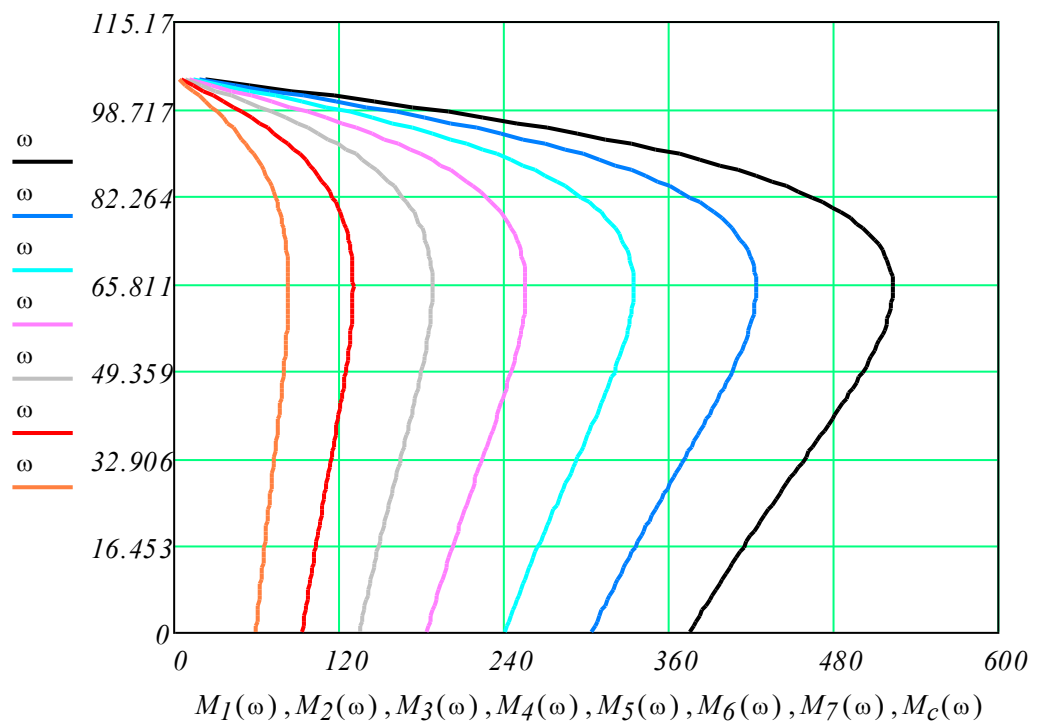


Рисунок 2.4 – Характеристики електропривода ТРН–АД (механічні) у режимі регулювання напруги

Струм ротора:

$$I_2(\omega, U) = \frac{U}{\sqrt{\left(R_I + \frac{R_2}{S(\omega)}\right)^2 + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma I} + c_I \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 2})^2}} \quad (2.29)$$

Струм статора:

$$\sin \varphi_2(\omega, U) = \frac{(2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma I} + c_I \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 2})^2}{\sqrt{\left(R_I + \frac{R_2}{S(\omega)}\right)^2 + (2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma I} + c_I \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 2})^2}} \quad (2.30)$$

$$I_I(\omega, U) = \sqrt{I_{\mu}^2 + I_2(\omega, U)^2 + 2 \cdot I_{\mu} \cdot I_2(\omega, U) \cdot \sin \varphi_2(\omega, U)} \quad (2.31)$$

$$I_{\mu} = I_{IH} \cdot \left(\sin \varphi_H - \frac{\cos \varphi_H}{\lambda_M + \sqrt{\lambda_M^2 - 1}} \right). \quad (2.32)$$

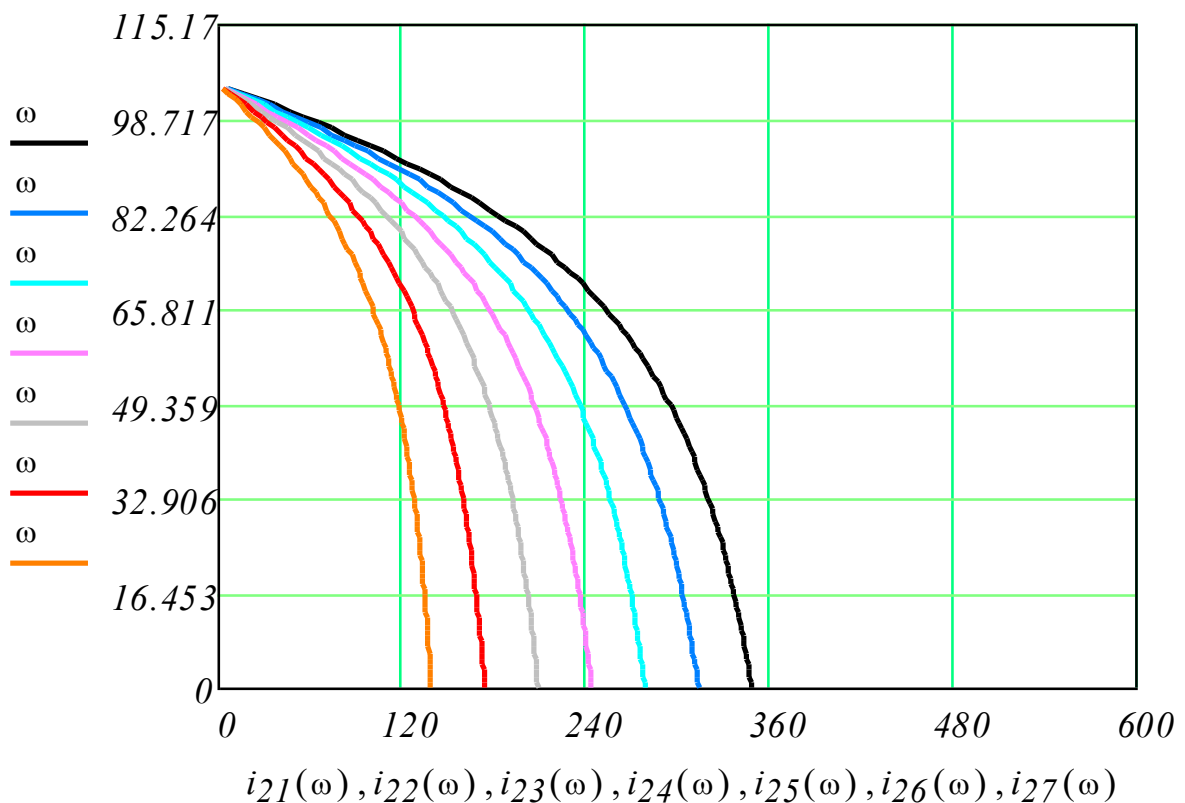


Рисунок 2.5 – Характеристики електропривода ТРН–АД (швидкісні, ротор) у режимі регулювання напруги

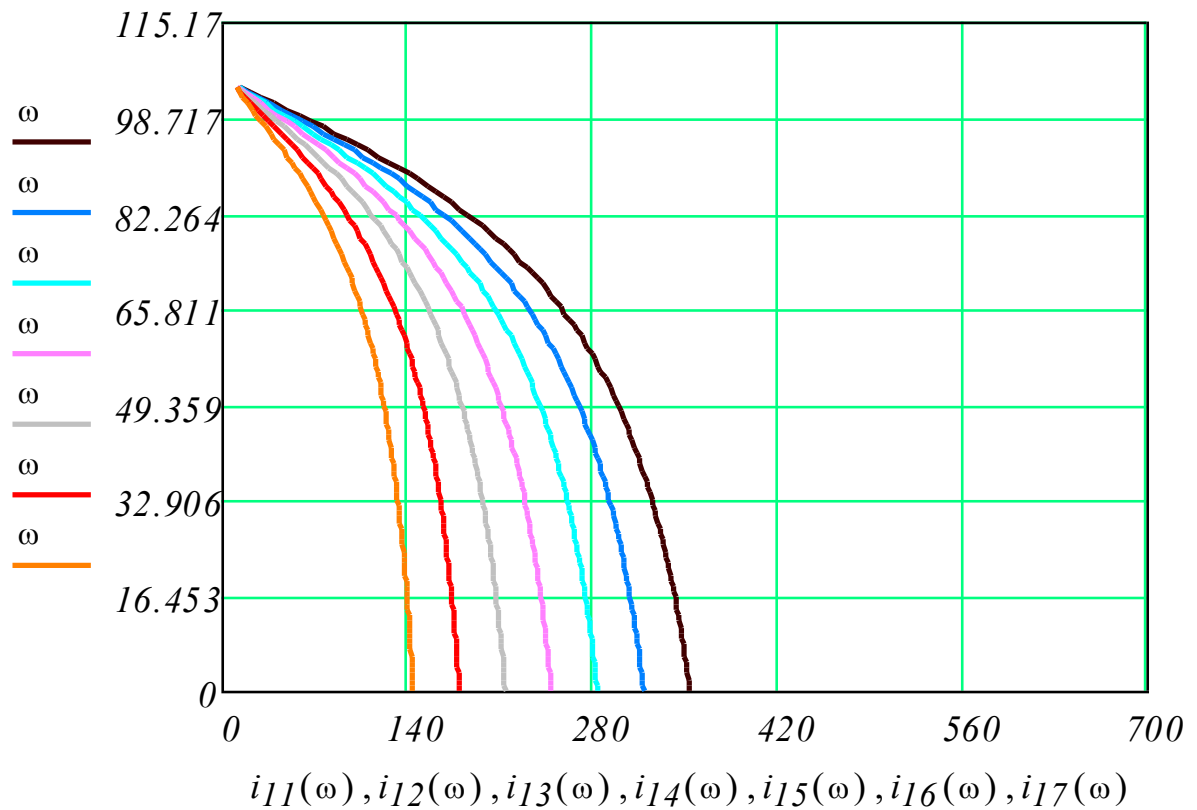


Рисунок 2.6 – Характеристики електропривода ТРН–АД (швидкісні, статор) у режимі регулювання напруги

Розрахунок коефіцієнта корисної дії (рис. 2.7):

$$P(\omega, U) = 3 \cdot U \cdot I_l(\omega, U) \cdot \cos \varphi_h \quad (2.33)$$

$$\eta(\omega, U) = \frac{M(\omega, U) \cdot \omega}{P(\omega, U)} \quad (2.34)$$

Розрахунок коефіцієнта потужності (рис. 2.8):

$$\cos \varphi(\omega, U) = \sqrt{1 - (\sin \varphi_2(\omega, U))^2} \quad (2.35)$$

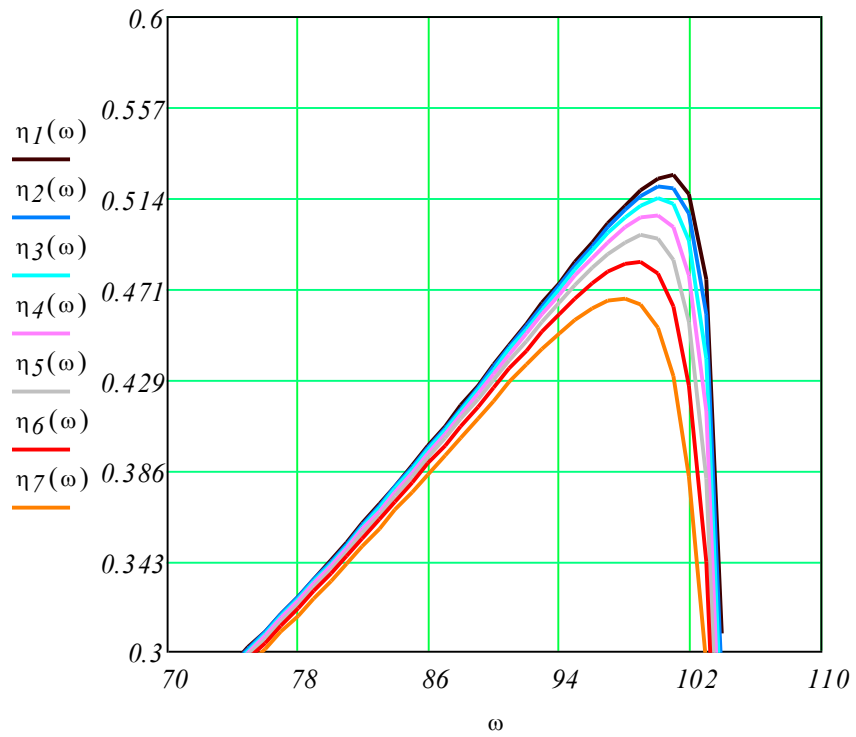


Рисунок 2.7 – Характеристики електропривода ТРН–АД (ККД) у режимі регулювання напруги

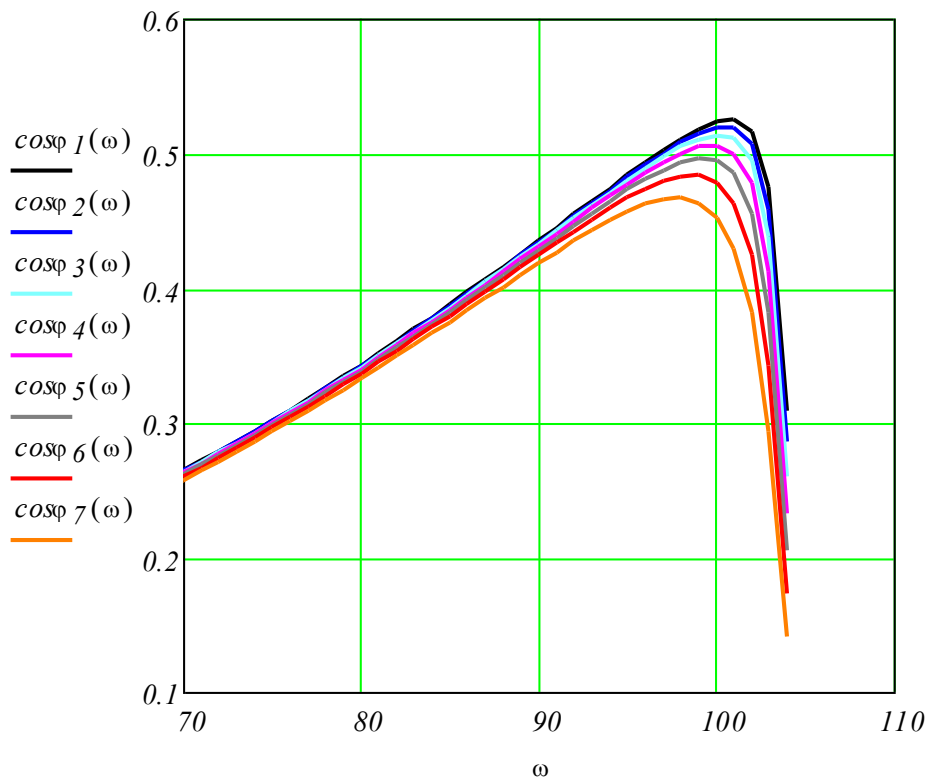


Рисунок 2.8 – Характеристики електропривода ТРН–АД (коефіцієнт потужності) у режимі регулювання напруги

2.4 Статичні характеристики електропривода дробарки. Реостатний пуск.

Для виконання реостатного пуску дробарки ККД-500/75 встановлено стандартизовані блоки резисторів ЯС4У3.

Блоки типу ЯС4 (рис. 2.9) мають однакову кількість резисторів типу ЕС10 рівну 5-ти і однакові габаритні і установчі розміри:

Опір – 0,75 Ом; Струм – 76 А

Опір 1 ступеня – 0,15 Ом

Опір 2 ступеня – 0,15 Ом

Опір 3 ступеня – 0,15 Ом

Опір 4 ступеня – 0,15 Ом

Опір 5 ступеня – 0,15 Ом



Рисунок 2.9 – Блоки типу ЯС4

Для розрахунків механічних характеристик реостатного пуску двигуна АІР315S6 виконаємо розрахунки згідно з (2.36) – (2.38) (див. рис. 2.10, 2.11).

Електромагнітний момент при номінальному ковзанні:

$$S_k(R_d) = \frac{R_2 + R_d}{\sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2}} \quad (2.36)$$

Критичний момент:

$$M_k = \frac{3 * U_{1\phi}^2}{2 * \omega_0 * \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + (X_1 + X_2')^2} \right]} \quad (2.37)$$

Момент АД:

$$M_p(\Omega, R_d) = \frac{M_k * (1 + a * S_k(R_d))}{\frac{\omega_0 - \Omega}{S_k(R_d) * \omega_0} + \frac{S_k(R_d) * \omega_0}{\omega_0 - \Omega} + 2 * a * S_k(R_d)}, \quad (2.38)$$

$$\text{де } a(R_d) = \frac{R_1}{R_2 + R_d};$$

$$\Omega = 0.05.. \omega_0$$

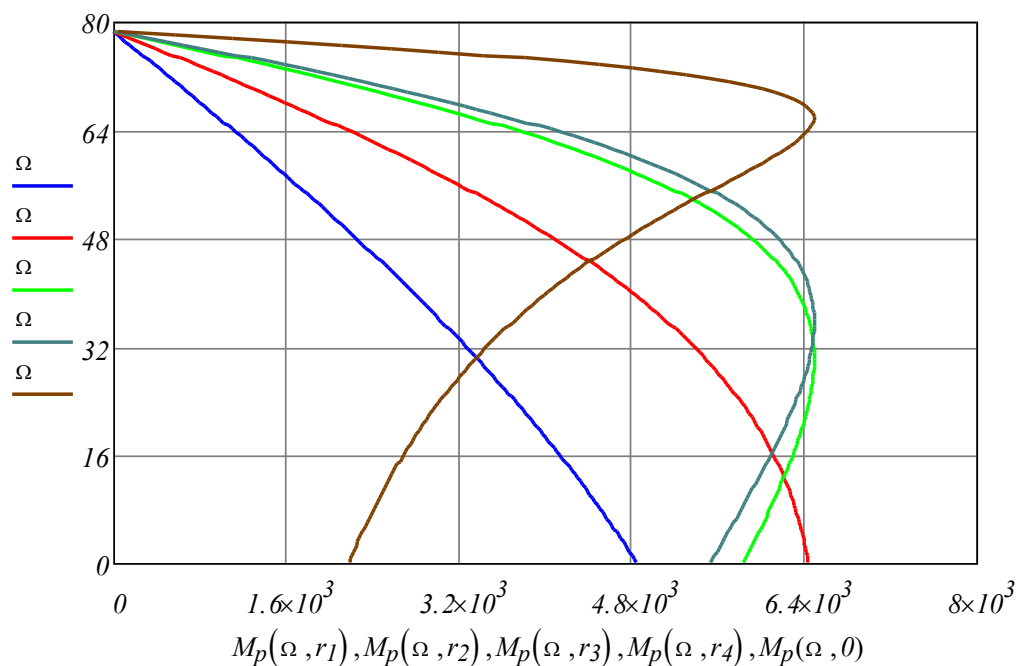


Рисунок 2.10 – Механічні характеристики реостатного пуску двигуна

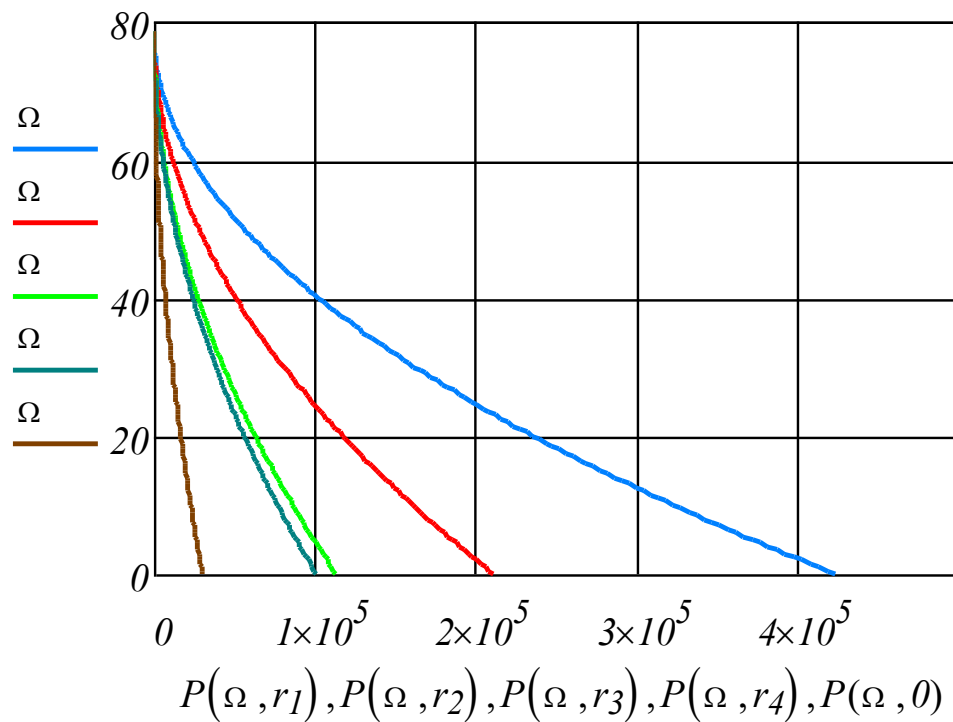


Рисунок 2.11 – Характеристики зміни потужності при реостатному пуску двигуна АІР315S6

2.5 Дослідження динаміки електропривода конвеєра

2.5.1 Величини, необхідні для дослідження динаміки роботи розімкненої та замкненої системи ТРН-АД

Розрахунок даних величин див. табл. 2.4, 2.5.

Таблиця 2.4 – Параметри щодо дослідження динаміки роботи системи ТРН-АД

№ з/п	Параметр	Формула	Номер
1	Лінійна напруга вентильної (вторинної) обмотки трансформатора	$U_{2л} = \sqrt{3} \cdot \frac{k_r}{k_u \cdot k_c} \cdot U_{нмн}$	(2.39)
2	Коефіцієнт трансформації трансформатора	$k_m = \frac{U_{1л}}{U_{2л}}$	(2.40)

3	Струм вторинної обмотки (коло живлення ППП)	$I_2 = I_n \cdot K_1$	(2.41)
4	Струм первинної обмотки	$I_1 = \frac{I_2}{K_m}$	(2.42)
5	Потужність (розрах.) трансформатора	$S_m = \frac{\sqrt{3} \cdot (U_{1л} \cdot I_1 + U_{2л} \cdot I_2)}{2}$	(2.43)
6	Сумарний опір силового кола	$R_\Sigma = 2 \cdot (R_1 + R_2) + R_{др} + \frac{m}{2 \cdot \pi} \cdot (X_{\sigma 1} + X_{\sigma 2})$	(2.44)
7	Сумарна індуктивність силового кола	$L_\Sigma = 2 \cdot (L_{\sigma 1} + L_{\sigma 2}) + L_{др}$	(2.45)
8	Електромагнітна постійна часу	$T_e = \frac{L_\Sigma}{R_\Sigma}$	(2.46)
9	Коефіцієнт моменту двигуна	$K_M = \frac{M_n \cdot \frac{\sqrt{2}}{3}}{I_{1н}}$	(2.47)
10	Коефіцієнт ЕРС двигуна	$K_E = \frac{U_{1л} \cdot \frac{3 \cdot \sqrt{2}}{\pi}}{\omega_0}$	(2.48)
11	Електромеханічна постійна часу	$T_M = \frac{J_\Sigma \cdot R_\Sigma}{K_E \cdot K_M}$	(2.49)
12	Передатна функція регулятора струму (РС)	$W_{pc}(S) = \frac{T_M \cdot K_e \cdot (4 \cdot T_{\mu c} \cdot S + 1)}{K_{зс} \cdot R_\Sigma \cdot 8 \cdot T_{\mu c}^2 \cdot S}$	(2.50)
13	Передатна функція регулятора швидкості (РШ)	$W_{pш}(S) = \frac{R_\Sigma \cdot (T_{\mu c} \cdot S + 1)}{2 \cdot T_{\mu ш}^2 \cdot S \cdot K_{зш} K_{yТПЧ}}$	(2.51)

Таблиця 2.5 – Параметри щодо дослідження динаміки роботи системи ТРН-АД

№ з/п	Параметр	Формула	Значення / одиниця вимірювання
1	Лінійна напруга вентильної (вторинної) обмотки трансформатора	$U_{2л} = \sqrt{3} \cdot \frac{1,05}{2,34 \cdot 0,85} \cdot 400 = 366$	366 В
2	Коефіцієнт трансформації трансформатора	$k_m = \frac{660}{366} = 1,8$	1,8
3	Струм вторинної обмотки (коло живлення ППП)	$I_2 = 38,56 \cdot 0,82 = 31,6$	31,6 А
4	Струм первинної обмотки	$I_1 = \frac{31,62}{1,8} = 17,5$	17,5 А
5	Потужність (розрах.) трансформатора	$S_m = \frac{\sqrt{3} \cdot (660 \cdot 17,52 + 365,7 \cdot 31,62)}{2} =$ $= 20000$ Вибираємо силовий трансформатор ТСЗП-25	20000 ВА
6	Сумарний опір силового кола	0,86	0,86 Ом
7	Сумарна індуктивність силового кола	0,00342	3,43 мГн
8	Електромагнітна постійна часу	$T_e = \frac{0,00342}{0,86} = 0,004$	0,004 с
9	Коефіцієнт моменту двигуна	$K_M = \frac{181,2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{3}}{38,56} = 2,21$	2,21

10	Коефіцієнт ЕРС двигуна	$K_E = \frac{380 \cdot \frac{3 \cdot \sqrt{2}}{3,14}}{104,7} = 4,9$	4,9
11	Електромеханічна постійна часу	$T_M = \frac{J_\Sigma \cdot R_\Sigma}{K_E \cdot K_M} = \frac{10 \cdot 0,86}{4,9 \cdot 2,21} = 0,792$	0,792 с
12	Передатна функція регулятора струму (РС)	$W_{pc}(S) = \frac{14833}{S} + 236$	-
13	Передатна функція регулятора швидкості (РШ)	$W_{pu}(S) = 0,85 + \frac{21}{S}$	-

2.5.2 Графіки динаміки системи ТРН-АД

Моделювання №1.

Моделювання проводилось у програмі Matlab. На рис. 2.12 – 2.14 зображено модель та графіки системи ТРН-АД конвеєра №1 ДСФ.

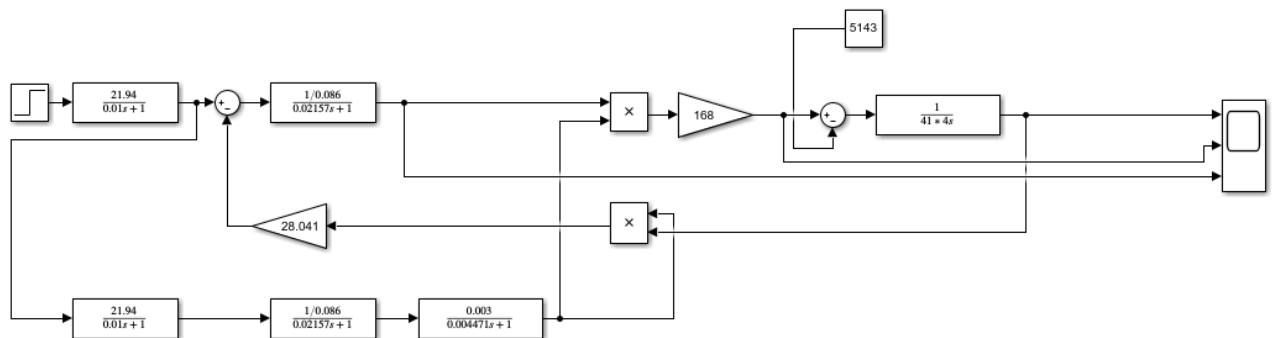


Рисунок 2.12 – Комп’ютерна модель електропривода ТРН–АД

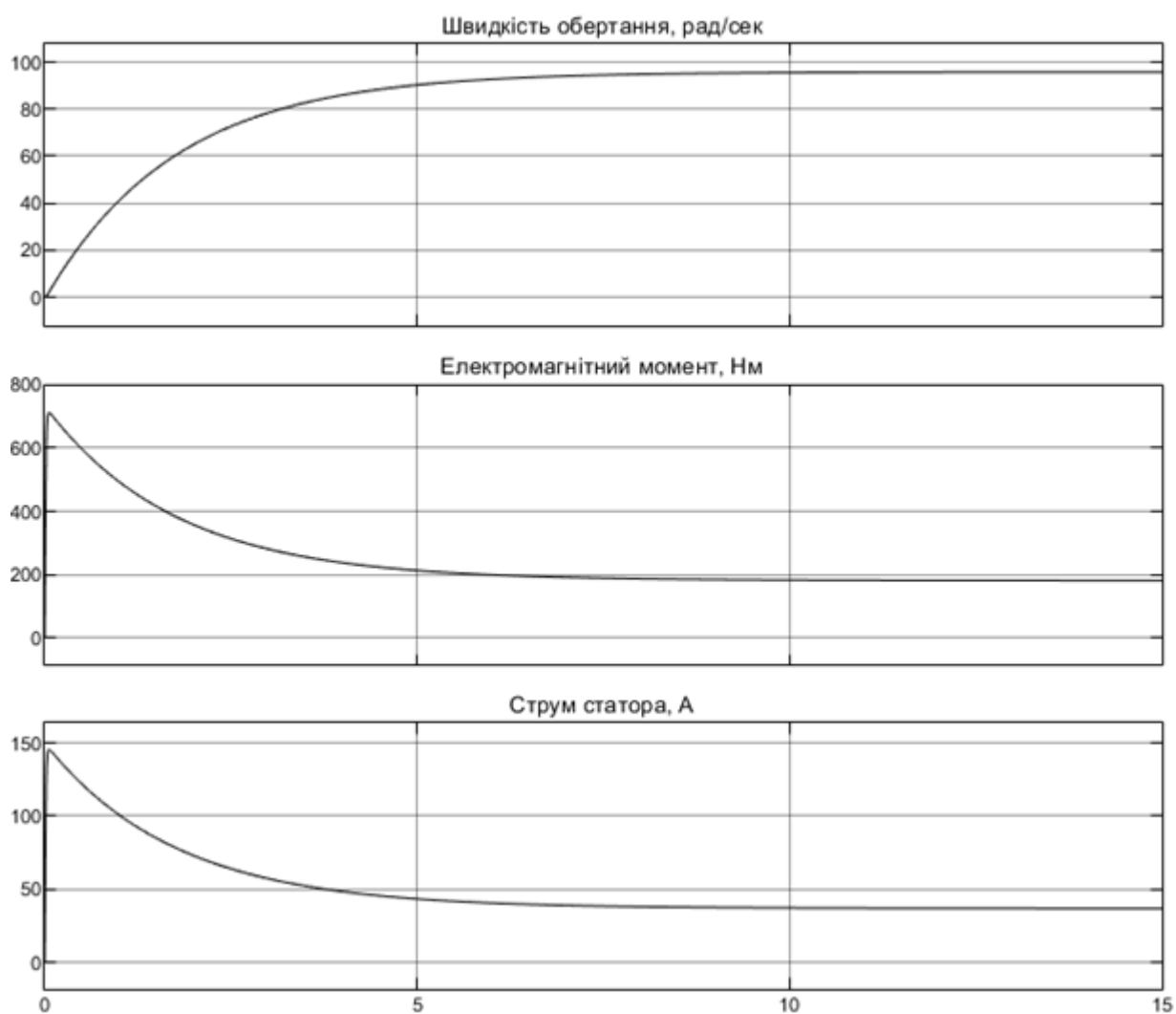


Рисунок 2.13 – Перехідні характеристики електропривода ТРН–АД конвеєра №1 при номінальному навантаженні

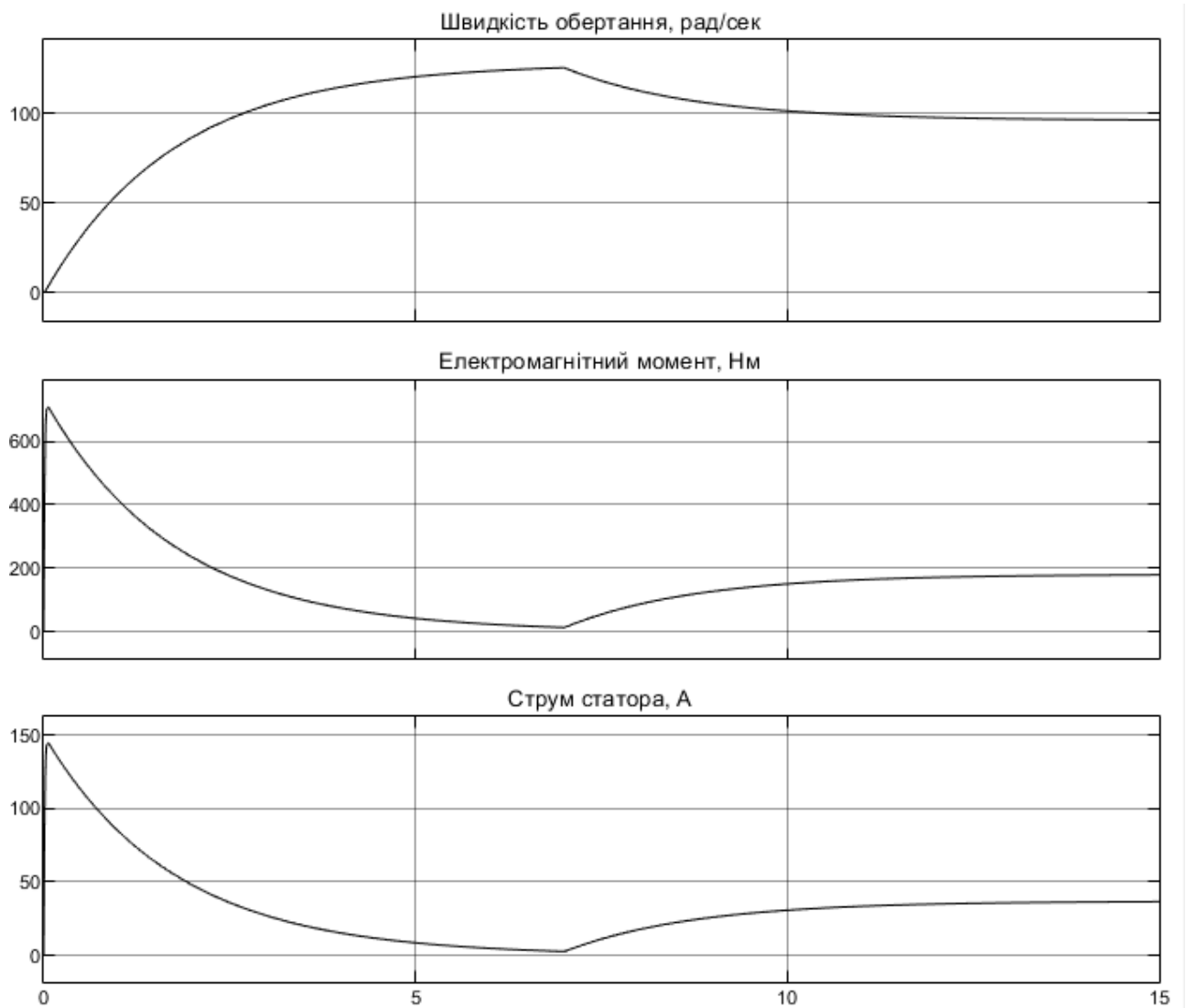


Рисунок 2.14 – Перехідні характеристики електропривода ТРН–АД конвеєра №1 (запуск та накид навантаження)

Результати моделювання №1. Пусковий струм перевищує номінальний приблизно у 6 разів, а тривалість перехідного процесу становить близько 10 с.

Моделювання №2.

На рис. 2.15 – 2.17 зображено модель та графіки системи ТРН-АД конвеєра з регуляторами струму і швидкості.

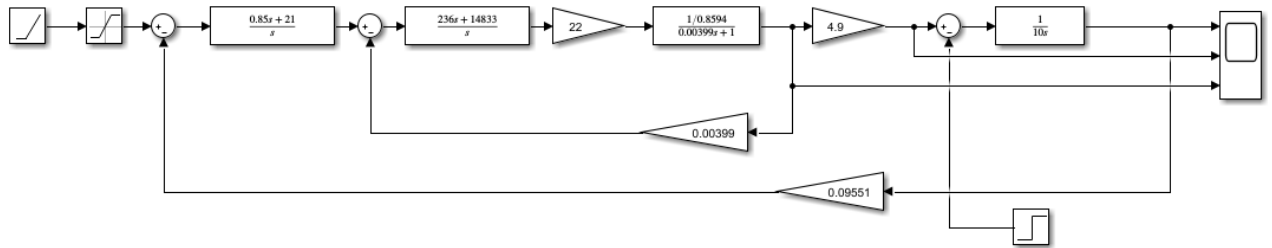


Рисунок 2.15 – Комп'ютерна модель електропривода ТРН–АД з регуляторами

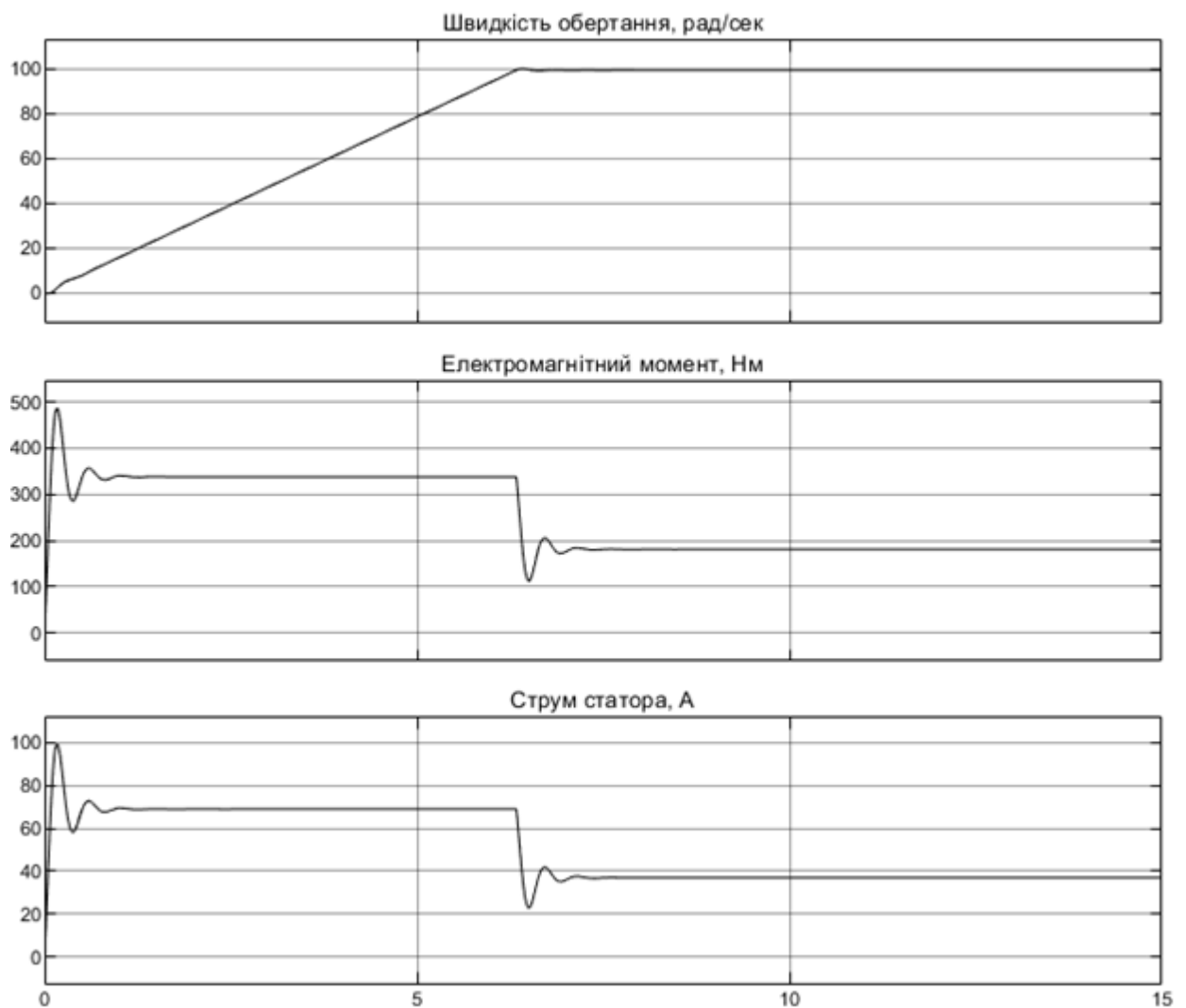


Рисунок 2.16 – Перехідні характеристики електропривода ТРН–АД конвеєра №1 при номінальному навантаженні з регуляторами

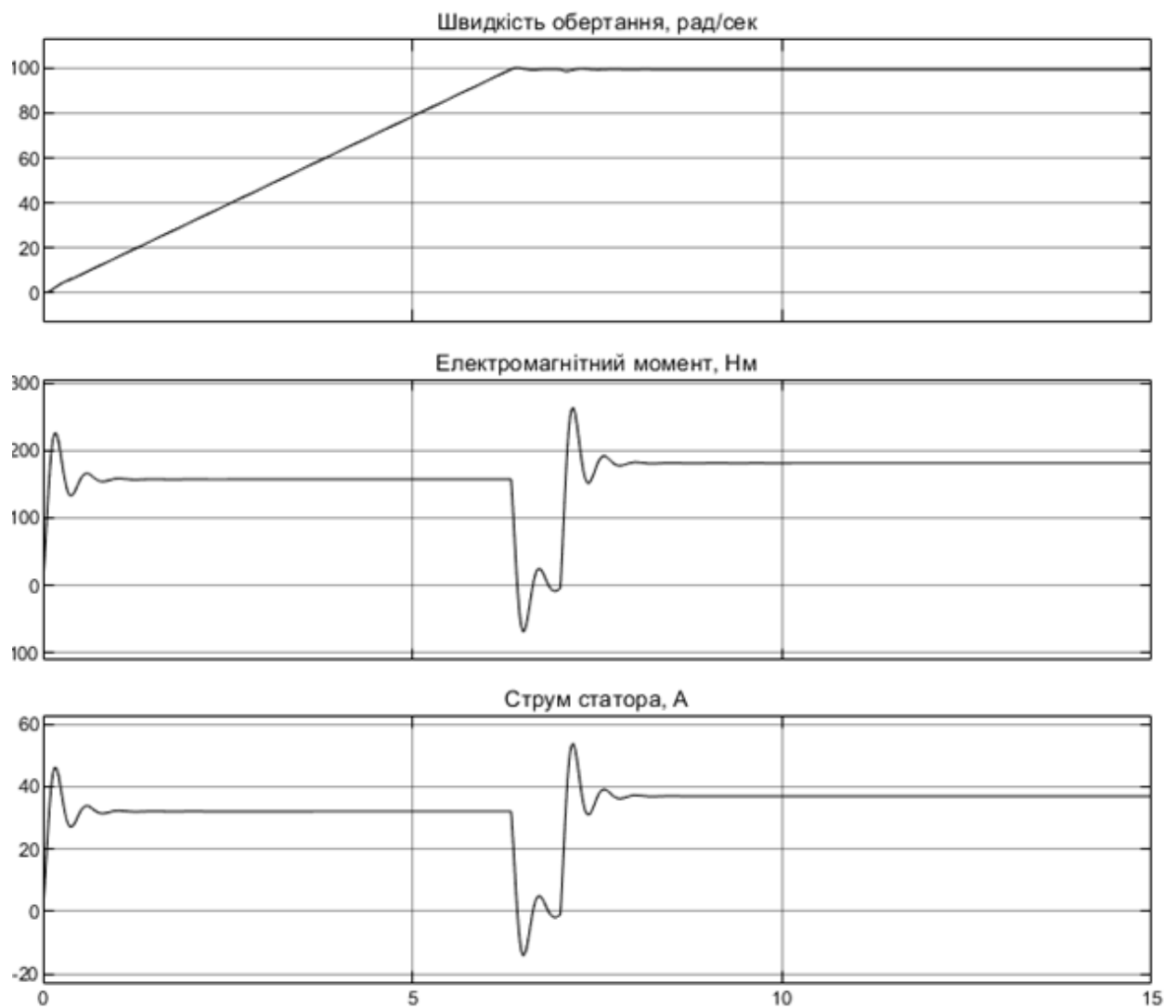


Рисунок 2.17 – Перехідні характеристики електропривода ТРН–АД конвеєра №1 (запуск та накид навантаження) з регуляторами

Результати моделювання №2. Застосування регуляторів струму дозволяє зменшити кратність пускового струму до 3 при пуску під навантаженням, що суттєво знижує негативний вплив прямого пуску асинхронного двигуна на електрообладнання.

Висновки до розділу 2

Проведено аналіз вимог до електроприводів конвеєрного транспорту та обґрунтовано вибір системи електроприводу ТРН–АД для конвеєра №1. Для цього вибраний пристрій плавного пуску Schneider Electric Altistart ATS22D22 потужністю 22 кВт.

Виконано розрахунок параметрів схеми заміщення та за допомогою програм MATLAB досліджено механічні, енергетичні та динамічні характеристики системи ТРН–АД. Побудовано графіки перехідних процесів для розімкненої та замкненої систем.

У результаті моделювання встановлено, що застосування ППП Schneider Electric Altistart ATS22D22 та регуляторів струму і швидкості дозволяє зменшити кратність пускового струму з 6 до 3, що забезпечує зниження негативного впливу пускових режимів на електрообладнання.

Також розглянуто статичні характеристики електропривода дробарки ККД-500/75 та виконано розрахунок реостатного пуску двигуна AIP315S6 із застосуванням блоків резисторів ЯС4 УЗ.

3.1 Енергоефективність та електробезпека при видобутку залізорудної сировини в Україні: стан, перспективи та напрями підвищення ефективності

Енергоефективність є одним із ключових показників розвитку економіки держави, оскільки безпосередньо впливає на рівень енергоемності ВВП та конкурентоспроможність промисловості. Для України проблема зниження енергоемності економіки залишається особливо актуальною, оскільки рівень енерговитрат у промисловому секторі суттєво перевищує показники більшості розвинених країн. У зв'язку з цим державна стратегія розвитку передбачає підвищення енергоефективності, енергозбереження та забезпечення енергетичної безпеки шляхом впровадження сучасних технологій і систем управління електроспоживанням.

Основним споживачем електричної енергії в Україні залишається промисловість, частка якої становить близько 40–42 % загального електроспоживання країни. Особливо енергоємними є гірничо-металургійні підприємства, значна частина яких розташована у Дніпропетровській області та належить до Криворізького залізорудного басейну. Саме залізорудна сировина є одним із головних експортних ресурсів України та важливим джерелом формування ВВП держави.

Видобуток залізної руди в Україні здійснюється відкритим і підземним способами. При підземному видобутку понад 30 % собівартості продукції припадає на енерговитрати, причому близько 90 % цих витрат становить електроенергія. За останні десятиліття енергоємність видобутку залізорудної сировини має тенденцію до зростання, що обумовлено збільшенням глибини розробки родовищ, ускладненням гірничо-геологічних умов, зростанням довжини підземних електричних мереж та підвищенням тарифів на електроенергію.

Глибина ведення гірничих робіт на сучасних шахтах Криворізького басейну досягає 1500–1950 м, а перспективні проєкти передбачають розробку горизонтів понад 2500 м. Це призводить до збільшення протяжності кабельних мереж у 3,5–4 рази та суттєвого зростання навантаження на системи електропостачання. Водночас значна частина електротехнічного обладнання експлуатується понад нормативний термін, а коефіцієнт завантаження силових трансформаторів у багатьох випадках не перевищує 20 %, що свідчить про низьку ефективність використання встановлених потужностей.

Аналіз структури електроспоживання показав, що найбільші витрати електроенергії припадають на скіпові підйомні установки, водовідливні системи та вентилятори головного провітрювання, які сумарно споживають до 90 % електроенергії шахти. Значні втрати електроенергії спостерігаються також у внутрішньоцехових мережах, де вони можуть досягати 25–28 %. Це свідчить про наявність значного резерву підвищення енергоефективності.

Дослідження режимів електроспоживання залізорудних підприємств показали значну нерівномірність графіків навантаження. Найбільші коливання спостерігаються протягом доби, що пов'язано з переходом енергоємних споживачів у нічні тарифні зони. Використання диференційованих тарифів дозволило частково знизити витрати на електроенергію, однак планові та фактичні графіки споживання часто відрізняються на 12–15 %, що свідчить про недостатній рівень прогнозування та управління електроспоживанням.

Встановлено, що між обсягами видобутку руди та рівнем електроспоживання не завжди існує пряма залежність. Для окремих шахт коефіцієнти кореляції між цими показниками є низькими, що підтверджує складний та багатофакторний характер процесу електроспоживання. На нього впливають гірничо-геологічні, технологічні, кліматичні, організаційні та електротехнічні чинники.

Основними напрямками підвищення енергоефективності залізорудних підприємств є:

- модернізація систем електропостачання;
- застосування енергоефективного електропривода;
- зменшення втрат електроенергії в мережах;
- оптимізація режимів роботи електроприймачів;
- впровадження систем моніторингу та прогнозування електроспоживання;
- перехід від централізованого електропостачання до систем із розподіленою генерацією;
- використання відновлюваних джерел енергії.

Особливу увагу доцільно приділяти створенню систем управління електроспоживанням на базі сучасних інформаційних технологій. Для аналізу режимів електроспоживання доцільно застосовувати методи багатовимірної статистики, головних компонент та розкладання Карунена–Лоева, що дозволяють працювати в умовах неповної та слабоформалізованої інформації.

Перспективним напрямом є впровадження локальних джерел генерації електроенергії на основі сонячної, вітрової та гідроенергетики. Використання власних генеруючих потужностей дозволяє знизити вартість електроенергії у 2–3 рази порівняно з електроенергією, отриманою з енергосистеми.

За результатами досліджень встановлено, що реалізація комплексу організаційних і технічних заходів дозволяє знизити споживання електроенергії на залізничних підприємствах у межах 15–40 % залежно від стану систем електропостачання та рівня модернізації обладнання. Таким чином, підвищення енергоефективності залізничних шахт є одним із ключових напрямів забезпечення економічної ефективності, енергетичної безпеки та конкурентоспроможності гірничорудної галузі України.

3.2 Електропостачання шахти Покровська

Електропостачання шахти Покровська виконується від головної поверхневої підстанції Покровська-154. Подача електроенергії в підземні виробки здійснюється двома реакторними вводами через стовбур шахти Зоря та систему підземних підстанцій, зокрема: підйомну підстанцію шахти Зоря, підстанції Водовідлив (горизонти 965 м і 1115 м) і ЦПП горизонту 1265 м.

Через наявність споживачів I та II категорій надійності передбачено підвищену резервованість системи живлення: роздільна робота вводів, секціонування РУ-6 кВ та незалежна робота трансформаторів. Відповідальні електроприймачі підключені до двох секцій шин ЦПП, що дозволяє забезпечити резервне живлення при виході з ладу одного з елементів схеми та підвищує безперервність роботи шахти.

Рівні напруги для підземних електроприймачів вибрано відповідно до нормативних вимог і умов експлуатації. Використовуються напруги 6; 0,66 і 0,38 кВ змінного струму.

Напруга 6 кВ застосовується для живлення потужних стаціонарних установок (понад 200–250 кВт), тоді як 0,66 і 0,38 кВ використовуються для менш потужних механізмів (очисні та підготовчі дільниці, вентиляція,

місцевий водовідлив). Для ручного інструменту використовується 127 В, а для освітлення – 127 і 220 В.

Споживачі постійного струму включають електровози, системи сигналізації, автоматики та СЦБ. Живлення електровозної відкатки здійснюється напругою 250 В постійного струму.

Однолінійна схема електропостачання шахти наведена на рис. 3.1.

3.3 Розташування ЦПП

Центральна підземна підстанція (ЦПП) призначена для прийому електроенергії від підстанції Водовідлив горизонту 1115 м та її подальшого розподілу до споживачів горизонту 1190 м шахти Сліпа Покровська, квершлягу горизонту 1265 м, а також до тягових і насосних агрегатів. Крім того, вона забезпечує перетворення електроенергії для живлення електроприймачів білястовбурного двору.

ЦПП розміщується в білястовбурному дворі у капітальній виробці, закріпленій негорючим матеріалом (бетоном), і має два виходи. Вихідні отвори обладнані вентиляційними ґратами (у нормальному стані закритими), металевими протипожежними дверима та вікнами, що відкриваються назовні й не перешкоджають руху у виробці.

Електрообладнання в ЦПП розташовується з урахуванням безпеки обслуговування: його встановлюють так, щоб можливі місця проникнення води до струмоведучих частин знаходилися не нижче 1 м від рівня головки рейок. Для цього підлогу підстанції піднімають приблизно на 0,5 м від рівня рейок. Усе обладнання підлягає обов'язковому заземленню.

На кожній секції шин передбачено встановлення резервного комплектного розподільного пристрою (КРУ), повністю змонтованого та підключеного, а також резервне місце для подальшого розширення.

Розміри камери ЦПП визначаються габаритами та кількістю встановленого обладнання з урахуванням монтажних і транспортних проходів.

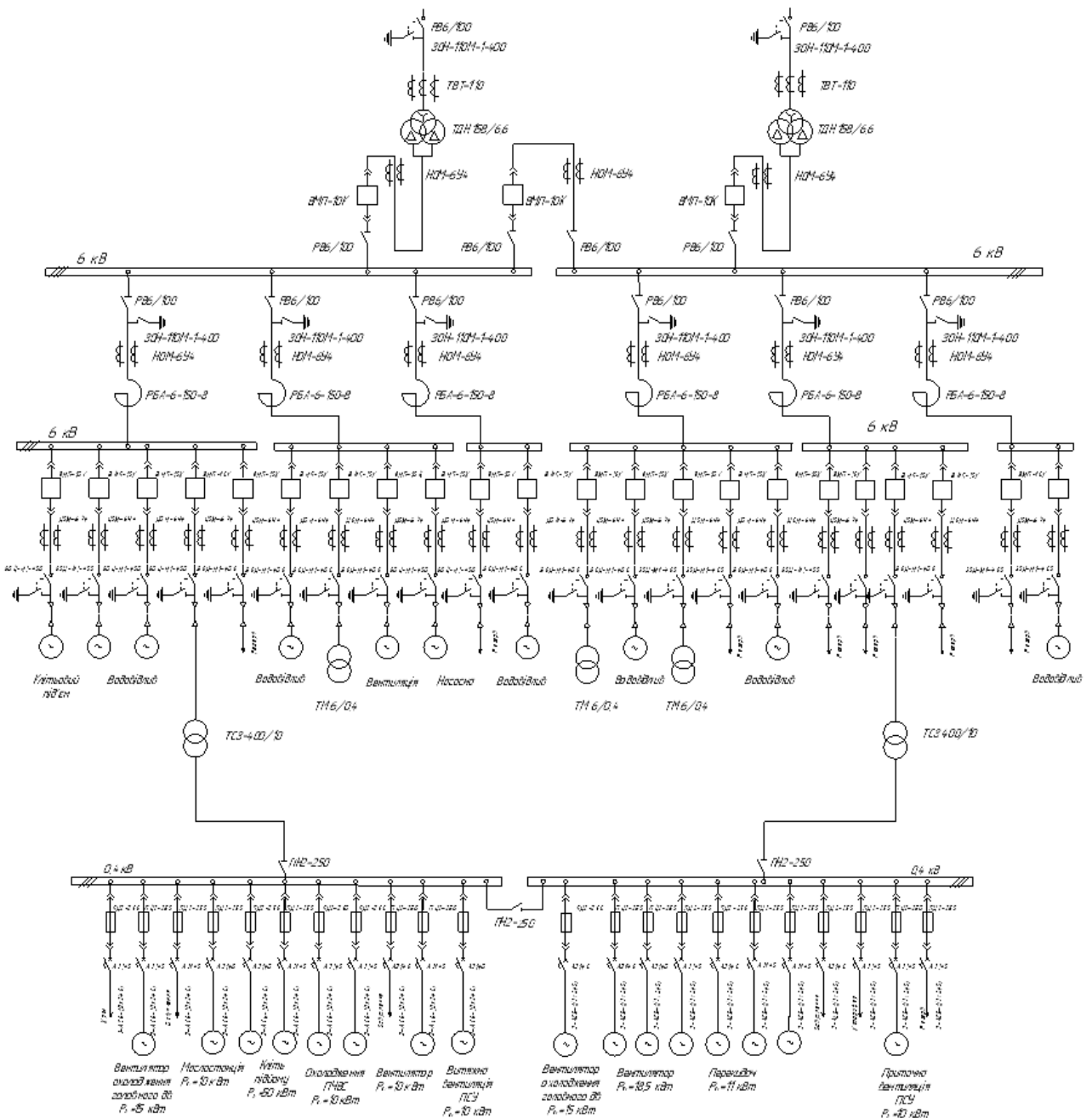


Рисунок 3.1 – Однолінійна схема електропостачання шахти Покровська

Розподільний пристрій 6 кВ комплектується осередками типу КРУРН-6, а силові трансформатори – серії ТСШВ. РУ-6 кВ і трансформатори розміщуються з одного боку камери, а низьковольтні розподільні пристрої - з протилежного.

Ширина монтажних проходів повинна забезпечувати безпечне обслуговування та транспортування обладнання: з тилового боку РУ - не

менше 0,5 м, між високовольною та низьковольною частинами, а також уздовж камери - не менше 0,8 м.

Кабельні лінії прокладаються переважно по стінках і склепінню виробки на спеціальних конструкціях. При прокладанні по підлозі вони повинні бути надійно захищені від механічних пошкоджень.

3.2 Споживачі електроенергії та вибір трансформаторів ЦПП

До основних споживачів електроенергії шахти належать такі електроприймачі:

1. Високовольтні насосні агрегати (тип ВАО 500М4): потужність 315 кВт, напруга 6 кВ, номінальний струм 37,3 А, коефіцієнт кратності пускового струму $K_i = 6$.
2. Електродвигун дробарки ДСФ (АК313-52-12У4): потужність 250 кВт, напруга 6 кВ, номінальний струм 34,5 А, $K_i = 6,0$.
3. Двигун живильника (4АМ250): потужність 30 кВт, напруга 0,38 кВ, номінальний струм 64 А, $K_i = 6,0$.
4. Двигун вентилятора (4АІР 180М4): потужність 30 кВт, напруга 0,38 кВ, номінальний струм 56 А, $K_i = 6,5$.
5. Двигун компресора (5АМ250): потужність 37 кВт, напруга 0,38 кВ, номінальний струм 75 А, $K_i = 6,0$.
6. Високопотужний компресорний двигун (АК85-24): потужність 160 кВт, напруга 0,38 кВ, номінальний струм 301 А, $K_i = 6,5$.
7. Інші механізми білястовбурного двору, що оснащені асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором.
8. Система електричного освітлення шахти.
9. Оперативні кола керування та автоматики.
10. Електровозна відкатка.

Усі електроприймачі систематизовано за технологічним призначенням та рівнем напруги. Для кожної групи визначено сумарну встановлену потужність і виконано розрахунок активних, реактивних та повних електричних навантажень (табл. 3.1):

$$P_p = K_{\text{попиту}} \cdot P_{\text{установок}}; Q_p = P_p \cdot \operatorname{tg} \varphi; S_p = \sqrt{Q_p^2 + P_p^2}.$$

Таблиця 3.1 - Навантажень на шинах ЦПП

Приймачі електроенергії	Число п, шт	Потужність, кВт		Коеф. попиту $K_{\text{п}}$	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	Розрахункова потужність		
		$P_{\text{ном}}$	Сумарна $P_{\text{ном}}$				$P_{\text{р, кВт}}$	$Q_{\text{р, кВАр}}$	$S_{\text{р, кВА}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Споживачі 6 кВ									
Трансформатор ТСШВП-400/6	2								800
Головний водовідлив	2	315	630	0,8	0,8	0,75	504	378	630
Електровозна відкатка	2	137,5	275	0,6	0,8	0,75	165	124	206
Білястовбурний двір гор. 1265 м	1	1680	1680	0,75	0,8	0,75	1260	945	1575
ШСУ квершлаг гор. 1265 м	1	405	405	0,75	0,8	0,75	304	228	380
Всього 6 кВ							2233	1675	3590
Споживачі 0,4 кВ									
Живильник	1	30	30	0,7	0,8	0,75	21	16	26
Вентилятор ВМЕ-У6	1	24	24	0,75	0,8	0,75	18	14	23
Дробарка ККД-500/75	2	110	220	0,75	0,8	0,75	166	124	208
Підйомна машина Ц-1,6×1,2 АР	1	160	160	0,8	0,8	0,75	128	96	160
Віброживильник ЛШВ-3,35	1	16	16	0,75	0,75	0,88	12	11	16
Лебідка типу 1ЛВ-09	1	4	4	0,5	0,45	1,98	2	4	4
Лебідка типу ЛПЕ-5/1000	1	6	6	0,5	0,45	1,98	3	6	6
Освітлення	-	-	40	1,0	1,0	0	40	-	40
Всього 0,4 кВ							344	237	483

Для живлення низьковольтних споживачів підстанції приймаються до встановлення дві трансформаторні підстанції типу ТСШВП-400/6 із загальною потужністю 800 кВА.

Для підвищення надійності електропостачання передбачено резервування одного трансформатора на випадок виходу з ладу основного обладнання. Основні технічні характеристики трансформаторів наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 - Технічні дані трансформатора ТСШВП-400/6

№ з/п	Основні характеристики	Значення / одиниці вимірювання
1	Номінальна потужність	400 кВА
2	Номінальна напруга ВН	6000 В
3	Номінальна напруга НН	400 В
4	Номінальний струм ВН	39,4 А
5	Номінальний струм НН	578 А
6	Напруга КЗ	3,5 %
7	Струм неробочого ходу	5,5 %
8	Втрати неробочого ходу	2250 Вт
9	Втрати КЗ	2900 Вт

3.3 Розрахунок кабельної мережі

Кабельна мережа підстанції: живильний кабель (6 кВ) – $L=800$ м, для підключення до секцій шин підстанції Водовідлив (1115 м), кабелі (0,4 кВ) - для живлення низьковольтних споживачів.

3.3.1. Кабелі напругою вище 1000 В

Вибір високовольтного кабелю здійснюється за умовами допустимого тривалого струму навантаження, допустимих втрат напруги, економічної густини струму та термічної стійкості до струмів короткого замикання:

- 1) Допустимий тривалий струм навантаження:

Розрахунок кабелю за допустимим тривалим струмом полягає у виборі перерізу кабелю відповідно до значення розрахункового струму навантаження. Розрахунковий струм, що споживається підстанцією, становить:

$$I_p = \frac{S_{пнб}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{3590}{\sqrt{3} \cdot 6} = 345 \text{ А}, \quad (3.1)$$

де $U_{ном} = 6,0$ кВ - номінальна напруга на шинах підстанції.

Встановлено кабель з мідними жилами $S = 120 \text{ мм}^2$ з $I_{пр} = 382 \text{ А}$.

2) Допустима втрата напруги.

Припустима втрата напруги:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \cos \phi}{\gamma \cdot \Delta u} = \frac{1,73 \cdot 345,45 \cdot 800 \cdot 0,8}{53 \cdot 90} = 80 \text{ мм}^2, \quad (3.2)$$

де $l = 800$ м - довжина кабелю;

$\cos \phi = 0,8$ - середньозважене значення коефіцієнта потужності підстанції;

$\gamma = 53 \frac{\text{М}}{\text{О}_\text{м} \cdot \text{мм}^2}$ - електрична провідність матеріалу струмопровідної жили

(міді);

Δu - допустиме падіння напруги в лінії на даній ділянці кабелю, В, з урахуванням загальної довжини кабельної лінії від ГПП до ЦПП горизонту

1265 м, приймається $\Delta u = 1,5\%$ від $U_\text{н}$, тобто $\Delta u = \frac{6000 \cdot 1,5}{100} = 90 \text{ В}$.

Обраний переріз кабелю відповідає умовам допустимого падіння напруги.

3) Економічна густина струму.

Значення економічної густини струму для мідних кабелів $j = 2,5 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ є

допустимим і використовується кабельних ліній промислових підприємств:

$$S_{ек} = \frac{I_p}{j} = \frac{345}{2,5} = 138 \text{ мм}^2. \quad (3.3)$$

Обраний переріз кабелю відповідає умовам. Необхідно прийняти кабель перетином 150 мм².

4) Термічна стійкість до струмів короткого замикання.

Термічна стійкість до струмів короткого замикання:

$$S_{\min} = \frac{I_{\infty} \cdot \sqrt{t_{\phi}}}{C} = \frac{4817 \cdot \sqrt{0,4}}{165} = 18,5 \text{ мм}^2, \quad (3.4)$$

де $t_{\phi} = 0,2-0,4$ с - час відключення захисного апарату для КРУРН - 6 залежно від налаштувань струмових захистів та умов селективності мережі;

$C=165$ – коефіцієнт для міді;

$$I_{\infty} = \frac{50000}{1,73 \cdot 6,0} = 4817 \text{ А} - \text{струм трифазного короткого замикання на шинах}$$

ЦПП при максимально допустимій потужності короткого замикання $S_{\text{кз}}=50 \text{ МВ} \cdot \text{А}$.

Остаточню приймаємо кабель марки ЦСП_н-6 3х150.

3.3.1. Кабелі напругою до 1000 В

Вибір кабелю для дробарки ККД-500/75 ДСФ шахти «Покровська».

Струм дробарки ККД-500/75 згідно з табл. 2.2 - 38,6 А.

Встановлено кабель з мідними жилами $S = 10 \text{ мм}^2$ з $I_{\text{пр}} = 70 \text{ А}$.

1) За допустимою втратою напруги за (3.2):

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot 38,6 \cdot 400 \cdot 0,8}{53 \cdot 90} = 4,5 \text{ мм}^2.$$

2) Економічна густина струму за (3.3):

$$S_{\text{ек}} = \frac{38,6}{2,5} = 15,44 \text{ мм}^2.$$

Остаточню приймаємо кабель марки ВВГ 3х16.

3.4 Струми короткого замикання в електричних мережах

3.4.1 Мережа напругою вище 1кВ

Розрахунок струмів короткого замикання здійснюється у відносних одиницях, приймаючи базисну потужність 100 МВА, базисну напругу - 6,3 кВ, опір системи $X_c = 0,42$.

Розрахунок опорів схеми заміщення мережі зведено у табл. 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 – Розрахунок опорів схеми заміщення мережі напругою вище 1кВ

№ з/п	Назва параметру	Розрахунковий вираз	Номер виразу
1	Базисний струм	$I_{\bar{\sigma}} = \frac{S_{\bar{\sigma}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{\sigma}}}$	(3.5)
2	Опір реактора	$X_{*P} = \frac{X_{н.р.} \% \cdot I_{\bar{\sigma}} \cdot U_{н.р.}}{100 \cdot I_{н.р.} \cdot U_{\bar{\sigma}}}$	(3.6)
3	Опір кабельної лінії ЦСП _н -6 3х150	$X_{*Л} = X_0 \cdot l \cdot \frac{S_{\bar{\sigma}}}{U_{\bar{\sigma}}^2}$	(3.7)
4	Результуючий опір до точки K_1	$X_{*рез} = X_c + \frac{X_{*рп}}{2} + \frac{X_{*бл}}{2}$	(3.8)
5	Сталий струм короткого замикання в точці K_1	$I_{кз1} = I_{\infty} = \frac{I_{\bar{\sigma}}}{X_{*б.рез}}$	(3.9)
6	Ударний струм в точці K_1	$i_{y1} = 2,55 \cdot I_{кз1}$	(3.10)

Таблиця 3.2 – Розрахунок опорів схеми заміщення мережі напругою вище 1кВ

№ з/п	Назва параметру	Розрахунковий вираз та величина параметру	Одиниця вимірювання
1	Базисний струм	$I_{\bar{\sigma}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,164$	9,164 кА
2	Опір реактора	$X_{*P} = \frac{15,3 \cdot 9,18 \cdot 10}{100 \cdot 1 \cdot 6,3} = 2,23$	2,23
3	Опір кабельної лінії ЦСП _н -6 3х150, де $X_{0к}$ питомий опір	$X_{*Л} = 0,08 \cdot 0,2 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,04$ $X_{0к} = 0,08 \text{ Ом/км}$ $l = 0,2 \text{ км}$	0,04

4	Результуючий опір до точки K_1	$X_{*рез} = 0,42 + \frac{2,23}{2} + \frac{0,04}{2} = 1,55$	1,55
5	Сталий струм короткого замикання в точці K_1	$I_{кз1} = I_{\infty} = \frac{9,18}{1,55} = 5,92$	5,92 кА
6	Ударний струм в точці K_1	$i_{y1} = 2,55 \cdot 5,92 = 15,1$	15,1 кА

3.4.2 Мережа напругою до 1кВ

Розрахунок опорів схеми заміщення мережі зведено у табл. 3.3 та 3.4.

Таблиця 3.3 – Розрахунок опорів схеми заміщення мережі напругою до 1кВ

№ з/п	Назва параметру	Розрахунковий вираз	Номер виразу
1	Базисний струм	$I_{\bar{o}} = \frac{S_{\bar{o}}}{1,73 \cdot U_{\bar{o}}}$	(3.11)
2	Індуктивний опір трансформатора ТМ-5600/10, ТМ-400/10	$X_{тр} = \frac{u_{\kappa} \% \cdot S_{\bar{o}}}{100 \cdot S_{нс}}$	(3.12)
3	Активний опір трансформатора ТМ-5600/10, ТМ-400/10	$r_{тр} = \frac{\Delta P_{\mathcal{M}} \cdot S_{\bar{o}}}{S_{\mathcal{H}} \cdot S_{\mathcal{H}}}$	(3.13)
4	Індуктивний опір кабельної лінії	$X_{*L} = \frac{X_{ол} \cdot l_{\mathcal{L}} \cdot S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2}$	(3.14)
5	Активний опір кабельної лінії	$r_{*L} = \frac{r_{ол} \cdot l_{\mathcal{L}} \cdot S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2}$	(3.15)
6	Результуючий реактивний опір до точки K_2	$X_{\sum 0,4} = X_{*б.рез} + X_{mp2}$	(3.16)
7	Результуючий активний опір до точки K_2	$r_{\sum 0,4} = \frac{r_{mp1}}{2} + \frac{r_L}{2} + r_{mp2}$	(3.17)
8	Повний опір до точки K_2	$z = \sqrt{X_{\sum 0,4}^2 + r_{\sum 0,4}^2}$	(3.18)
9	Сталий струм короткого замикання в точці K_2	$I_{кз2} = \frac{I_{\bar{o}}}{z}$	(3.19)

10	Ударний струм в точці K_1 , K_2	$I_{y2} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{кз2}$	(3.20)
----	--	---	--------

Таблиця 3.4 – Розрахунок опорів схеми заміщення мережі напругою до 1кВ

№ з/п	Назва параметру	Розрахунковий вираз та величина параметру	Одиниця вимірювання
1	Базисний струм	$I_6 = \frac{100}{1,73 \cdot 0,4} = 144,338$	144,338 кА
2	Індуктивний опір трансформатора ТМ-5600/10, ТМ-400/10	$X_{тр1} = \frac{5,5 \cdot 100 \cdot 10^6}{100 \cdot 5600 \cdot 10^3} = 0,98$ $X_{тр2} = \frac{4,5 \cdot 100 \cdot 10^6}{100 \cdot 400 \cdot 10^3} = 11,25$	0,98 11,25
3	Активний опір трансформатора ТМ-5600/10, ТМ-400/10	$r_{тр1} = \frac{5700 \cdot 100 \cdot 10^9}{5600 \cdot 5600 \cdot 10^6} = 18,18$ $r_{тр2} = \frac{5,5 \cdot 10^3 \cdot 100 \cdot 10^6}{400 \cdot 400 \cdot 10^6} = 3,44$	18,18 3,44
4	Індуктивний опір кабельної лінії ЦСП _н -6 3х150, де $X_{0к}$ питомий опір	$X_L = \frac{0,08 \cdot 0,2 \cdot 100}{0,4^2} = 10$ $X_{0к} = 0,08 \text{ Ом/км}$ $l = 0,2 \text{ км}$	10
5	Активний опір кабельної лінії ЦСП _н -6 3х150, де $r_{0к}$ питомий опір	$r_L = \frac{0,124 \cdot 0,2 \cdot 100}{0,4^2} = 15,5$ $r_{0к} = 0,124 \text{ Ом/км}$ $l = 0,2 \text{ км}$	15,5
6	Результуючий реактивний опір до точки K_2	$X_{\sum 0,4} = 1,55 + 11,25 = 12,8$	12,8
7	Результуючий активний опір до точки K_2	$r_{\sum 0,4} = \frac{18,18}{2} + \frac{15,5}{2} + 3,44 = 20,28$	20,28
8	Повний опір до точки K_2	$z = \sqrt{12,8^2 + 20,28^2} = 24$	24
9	Сталий струм короткого	$I_{кз2} = \frac{144,5}{24} = 6,02$	6,02 кА

	замикання в точці K_2		
10	Ударний струм в точці K_1, K_2	$I_{y2} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{K32}$	15,3 кА

3.5 Розрахунок та вибір високовольтного і низьковольтного обладнання ЦПП

Розподільний пристрій напругою 6 кВ центральної підземної підстанції передбачається виконати на основі комплектних розподільних комірок типу КРУРН-6. Вибір даного обладнання здійснюється за значеннями номінальної напруги та робочого струму, а також з урахуванням вимог щодо відключаючої здатності, електродинамічної та термічної стійкості при дії струмів короткого замикання.

Розрахунковий струм навантаження підстанції $I_p = 408$ А. З огляду на отримане значення для встановлення приймається комірка типу КРУРН-6 з номінальним струмом $I_n = 630$ А, параметри якої відповідають умовам експлуатації та забезпечують надійну роботу електроустановки.

Струм термічної стійкості:

$$I_t = I_\infty \cdot \sqrt{\frac{t_\phi}{t}} = 5,22 \cdot \sqrt{\frac{0,17}{1}} = 2,15 \text{ кА}, \quad (3.21)$$

де $t = 1$ с - умовний час протікання струму короткого замикання.

Струм уставки максимального струмового захисту (МТЗ) комірки:

$$I_{уст} = 1,2 \cdot I_{роб} = 1,2 \cdot 630 = 756 \text{ А}.$$

У реальних реле МТЗ уставку зазвичай округлюють до стандартного значення шкали, тому можливі варіанти: 750 А (найближче типове) або 800 А (з невеликим запасом).

Чутливість МТЗ перевіряється за умовою забезпечення надійного спрацювання при мінімальному струмі короткого замикання у зоні дії захисту:

$$K_q = \frac{I_{K3}}{I_{уст}} \geq 1,5 \quad (3.23)$$

$$K_q = \frac{0,87 \cdot 5800}{756} = 6,7 > 1,5$$

Отже, прийнята комірка повністю задовольняє всі розрахункові та технічні вимоги.

Склад РУ-6 кВ центральної підземної підстанції, виконаний на базі високовольтних комірок типу КРУРН-6, представлено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Встановлення комплектних розподільних пристроїв КРУРН – 6

Призначення КРУРН - 6	Розрахунковий струм, А	Номінальний струм, А
Ввідна	408	630
Секційна	204	320
Білястовбурний двір. гор. 1265 м	162	200
ШСУ гор. 1265 м	37	50
Трансформатор ТСШВП-406/6	39,4	50
Резерв		50

Для вводу №1 приймаємо автоматичний вимикач типу ВА88-40 з номінальним струмом $I_{ном} = 630$ А.

Також встановлюється плавкий запобіжник типу ПП39-630, розрахований на номінальний струм 630 А.

Висновки до розділу 3

У результаті виконаних розрахунків сформовано технічно обґрунтовану систему електропостачання шахти Покровська, що забезпечує надійне та безпечне живлення електроприймачів у нормальних і аварійних режимах.

Обрані силові трансформатори, комутаційна та захисна апаратура відповідають розрахунковим навантаженням і умовам короткочасних режимів роботи. Проведені розрахунки струмів короткого замикання дозволили коректно підібрати обладнання за умовами термічної та електродинамічної стійкості.

ВИСНОВКИ

1. Розглянуто конструктивні та технічні особливості конвеєрних установок, конусних дробарок і грохотів, що входять до складу технологічної лінії фабрики.

2. Виконано вибір електродвигунів для привода конвеєра №1 та дробарки ККД-500/75. Для конвеєра обрано асинхронний двигун АІС200LА6 потужністю 18,5 кВт, а для дробарки - двигун АІР315S6 (клас енергоефективності ІЕ3) з фазним ротором замість застарілих двигунів серії ГАМ.

3. Обґрунтовано застосування системи електропривода ТРН–АД для конвеєра №1, вибрано пристрій плавного пуску Schneider Electric Altistart ATS22D22 потужністю 22 кВт.

4. За допомогою програм MATLAB досліджено механічні, енергетичні та динамічні характеристики електроприводів, а також побудовано графіки перехідних процесів.

5. У результаті моделювання встановлено, що використання Schneider Electric Altistart ATS22D22, регуляторів струму та швидкості дозволяє зменшити кратність пускового струму з 6 до 3, що забезпечує покращення пускових режимів та підвищення надійності роботи електрообладнання.

6. Проведено розрахунок реостатного пуску двигуна дробарки ККД-500/75 із застосуванням блоків резисторів ЯС4 УЗ.

7. Виконано розрахунок системи електропостачання шахти Покровська, обрано силові трансформатори, комутаційну та захисну апаратуру відповідно до умов експлуатації та розрахункових навантажень.

8. Проведено розрахунок струмів короткого замикання та перевірку електрообладнання за умовами термічної й електродинамічної стійкості.

9. Розроблені технічні рішення спрямовані на підвищення енергоефективності, надійності та довговічності роботи технологічного обладнання. Для конвеєра запропоновано впровадження пристрою плавного пуску, що забезпечує зменшення пускових струмів, динамічних навантажень

на електропривод і механічні вузли. Для конусних дробарок передбачено подальшу модернізацію електропривода, яка полягає у заміні застарілого двигуна на сучасний енергоефективний електродвигун класу ІЕ3 та впровадженні системи контролю й моніторингу технічного стану, що дозволяє підвищити надійність роботи обладнання, знизити експлуатаційні витрати та скоротити кількість аварійних зупинок.