РЕФЕРАТ

У першому розділі розглянуто основні види обладнання, що використовується на гірничорудних підприємствах: верстат СБШ-250, екскаватор ЕКГ-12,5, дробарки, млини тощо. Надані характеристики електричної лебідки JM-5, розрахована потужність і вибраний приводний двигун YE2-160L-4 потужністю 11 кВт.

У другому розділі розглянуто роботу електричної лебідки JM-5 і перетворювача частоти ПЧВ204-15К-В: знайдені параметри двигуна YE2-160L-4, побудовані характеристики ПЧ-АД. За допомогою Matlab/Simulink досліджено перехідні процеси.

У третьому розділі оцінена величина навантаження дільниці гірничорудного підприємства та вибрані перетворювальні трансформатори: ТРДНС-25000/35/6,5 і ТМ-400. Визначені струми короткого замикання на ступенях напруг 6,0 кВ і 0,4 кВ, які необхідні при виборі шинних конструкцій, високовольтних вимикачів і кабелів.

ГІРНИЧОРУДНЕ ПІДПРИЄМСТВО, ЛЕБІДКА, ЕЛЕКТРОПРИВОД, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, СТАТИКА, ДИНАМІКА, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

ВСТУП

На промислових підприємствах Криворізького залізорудного басейну, які успішно працюють на виконання виробничих процесів та поповнення валютного резерву України використовується широкий вибір електромеханічного обладнання. Є підприємства, які не приймають участь у

виконанні основних процесів щодо видобутку та переробки корисних копалин, але які виконують важливу роль у підготовці, виробленню та ремонту устаткування для підприємств гірничорудної промисловості.

У якості прикладу такого підприємства можна навести ЗАТ Криворізький центральний рудоремонтний завод, який випускає запасні частини і змінні деталі до гірничозбагачувальних машин та металургійного обладнання. Це і гірничодобувні машини (бурові верстати СБШ-250, екскаватори ЕКГ), і гірничозбагачувальні машини (різні типи дробарок – конусні, щокові, молоткові тощо), млини (кульові, стрижневі, самоподрібнення), і машини безперервної дії (стрічкові і пластинчаті конвеєри), і насосні агрегати, і металургійне обладнання (агломераційні машини, машини для розливання феросплавів).

У роботі досліджено роботу електричної лебідки ЛМ-5. Розглянуто впровадження система керування - ПЧ-АД, яка забезпечує кращі характеристики при пуску та зупинці ЛМ-5. Впровадження в електропривод електричної лебідки ПЧ-АД сприятиме зменшенню втрат електричної енергії промислового підприємства та якісного й повного виконання технологічних процесів гірничорудного виробництва.

Виходячи з сучасних тенденцій розвитку електроприводів за системою керування ПЧ-АД є обґрунтованим і доречним.

РОЗДІЛ 1

1.1 Основні види обладнання, що використовується на гірничорудних підприємствах

Продукція гірничорудних підприємств користується попитом і в Україні, і за кордоном. Наприклад залізна руда та вироби з неї експортується

в такі країни, як Казахстан, Вірменія, Болгарія, Чехія тощо.

Підприємства освоюють випуск нових видів основного та допоміжного обладнання:

- різні види марганцевистих броней дробарок, які виробяються закордонними компаніями Krupp Fordertechnik, Svedala, Nordberg, PSP Engineering;

- дробарки (наприклад КМДТ (КСД) -2200, "Barmak");

- кульові млини для помелу кварциту (наприклад МШК 2х4,5);

- установки безперервного розливання феросплавів;

- охолоджувачі агломерату ОП-315;

- машина для лиття тіл для кульових млинів тощо.

Наприклад, ЗАТ КЗГО виготовляють запасні деталі й частини для гірничих машин і обладнання.

1) Гірничодобувне обладнання:

- бурові верстати;

- кар'єрні екскаватори всіх типів (одноковшеві з дизельним двигуном, гусеничні, крокуючі, роторні);

- грейфери;

2) Гірничозбагачувальні машини:

- дробарки (щокові, молоткові, відцентрові);

- млини (кульові, стрижневі, самоподрібнення);

- інерційні грохоти;

- змішувачі барабанні;

- обпалювальні машини;

3) Транспортуючі машини:

- стрічкові і пластинчаті конвеєри і живильники;

- відцентрові насоси для гідротранспорту шламів;

4) Металургійне обладнання:

- агломераційні машини;

- лінійні і кільцеві охолоджувачі;

- дутьові машини;

- машини для розливання феросплавів.

1.2 Технічні характеристики обладнання

1.2.1 Буровий верстат СБШ-250

Бурова верстат СБШ-250 призначений для буріння вертикальних і похилих вибухових свердловин при видобутку корисних копалин відкритим способом (рис. 1.1).

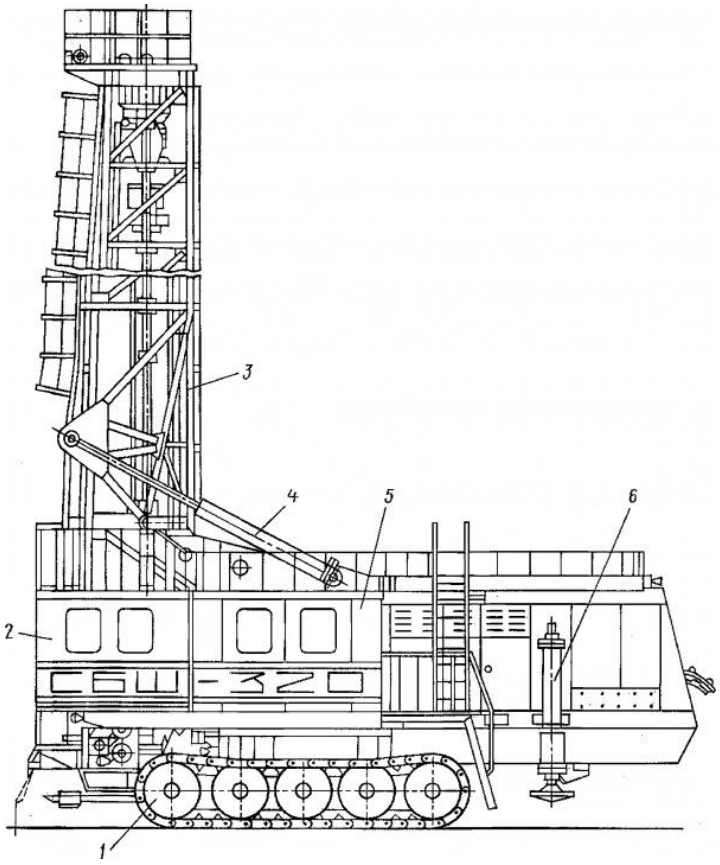

Рисунок 1.1 – Верстат СБШ-250: 1 - ходова частина; 2 - кабіна; 3 - щогла; 4 - гідроциліндр; 5 - машинне відділення; 6 - домкрат

Верстат буровий шарошечний СБШ-250 призначений для буріння шарошечними долотами вертикальних і похилих (30^0 – 15^0 до вертикалі) свердловин у породах із коефіцієнтом міцності за шкалою професора Протод'яконова М.М. f = 8-18 [4]. Усі механізми верстата СБШ-250 мають електричний привід, а загальна встановлена потужність усіх привідних електродвигунів складає 386 кВт. Також на верстаті встановлена

компресорна установка ВВ-32/8М1У2В.

Його технічні характеристика наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика верстата СБШ-250

Параметри верстата	Одиниці вимірювання	Величина
Діаметр свердловин	мм	243 та 269
Глибина свердловин	м	32
Направлення	град	30;15;0
Хід подачі бурового інструмента	м	8
Вісьове зусилля на забій	кН	0÷300
Максимальна швидкість подачі інструмента	м/с	0,017
Швидкість підйому інструмента	м/с	0,12
Частота обертання інструмента	об/с	0,5÷2,5
Обертовий момент на буровому інструменті	кН/м	4,2
Витрата стислого повітря	$м^3/с$	0,41
Швидкість руху стану	км/г	0,737
Встановлена потужність двигунів	кВт	398
Маса верстата	т	65

Керування електроприводами СБШ-250 здійснюється в наступних напрямках:

- керування двигунами гусеничного ходу;
- керування двигуном обертача;

- керування двигунами компресорів;
- керування двигунами допоміжних операцій;
- керування гідроприводом.

1.2.2 Екскаватор ЕКГ-12.5

Екскаватор ЕКГ-12.5 використовується на кар’єрах при відкритому способі видобутку залізної руди для відвантаження руди і пустої породи на автомобільний і залізничний транспорт та формування багатоярусних відвалів пустої породи. Загальний вид ЕКГ показаний на рис. 1.2.

Рисунок 1.2 – Загальний вид ЕКГ

Технічні характеристики екскаваторів ЕКГ наведені у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики екскаваторів ЕКГ різних типів

Характеристики	Типи екскаваторів			
	ЕКГ-8	ЕКГ-10	ЕКГ-12,5	ЕКГ-6.3У
Об'єм ківша, $м^3$	8	10	12,5	6,3
Максимальна висота черпання, м	13,5	13,5	15,6	30
Максимальна висота вивантаження, м	6,1	8,6	10	25
Радіус черпання на рівні стояння, м	12,6	12,6	14,3	29
Максимальний радіус черпання, м	18,4	18,4	22,5	35,05
Максимальний радіус вивантаження, м	16,3	16,3	18,5	32
Питомий усереднений тиск на ґрунт при переміщенні, кПа	210	216	200	200
Питомий усереднений тиск на ґрунт при переміщенні, $кгс/см^2$	2,08	2,1	2	2
Хід рукояті, м	4,3	4,55	4,8	8,74
Просвіт під поворотною платформою, м	2,7	2,7	3,3	3,3
Час одного циклу (кут повороту 90°),	26	26	32	35
Напруга живлення мережі, кВ	3; 6	6	6	6
Мережевий двигун, потужність в кВт	520	800	1250	1250
Повна маса, т	325	395	677	652

Щодо електроприводів екскаватора ЕКГ-12.5, то вони включають (табл. 1.3):

- привід підйому з приводним двигуном МПЕ-350 потужністю 500 кВт;
- привід повороту з приводними двигунами 2х ДВ-812 потужністю 200 кВт;
- привід напору з приводним двигуном МПЕ-200 потужністю 300 кВт;
- привід ходу з приводним двигуном МПЕ-90 потужністю 120 кВт.

Таблиця 1.3 – Приводи ЕКГ-12.5

Приводний двигун	Генератор приводу підйому	Генератор приводу повороту	Генератор приводу напору
СДЭМ-15-39-6 1250 кВт 6000 В 141 А 1000 об/хв cos = 0,85	4ГПЭ1000-3/1 1000 кВт 900 В 1110 А 1000 об/хв.	4ГПЭ600-2/2 600 кВт 750 В 800 А 1000 об/хв.	4ГПЭ300-4/1 300 кВт 630 В 477 А 1000 об/хв.

1.2.3 Дробарки

Для дроблення залізної руди та інших матеріалів (нерудних корисних копалин) використовуються дробарки крупного (ККД-1500/160), середнього (КСД-2200) і мілкого дроблення (КМД-2200) та редукційного типу з різними технологічними характеристиками, які показані в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Технологічні характеристики дробарок

Характеристики	ККД-1500/250/160	КСД-2200	КМДТ-2200
Продуктивність	3000 т/год.	800-1000 т/год.	350 т/год.
Ширина розвантажувальної щілини	160, 180, 200 мм	30-60 мм	5-8 мм
Швидкість обертання конуса	100 об/хв.	242 об/хв.	242 об/хв.
Приводний двигун	два двигуни А4-400 потужністю 400 кВт	АЗД потужністю 250 кВт	АЗД потужністю 250 кВт

Більш докладні характеристики дробарки ККД 1500/180 наведені в табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Технічна характеристика дробарки ККД 1500/180

Найменування	Параметри
Напруга живлення	6 кВ;
Потужність приводного двигуна	320 кВт
Продуктивність	1150 м^3/год
Число хитань рухливого конуса в хвилину	80 об/хв
Вага рухливого конуса	80т
Габаритні розміри:	
Висота	7645 мм
Ширина	5335 мм
Діаметр підстави конуса	2500 мм
Ширина завантажувального отвору	1500 мм
Ширина розвантажувальної щілини:	
Найменша	160 мм
Номінальна	180 мм
Найбільша	200 мм
Число хитань конуса в хвилину	80 об/хв
Частота обертання валу двигуна	590 об/хв
Діаметр ведучого шківа	630 мм
Діаметр відомого шківа	1600

1.2.4 Млини

При виконанні процесів дроблення та подрібнення на гірничорудних підприємствах використовуються млинові тракти. В кульових млинах типу Ш-50А процес подрібнення поєднується з сушінням матеріалу.

Наведені технічні характеристики млина Ш-50А та привідні двигуни: синхронний двигун СДМЗ-2-22-34-60 УХЛ4 та асинхронний, який використовується в процесі розгону СД (табл. 1.6).

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики млина Ш-50А

Найменування параметрів	Одиниця вимірювання	Значення
Габаритні розміри: - довжина - ширина - висота	мм	 13430 5300 4700
Продуктивність	т/год.	50
Діаметр барабана внутрішній (без футеровки)	мм	3830
Довжина барабана внутрішня (без футеровки)	мм	8500
Частота оборотів барабана	об/хв.	17,6
Маса млина (без електрообладнання та куль)	т	168
Маса млина	т	344
Гранична маса завантажувальних куль	т	108
Електродвигун головного привода: - тип - потужність - частота обертання	 кВт об/хв.	 СДМЗ-2-22-36-60 1600 100
Допоміжний електродвигун: - тип - потужність - частота обертання	 кВт об/хв.	 АОЛ2-92-8 100 750

1.3 Технічні характеристики електричної лебідки ЛМ-5

Електрична лебідка ЛМ-5 широко використовується на різних промислових підприємствах, де виконує підйом і переміщення вантажів в різних видах робіт.

Лебідки серії ЛМ-5 відрізняються роздільним розташуванням барабана і двигуна (редуктор виконаний у вигляді окремого блоку), що значно спрощує її обслуговування і ремонт. Примітка: Лебідка серії ЛМ-5 має: вантажний

трос, панель управління, електричний кабель панелі управління, поліпастовий блок, мотузкові затискачі, вантажний гак.

Електрична лебідка JM-5 оснащена спеціальним гідравлічним гальмом, що дозволяє фіксувати навантаження в піднятому стані.

Привідний двигун підключається до електричної мережі напругою 380 В.

Загальний вид електричної лебідки JM-5показаний на рис. 1.3 [4].

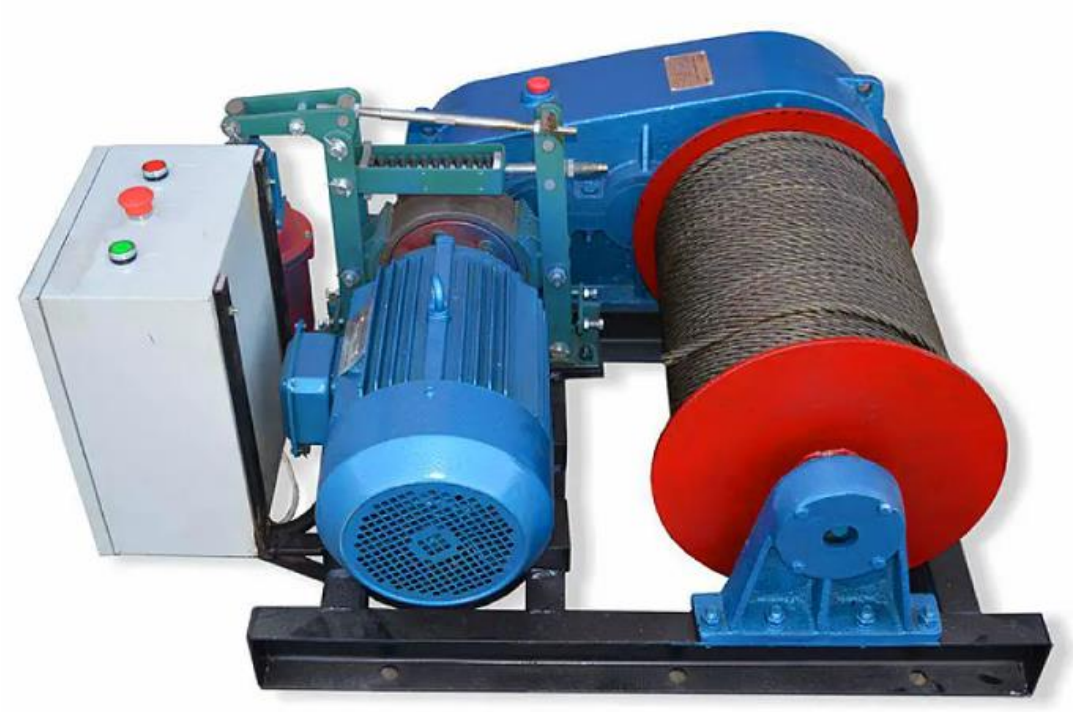

Рисунок 1.3 – Електрична лебідка JM-5

Характеристики електричної лебідки JM-5 зведені до табл. 1.7 [4].

Таблиця 1.7 – Характеристики електричної лебідки JM-5

Паспортні параметри	Одиниці вимірювання	Величина
Вантажопідйомність	т	5,0
Ємність канатного барабану	м	250
Діаметр тросу NAT6*3 7S-FC	мм	11,0
Максимальне тягове зусилля	кг	10000
Розрахункова швидкість	м/с	0,26
Потужність електродвигуна YE2-160L-4	кВт	11,0

Напруга мережі живлення	В	380
Гальмо	TGK - 200 гальмівна колодка на валу редуктора	
Ступінь захисту лебідки/двигуна	IP24/IP44	
Режим роботи	легкий	
Вага лебідки без тросу/з тросом (кг)	кг	800/1140

Кінематична схема електричної лебідки ЛМ-5 наведенаа на рис. 1.4, де1 – редуктор, 2 – ланцюгова передача, 3, 9 – циліндрична передача, 4 – барабан, 5 – ходовий гвинт, 6 – каретка тросоукладальника, 7 – направляючі троси, 8 – стрічкове гальмо, 10 – кулачкова муфта, 11 – електродвигун, 12 – муфта, 13 – стрічкове гальмо.

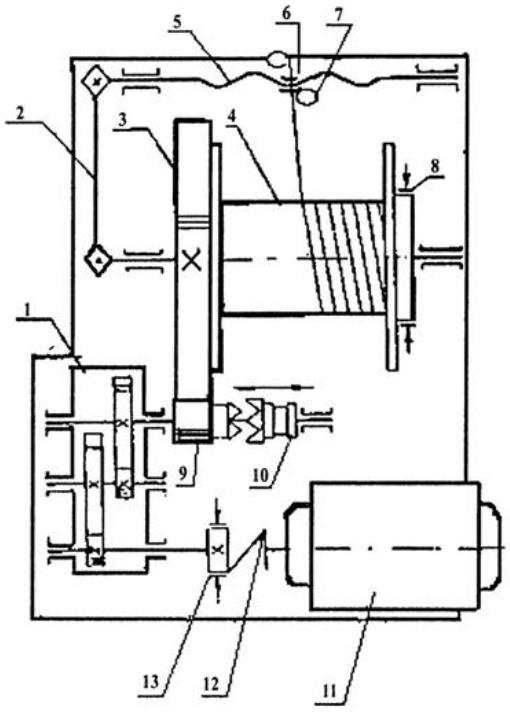

Рисунок 1.4 – Кінематична схема електричної лебідки ЛМ-5

1.4 Вибір двигуна електричної лебідки ЛМ-5

Потужність привода електричної лебідки [4, 5]:

$$P_{леб} = \frac{k_з \cdot \left(Q_{ван} + Q_{пр.}\right) \cdot v_{під}}{1000 \cdot \eta_п} = \frac{1{,}0 \cdot \left(5000 \cdot 9{,}81 + 0{,}1 \cdot 5000 \cdot 9{,}81\right) \cdot 0{,}26}{1000 \cdot 0{,}9} = 11{,}0 \text{ кВт, (1.1)}$$

де $Q_{ван} = 5000 \cdot g$ Н – маса вантажа;

$Q_{пр.} = 0{,}1 \cdot Q_{ван}$ Н – маса крюка;

$v_{під} = 0{,}26$ м/с – швидкість підйому;

$k_з = 1{,}0$ – коефіцієнт запасу;

$\eta_п = 0{,}9$ – ККД передачі одноступінчастого редуктора.

За розрахунковими значеннями потужності обираємо двигун виробництва Китаю YE2-160L-4 з параметрами, що вказані у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Паспортні параметри YE2-160L-4

Паспортні параметри	Одиниці вимірювання	Величина
Типорозмір	160L	
Потужність	кВт	11,0
Число полюсів	–	4
Частота мережі	Гц	50,0
Синхронна частота обертання	об/хв	1500
Коефіцієнт потужності		0,85
Номінальна напруга	В	220/380
Номінальний струм	А	40,2/23,3
Відношення струмів $I_п/I_н$	–	7,0
Відношення моментів $M_п/M_н$	–	2,2
Відношення моментів $M_{макс}/M_н$	–	2,3
Режим роботи	–	S1
Ступінь захисту двигуна	–	IP54
Клас ізоляції		B, F
Інерційний момент	кг/м^2	0,07528
ККД	%	89,8

Зовнішній вид двигуна YE2-160L-4 показаний на рис. 1.7.

Рисунок 1.7 – Зовнішній вид двигуна YE2-160L-4

1.5 Розгляд системи електропривода електричної лебідки JM-5

Розглянемо можливість оснастити електричну лебідку JM-5 перетворювачем частоти (ПЧ). Це позитивно вплинить на пуск лебідки, забезпечуючи її плавність розгону і точність зупинки.

Встановлення ПЧ забезпечить:

– плавний пуск (можливість виключення ривків при пуску двигуна лебідки);

– управління розгоном АД;

– регулювання швидкістю АД;

– широкий діапазон регулювання швидкості в заданому діапазоні зміни моменту навантаження на валу;

– кероване уповільнення АД;

– захист асинхронного двигуна завдяки вбудованим функціям ПЧ.

В сучасних ПЧ забезпечують:

- тепловий захист АД на базі мікропроцесора, який визначає збільшення температури і надає сигнал до відключення АД;

- захисти від міжфазного короткого замикання (замикання фази на землю);

- кидків й просадки напруги;

- дисбалансу фаз;

- роботи від одної фази.

Відома схема включення АД з ПЧ до електричної мережі 220/380 В показано на рис. 1.8.

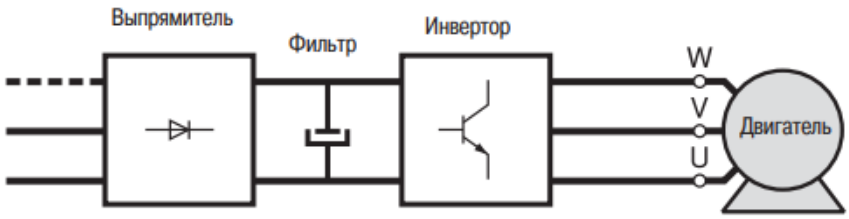

Рисунок 1.8 – Схема включення ПЧ-АД

Висновки до розділу 1

Докладно розглянуто основні види обладнання, що використовується на гірничорудних підприємствах.

Розглянуто технічні характеристики верстату СБШ-250, ЕКГ-12,5, дробарки, млини тощо.

Надані основні технічні характеристики електричної лебідки JM-5, розрахована потужність і вибраний приводний двигун YE2-160L-4 потужністю 11 кВт.

Обґрунтовано і вибрано систему керування електричною лебідкою JM-5 – ПЧ-АД.

2.1 Розрахунок параметрів двигуна YE2-160L-4

Двигун типу YE2-160L-4 виготовлено у Китаї і він поставляється у комплекті до електричної лебідки JM-5.

Розрахуємо його параметри та усі розрахунки наведемо у вигляді таблиці для зручного сприйняття розрахунків (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Розрахункові параметри двигуна YE2-160L-4

Назва параметрів	Математичний вираз	Одиниця вимірювання	Значення параметру
Кількість числа пар полюсів	$p = \frac{60 f_H}{n_0} = \frac{60 \cdot 50}{1500}$	-	2,0
Синхронна частота	$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{\pi \cdot 1500}{30}$	рад/с	157,1
Номінальна частота обертання ротора	$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} = \frac{\pi \cdot 1455}{30}$	рад/с	152,4
Номінальне ковзання	$S_H = \frac{\omega_0 - \omega_H}{\omega_0} = \frac{157,1 - 152,4}{157,1}$	-	0,02992
Критичне ковзання	$S_K = S_H \cdot \left(\lambda_M + \sqrt{\lambda_M{}^2 - 1}\right)$	-	0,1496
Номінальний струм	$I_H = \frac{P_{1\text{H}}}{\sqrt{3} U_{1H} \cdot \eta_H \cdot \cos\varphi_H} = \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,898 \cdot 0,85}$	А	23,31
Номінальний момент	$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{11000}{152,4}$	Нм	72,18
Пусковий момент	$M_П = \lambda_П \cdot M_H = 2,2 \cdot 72,18$	Нм	166,0
Критичний момент	$M_K = \lambda_M \cdot M_H = 2,3 \cdot 72,18$	Нм	187,7
Повний опір двигуна	$Z_{K3} = \frac{U_{1H}}{\sqrt{3} \cdot I_H \cdot k_i} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 23,31 \cdot 7}$	Ом	1,569
Приведений активний опір ротора	$r_2^{'} = \frac{M_П \cdot Z_{K3}^2}{\frac{m_C \cdot U_{1H}^2}{3 \cdot \omega_0}}$	Ом	0,4446
Пусковий коефіцієнт	$\cos\varphi_П = \cos\varphi_H \cdot \left[\lambda_П \cdot \frac{\eta_H}{(1 - S_H) \cdot k_i} + 0,33 \cdot \left[(1 - \eta_H) \cdot k_i\right]\right]$	-	0,4677

потужності			
Активний опір фазної обмотки статора	$r_1 = Z_{КЗ} \cdot cos\varphi_{П} - r_2^{'} = 1{,}569 \cdot 0{,}4677 - 0{,}4446$	Ом	0,2892
повний індуктивний опір	$X_{КЗ} = Z_{КЗ} \cdot \sqrt{1 - cos\varphi_H^2}$	Ом	0,9201
Повний активний опір	$R_{КЗ} = \sqrt{Z_{КЗ}^2 - X_{КЗ}^2}$	Ом	1,271
Приведений індуктивний опір ротора	$X_2^{'} = \frac{X_{КЗ}}{\left(1 + \frac{r_1}{r_2^{'}}\right)}$	Ом	0,5575
Індуктивний опір обмотки статора	$X_1 = X_{кз} - X_2{}'$	Ом	0,3626
Струм холостого ходу статора	$I_{XX} = I_H \cdot \left(\sqrt{1 - cos\varphi_H^2} - cos\varphi_H \cdot \frac{X_2^{'}}{r_1 + \frac{r_2^{'}}{S_H}} \right)$	А	12,97
Конструкційний коефіцієнт	$C_1 = \frac{I_{XX}}{2 \cdot I_H \cdot k_i} + 1 = \frac{12{,}97}{2 \cdot 23{,}31 \cdot 7} + 1$		1,046
Індуктивність статора і ротора	$L_1 = \frac{\frac{U_{1H}}{\sqrt{3}}}{2 \cdot p \cdot f_H \cdot I_H \cdot \left(\sqrt{1 - \cos\varphi_H{}^2} - \frac{\cos\varphi_H \cdot S_H}{S_K} \right)}$	Гн	0,1109
ЕРС	$e_{11} = \frac{U_{1H}}{\sqrt{3}} \cdot \cos\varphi_H - r_1 \cdot I_H$	В	171,0
	$e_{12} = \frac{U_{1H}}{\sqrt{3}} \cdot \cos\varphi_H - X_1 \cdot I_H$	В	169,3
	$X_m = \frac{\sqrt{e_{11}^2 + e_{12}^2}}{I_{XX}} = \frac{\sqrt{171{,}0^2 + 169{,}3^2}}{12{,}97}$	Ом	18,55
Взаємоіндукція двигуна	$L_m = \frac{X_m}{2\pi \cdot 50} = \frac{18{,}55}{2\pi \cdot 50}$	Гн	0,05905

Індуктивність розсіювання	$L_{\sigma S} = \frac{X_1}{2\pi \cdot 50} = \frac{0,3626}{2\pi \cdot 50}$	Гн	0,001154
	$L_{\sigma r} = \frac{X_2^{'}}{2\pi \cdot 50} = \frac{0,5575}{2\pi \cdot 50}$	Гн	0,001775

2.2 Умови щодо вибору перетворювача частоти

З регулюванням частоти змінюється також і напруга. Регулювання виконується за умови:

$$U_1 = var;\ f_1 = var. \tag{2.1}$$

Перетворювач частоти вибираємо з урахуванням:

$$I_{ВИХ.ПЧ} \geq I_{1Н\ АД}; \tag{2.2}$$

$$U_{ВИХ.ПЧ} \geq U_{1Н\ АД}. \tag{2.3}$$

Нам підходить векторний перетворювач частоти ПЧВ204-15К-В і його вид показаний на рис. 2.1. Він призначений для керування АД різного обладнання гірничо-металургійної промисловості.

а)

Рисунок 2.1 – Загальний вид ПЧВ204 різних модифікацій

Технічні характеристики ПЧВ204-15К-В в табл. 2.1 [10].

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики ПЧВ204-15К-В

Характеристики	Од. виміру	Значення
Потужність	кВт	15,0
Номінальний струм	А	27,0
Номінальна напруга	В	0–440
Максимальна частота	Гц	400
Кількість програмованих цифрових входів		5
Логіка		PNP або NPN
Максимальна відносна похибка імпульсного входу	%	± 0,1
Кількість аналогових входів		2
Спосіб керування	Синусоїдальна ШІМ (V/F) або векторна ШІМ	
Вихідна частота	Гц	0-400
Крок установки частоти	Гц	0,1
Несуча ШІМ	кГц	2-16
Компенсація обертового моменту	Автоматична	
Рівень захисту	50-200 % від $I_{ном}$	

Електрична схема ПЧВ на рис. 2.2 [10].

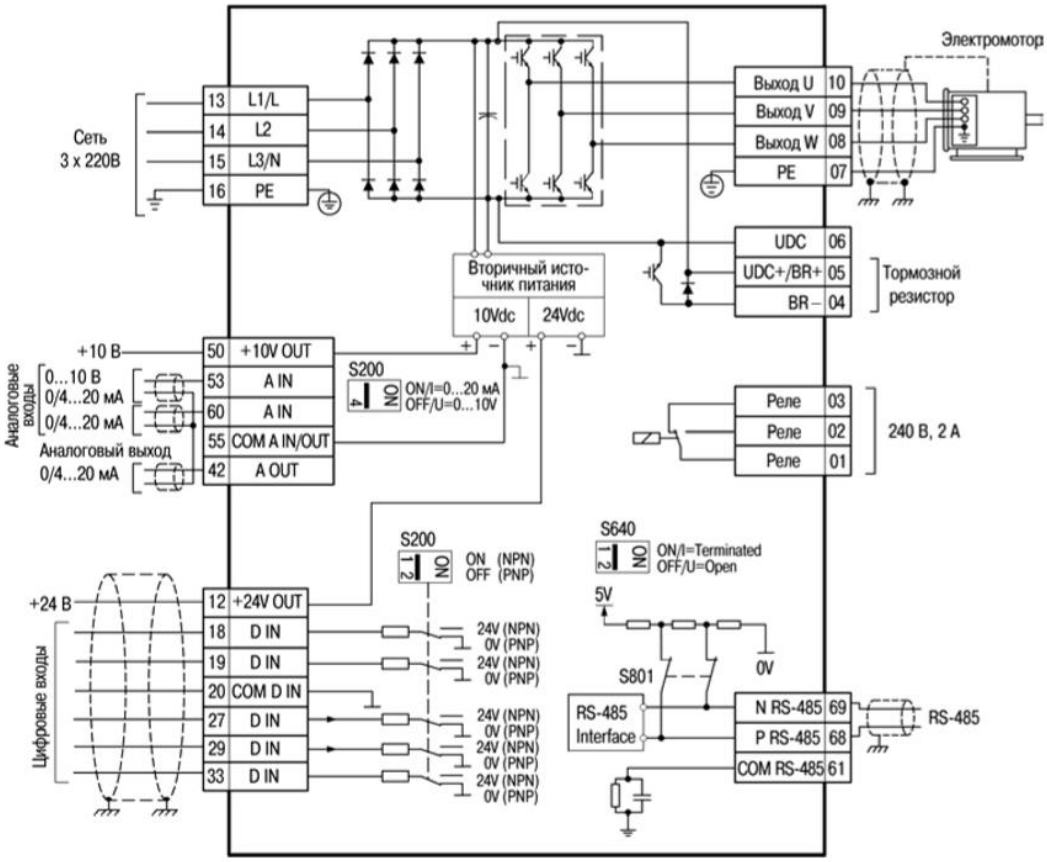

Рисунок 2.2 – Схема електрична ПЧВ204

2.3 Параметри системи ПЧ-АД електричної лебідки JM-5

Активний опір дроселя:

$$R_{др} = 0{,}1 \cdot R_{кз} = 0{,}1 \cdot 0{,}0504 = 0{,}00504 \text{ Ом.} \quad (2.4)$$

Індуктивність дроселя:

$$L_{др} = 0{,}1 \cdot \frac{X_{кз}}{2 \cdot \pi \cdot f_н} = 0{,}1 \cdot \frac{0{,}0244}{2 \cdot \pi \cdot 50} = 0{,}0000077 \text{ Гн.} \quad (2.5)$$

Підходить дросель РСТ-045 з параметрами:

- робоча частота - 47…63 Гц;
- номінальний струм – 45 А;
- режим роботи - S1.

Візьмемо схему заміщення рис. 2.3.

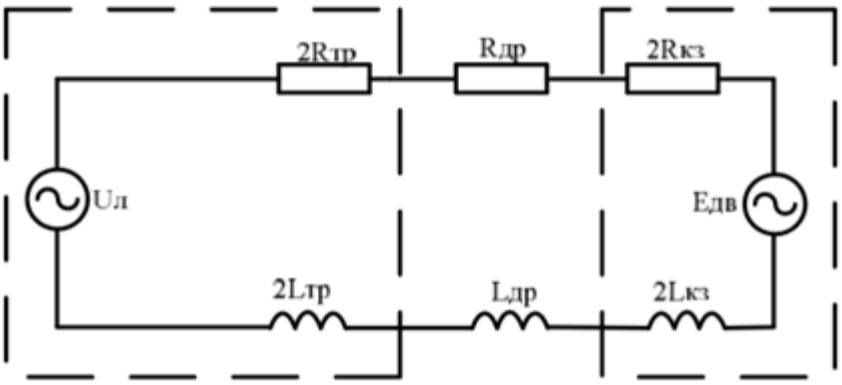

Рисунок 2.3 – Схема заміщення ПЧ-АД електричної лебідки JM-5

Розрахуємо відповідні параметри:

- еквівалентний опір схеми заміщення:

$$R_E = 2 \cdot R_{K3} + R_{ДР} + \frac{X_{K3}}{\pi} = 2 \cdot 1,271 + 0,1271 + \frac{0,9201}{\pi} = 2,962 \text{ Ом.} \qquad (2.6)$$

- еквівалентна індуктивність схеми заміщення:

$$L_E = \frac{2 \cdot X_{K3}}{2\pi \cdot f_H} + L_{ДР} = \frac{2 \cdot 0,9201}{2\pi \cdot 50} + 0,0002929 = 0,00615 \text{ Гн.} \qquad (2.7)$$

2.4 Статичні характеристики ПЧ-АД електричної лебідки JM-5

2.4.1 Механічні характеристики

Закон керування ПЧ:

$$\frac{U}{f} = \text{const} \qquad (2.7)$$

Змінюючи частоту напруги від 5 Гц і до 50 Гц з кроком у 5 Гц визначаємо синхронну частоту обертання:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f}{p}, \qquad (2.8)$$

f_0 = 5 Гц; ω_0=15,71 рад/с;

f_1 = 10 Гц; ω_0=31,42 рад/с;

f_2 = 15 Гц; ω_0=47,12 рад/с;

f_3 = 20 Гц; ω_0=62,83 рад/с;

f_4 = 25 Гц; ω_0=78,54 рад/с;

f_5 = 30 Гц; ω_0=94,25 рад/с;

f_6 = 35 Гц; ω_0=109,96 рад/с;

f_7 = 40 Гц; ω_0=125,66 рад/с;

f_8 = 45 Гц; ω_0=141,37 рад/с;

f_9 = 50 Гц; ω_0=157,08 рад/с;

Природня характеристика АД:

$$M(\omega, f, U) = \frac{m \cdot p \cdot K_e^2 \cdot U^2 \cdot R_2}{\sqrt{3} \cdot \pi \cdot f \cdot S(\omega, f) \cdot \left[\left(R_1 + \frac{c_1 \cdot R_2}{S(\omega, f)}\right)^2 + \left(2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 1} + c_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 2}\right)^2\right]} \quad (2.9)$$

і статичний момент навантаження електричної лебідки ЛМ-5 на рис. 2.4.

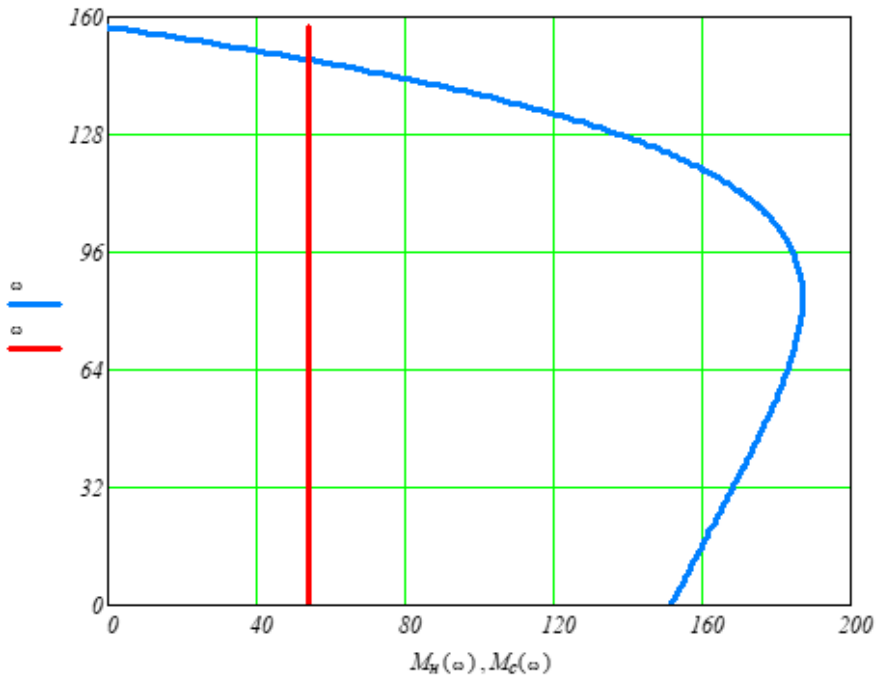

Рисунок 2.4 – Природна механічна характеристика АД і статичний момент

У Mathcad будуємо сімейство штучних характеристик, враховуючи, що зміна напруги буде відбуватися за пропорційним законом:

$$U = \left(\frac{f}{f_H}\right) \cdot U_{1\Phi}. \quad (2.10)$$

2.4.2 Швидкісні характеристики

Визначимо струми:

- струм намагнічування:

$$I_{\mu} = I_{1н} \cdot \left(sin\varphi_{н} - \frac{cos\varphi_{н}}{\lambda_{м} + \sqrt{\lambda_{м}^{2} - 1}} \right) \tag{2.11}$$

- струм ротора:

$$I_2(\omega, f, U) = \frac{U}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{S(\omega, f)} \right)^2 + \left(2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 1} + c_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 2} \right)^2}} \tag{2.12}$$

$$sin\varphi_2(\omega, f, U) = \frac{\left(2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 1} + c_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 2} \right)^2}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2}{S(\omega, f)} \right)^2 + \left(2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 1} + c_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_{\sigma 2} \right)^2}} \tag{2.13}$$

- струм статора:

$$I_1(\omega, f, U) = \sqrt{I_{\mu}^{2} + I_2(\omega, f, U)^2 + 2 \cdot I_{\mu} \cdot I_2(\omega, f, U) \cdot sin\varphi_2(\omega, f, U)} \tag{2.14}$$

2.4.3 Енергетичні характеристики

Визначимо:

- повну потужність:

$$S(\omega, f, U) = 3 \cdot U \cdot I_1(\omega, f, U) \text{ ВА} \tag{2.15}$$

- коефіцієнт потужності:

$$cos\varphi(\omega, f, U) = \frac{M(\omega, f, U) \cdot \omega}{S(\omega, f, U)} \tag{2.16}$$

- ККД:

$$\eta(\omega, f, U) = \frac{M(\omega, f, U)}{S(\omega, f, U) \cdot \cos\varphi(\omega, f, U)} \tag{2.17}$$

Усі розраховані характеристики покажемо на рис. 2.5.

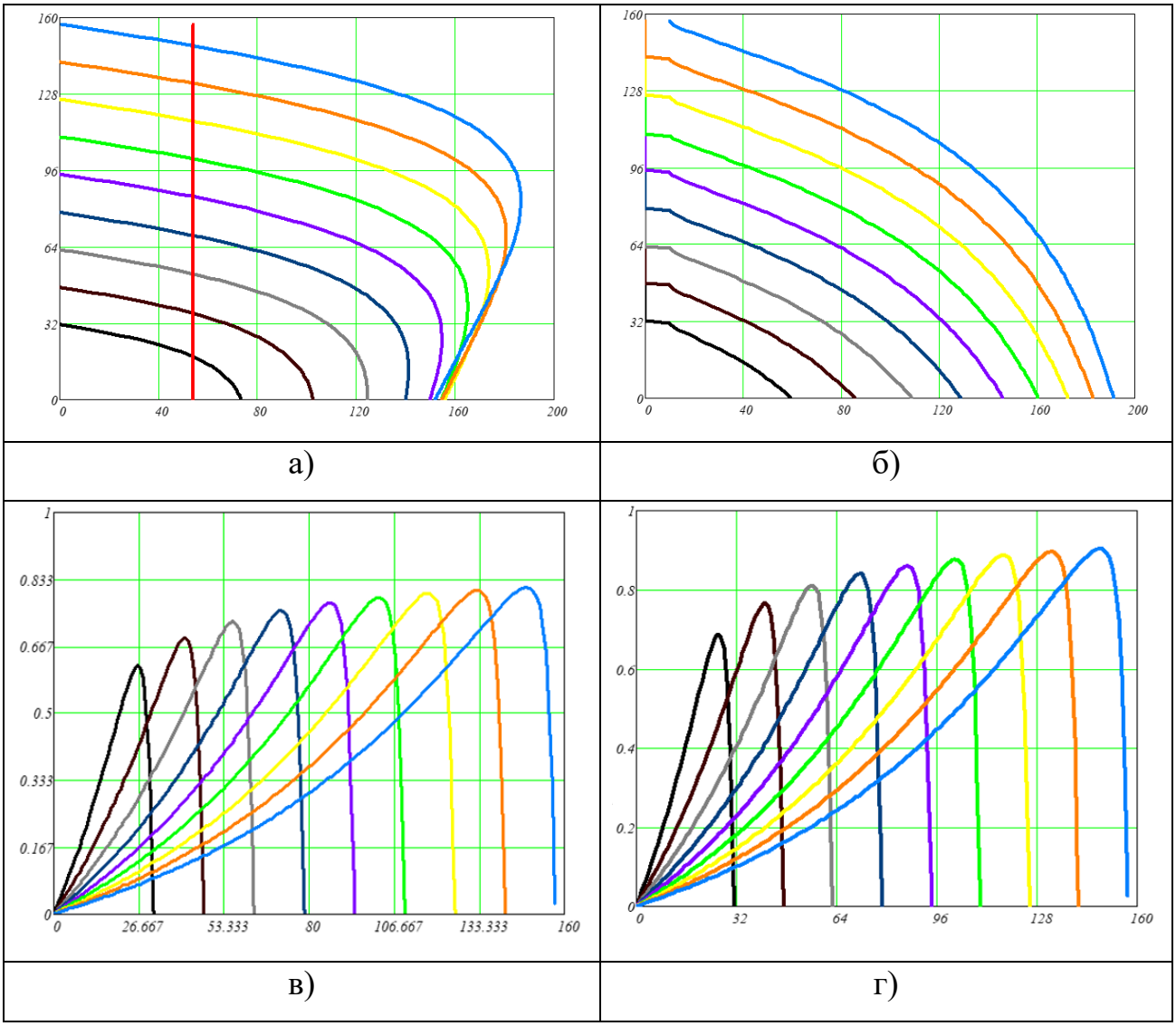

Рисунок 2.5 – Штучні характеристики ПЧ-АД: а) механічні; б) швидкісні, в) $cos\varphi = f(\omega)$; г) $\eta = f(\omega)$

2.5 Динамічні режими роботи системи ПЧ-АД електричної лебідки JM-5

Для проведення розрахунків перехідних процесів проведемо розрахунки необхідних параметрів (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Розрахункові параметри системи ПЧ-АД

Назва параметрів	Математичний вираз	Одиниця вимірювання	Значення параметру

Електромагнітна постійна часу	$T_E = \frac{L_E}{R_E} = \frac{0,00615}{2,962}$	с	0,002076
Коефіцієнт ротора	$k_2 = \frac{L_m}{L_{\sigma r}} = \frac{0,05905}{0,001775}$		33,27
Номінальне потокозчеплення	$\psi_{2H} = \frac{U_{1\Phi} - I_{1H} \cdot R_1}{\omega_0} = \frac{380 - 23,31 \cdot 0,2892}{157,1}$		2,376
Коефіцієнт ЕРС	$k\Phi = \frac{3\sqrt{2} \cdot U_{1H}}{\pi \cdot \omega_0} = \frac{3\sqrt{2} \cdot 380}{\pi \cdot 157,1}$		3,267
Електромеханічна постійна часу	$T_M = \frac{J \cdot R_E}{k\Phi^2} = \frac{0,3679 \cdot 2,962}{3,267^2}$	с	0,1021
Постійна часу ротора	$T_2 = \frac{L_2}{r_2^{'}} = \frac{0,06082}{0,4446}$	с	0,1368
Коефіцієнт підсилення ПЧ	$k_{ПЧ} = \frac{U_{1H}}{\sqrt{3} \cdot U_У} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 10}$		21,94
Напруга випрямляча	$U_{d0} = \frac{3 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot U_{1H} = \frac{3 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot 380$	В	513,2
Коефіцієнт передачі по керуванню	$K_d = \frac{1}{k\Phi} = \frac{1}{3,267}$	-	0,3061
Коефіцієнт регулятора струму	$K_{dC} = \frac{10}{2 \cdot I_H} = \frac{10}{2 \cdot 23,31}$		0,2145
Коефіцієнт регулятора швидкості	$K_{dШ} = \frac{10}{\omega_H} = \frac{10}{152,4}$		0,06562

Постійна часу зворотного зв'язку контуру швидкості	$T_{\mu Ш} = \frac{K_{dШ}}{U_y} = \frac{0{,}06562}{10}$	с	0,006562
Постійна часу контуру зворотного зв'язку по струму	$T_{\mu C} = \frac{K_{dc}}{U_y} = \frac{0{,}2145}{10}$	с	0,02145
Передаточна функція за струмом	$W_{PC}(S) = \frac{R_E \cdot (T_E \cdot S + 1)}{2 \cdot T_{\mu C} \cdot S \cdot K_{dC}} = \frac{321{,}8}{S} + 0{,}668$		
Передаточна функція за швидкістю	$W_{PШ}(S) = \frac{1{,}4 \cdot K_{dШ} \cdot J}{3 \cdot S \cdot T_{\mu Ш} \cdot K_{dШ} \cdot \frac{1}{R_E}} = \frac{184{,}43}{S} + 12{,}5$		

Складемо схеми і побудуємо графіки (рис. 2.6 - 2.11).

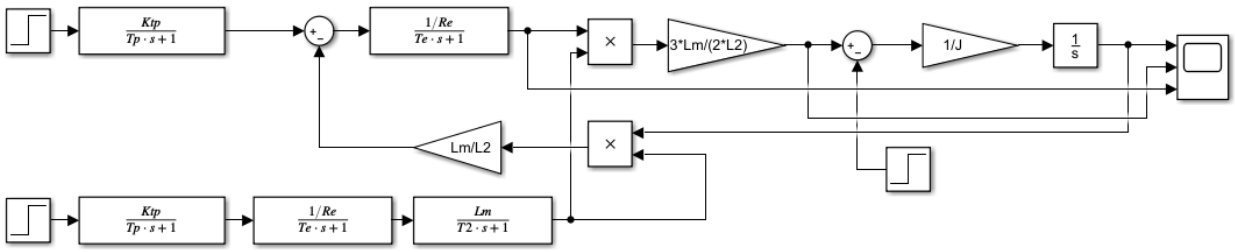

Рисунок 2.6 – Схема розімкненої системи

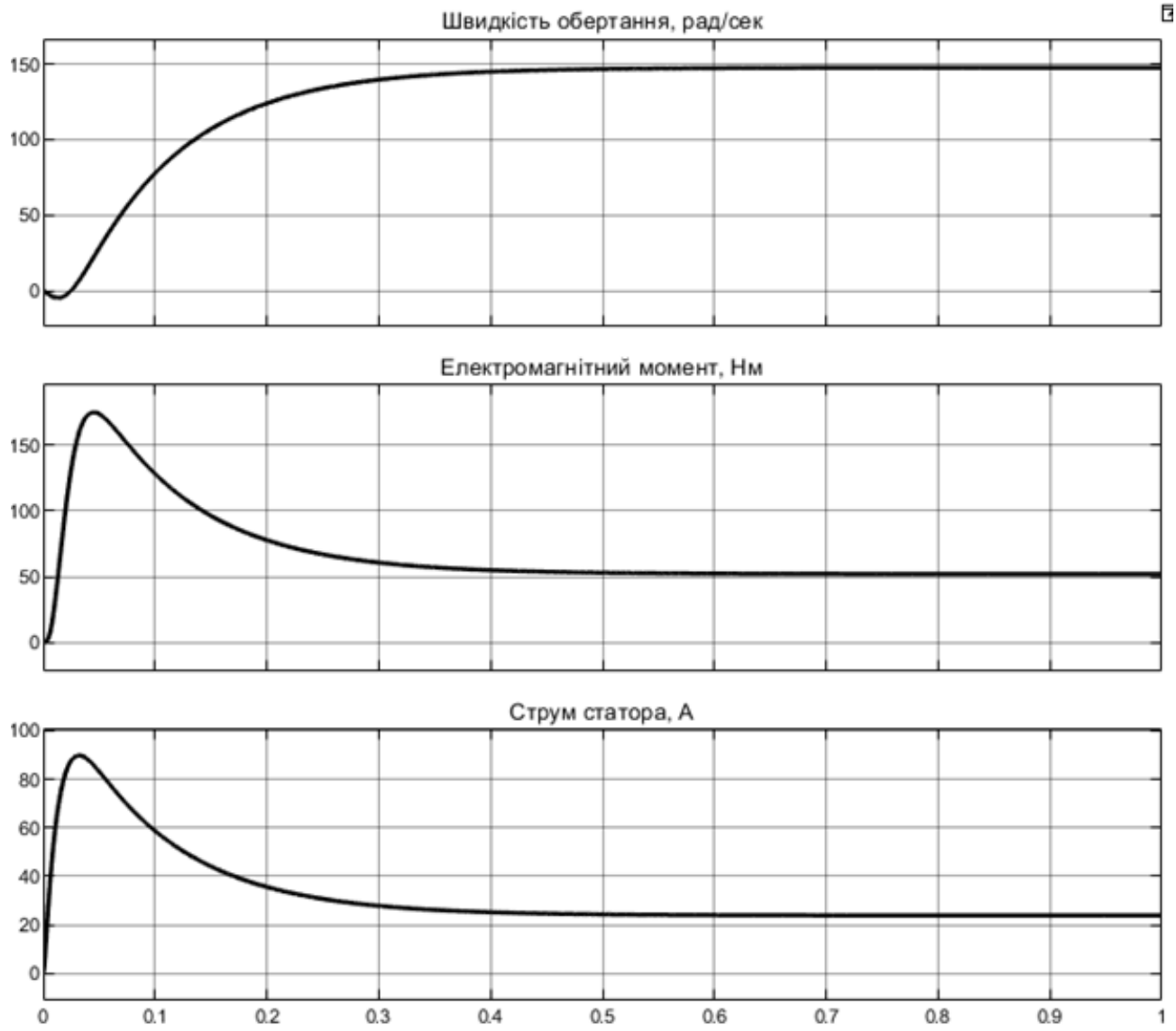

Рисунок 2.7 – Підйом вантажу

Початок підйому вантажу:

- спостерігається просадка за швидкістю;
- двигун не встигає розвинути необхідний момент для подолання моменту навантаження;
- на практиці це нівелюється затримкою відпускання електромагнітного гальма.

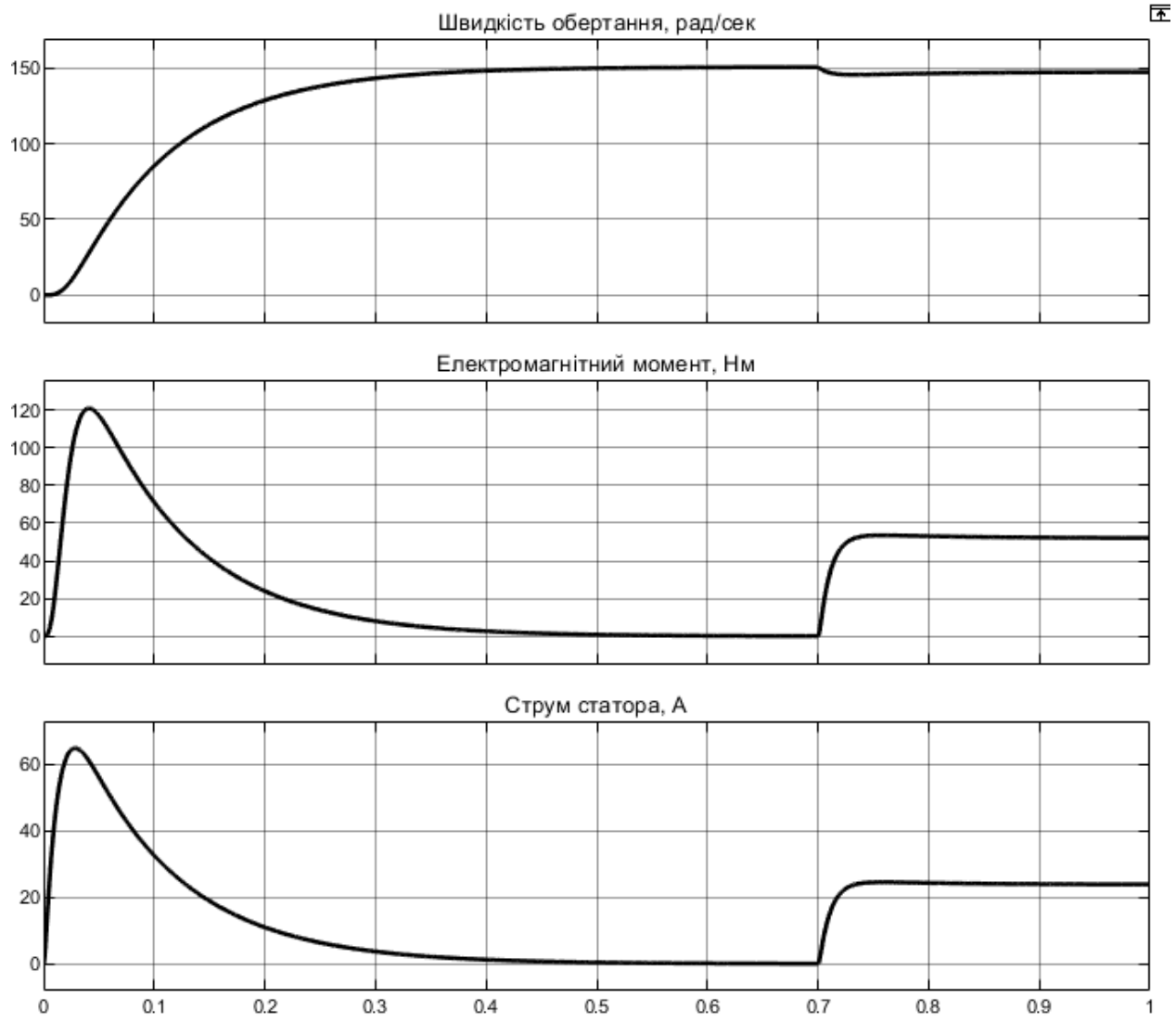

Рисунок 2.8 – Запуску без навантаження з подальшою подачею навантаження, що імітує вибірку провисання троса

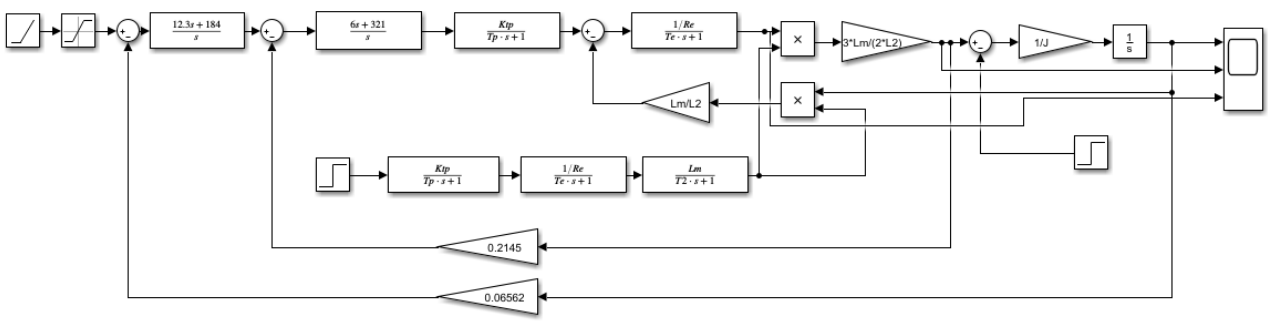

Рисунок 2.9 – Схема замкненої системи ЕП

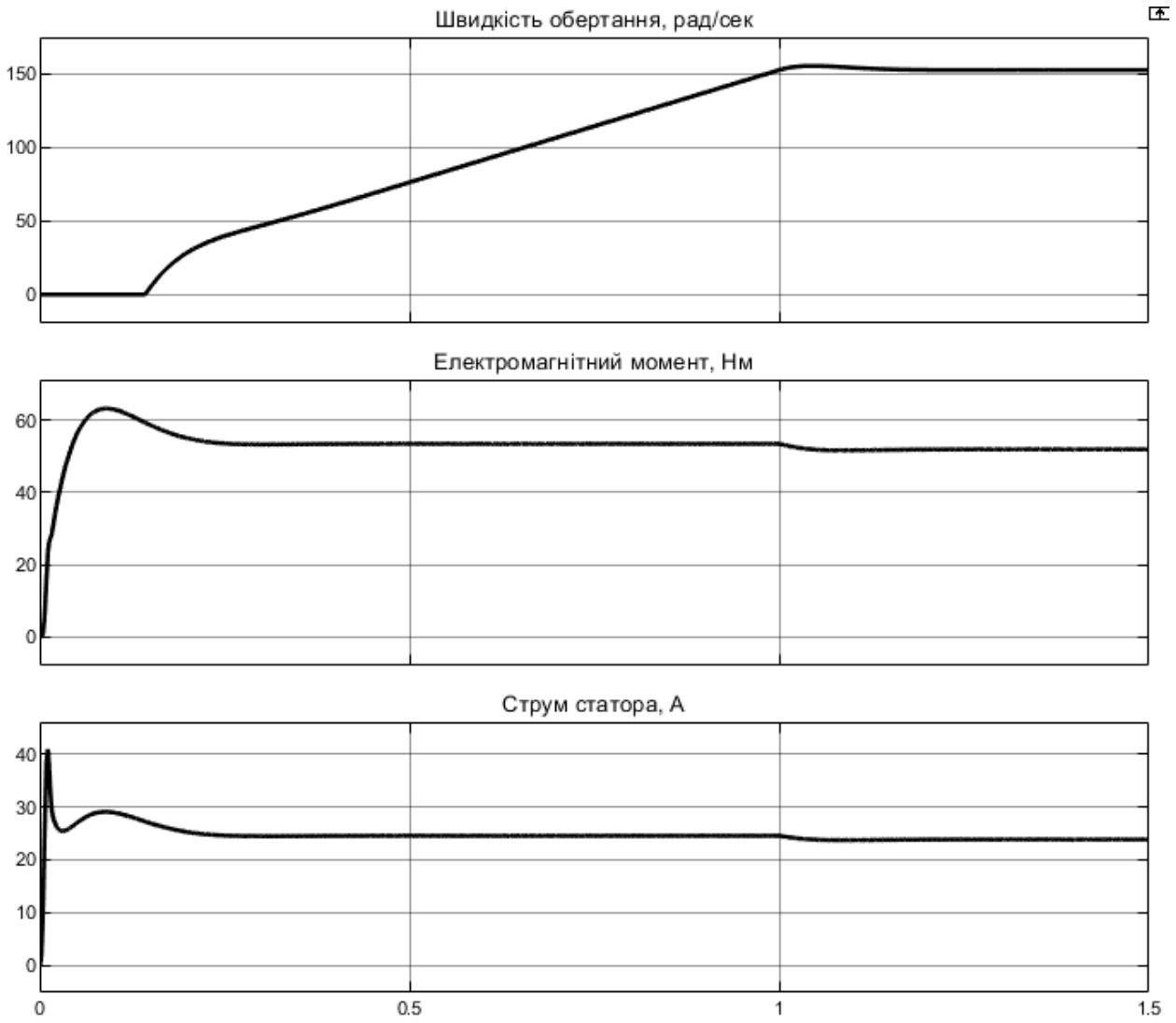

Рисунок 2.10 – Підйом вантажу з номінальним навантаженням

Результати моделювання:

- кратність струму - 1,5;
- час запуску 1,2 с.

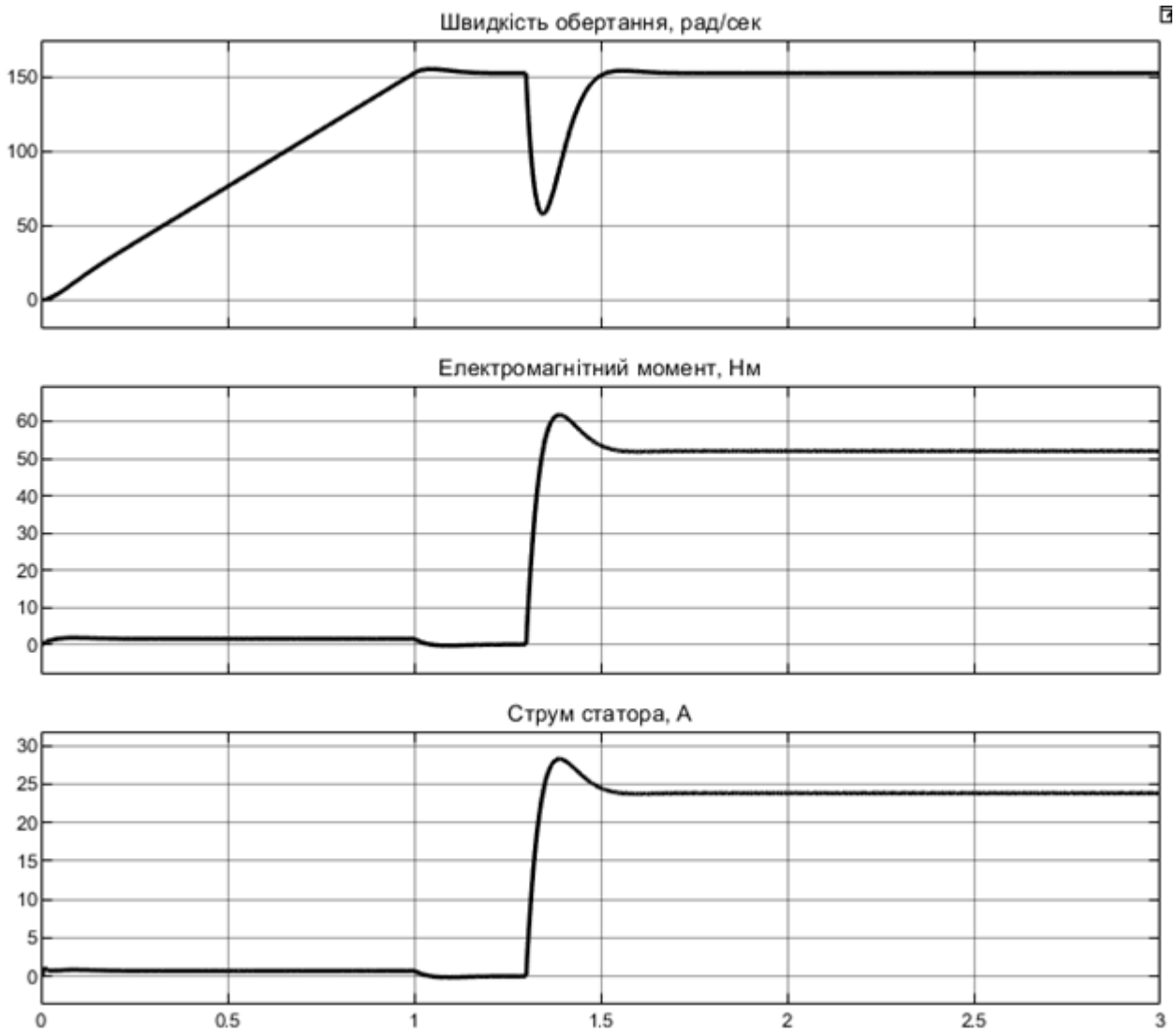

Рисунок 2.11 – Перехідні процеси запуска без навантаження з подальшою подачею номінальної ваги

Результати моделювання:

- становлення регуляторів дозволяє знизити кратність пускового струму.

Висновки до розділу 2

Розглянуто роботу електричної лебідки JM-5 і перетворювача частоти ПЧВ204-15К-В: знайдені параметри двигуна YE2-160L-4, побудовані різні характеристики ПЧ-АД.

За допомогою Matlab/Simulink досліджено перехідні процеси, які відбуваються при роботі електричної лебідки JM-5 за системою ПЧ-АД. Із проведеного порівняння встановлено, що регулятори зменшили пускові струми при різних режимах підйому вантажу.

3.1 Електропостачання гірничорудного підприємства та встановлення силових трансформаторів

Виконаємо встановлення нових трансформаторів (силових, вимірювальних), які виготовлені в Україні на ПРАТ Запоріжтрансформатор.

Трансформатори, які будемо встановлювати на підприємстві, вибираємо з урахуванням потужностей усього навантаження (див. табл. 3.1) та коефіцієнтів попиту й навантаження:

$$P = \sum \left(P_{H} \cdot K_{П} \right), \tag{3.1}$$

$$Q = \sum \left(P \cdot tg\varphi \right), \tag{3.2}$$

$$S = \sum \left(\sqrt{P^2 + Q^2} \right), \tag{3.3}$$

Паспортні величини вибраних трансформаторів приведемо у табл. 3.1.

Визначену загальну повну потужність, яка наведена у табл. 3.2 використовуємо для розрахунку потужності силового трансформатора, враховуючи коефіцієнти перевантаження електричної мережі:

$$S_{T} = \frac{S}{\eta_{M} \cdot K_{ПВ}}, \tag{3.4}$$

Таблиця 3.1 - Паспортні величини трансформаторів

Паспортні величини	Типи трансформаторів	
	ТМГ - 2500/35 - У1	ТМЗ - 400/6 - У1
Номінальна потужність, кВА	2500	400
Номінальна первинна напруга, кВ	35,0	6,0
Номінальна вторинна напруга, кВ	6,0	0,4
Втрати холостого ходу, кВт	5,1	1,08
Втрати короткого замикання, кВт	25,0	5,5
Напруга короткого замикання, %	7,5	4,5
Струм неробочого ходу, %	1,1	2,3

Таблиця 3.2 – Споживачі електроенергії електромонтажного підприємства

Споживачі	Номін. потужн., кВт	$K_П$	tg φ	Потужності		
				P, кВт	Q, кВАр	S, кВА
Трансформатор ТМГ-2500/35						2500
Секція 6 кВ						
Навантаження						2000
Трансформатор ТМЗ - 400/6						400
Всього 6 кВ						2400
Секція 0,4 кВ						
Лебідка ТЛ-14 А	3,2*2	0,5	1,98	3,2	6,34	7,1
Верстат токарно-гвинторізний	54	0,16	–	8,64	–	8,6
Верстат токарний	45	0,16	–	7,2	–	7,2
Верстат свердлильний	40	0,16	–	6,4	–	6,4
Кран 5 т	12	0,5	1,98	6	12	13,4
Кран 10 т	18	0,5	1,98	9	18	20
Кран 20 т	37	0,3	1,98	18,5	37	41,4
Освітлення (ЩО-1)	160	0,8	0,35	128	44.8	136
Освітлення зовнішнє (ЩО-2)	200	0,4	0,35	80	28	85
Калорифер	100	0,3	0,57	30	15	35
Вентилятор	100	0,8	0,75	80	60	100
Всього по секції 0,4 кВ						460,1

Однолінійна схема електропостачання допоміжної дільниці гірничорудного підприємства на рис. 3.1.

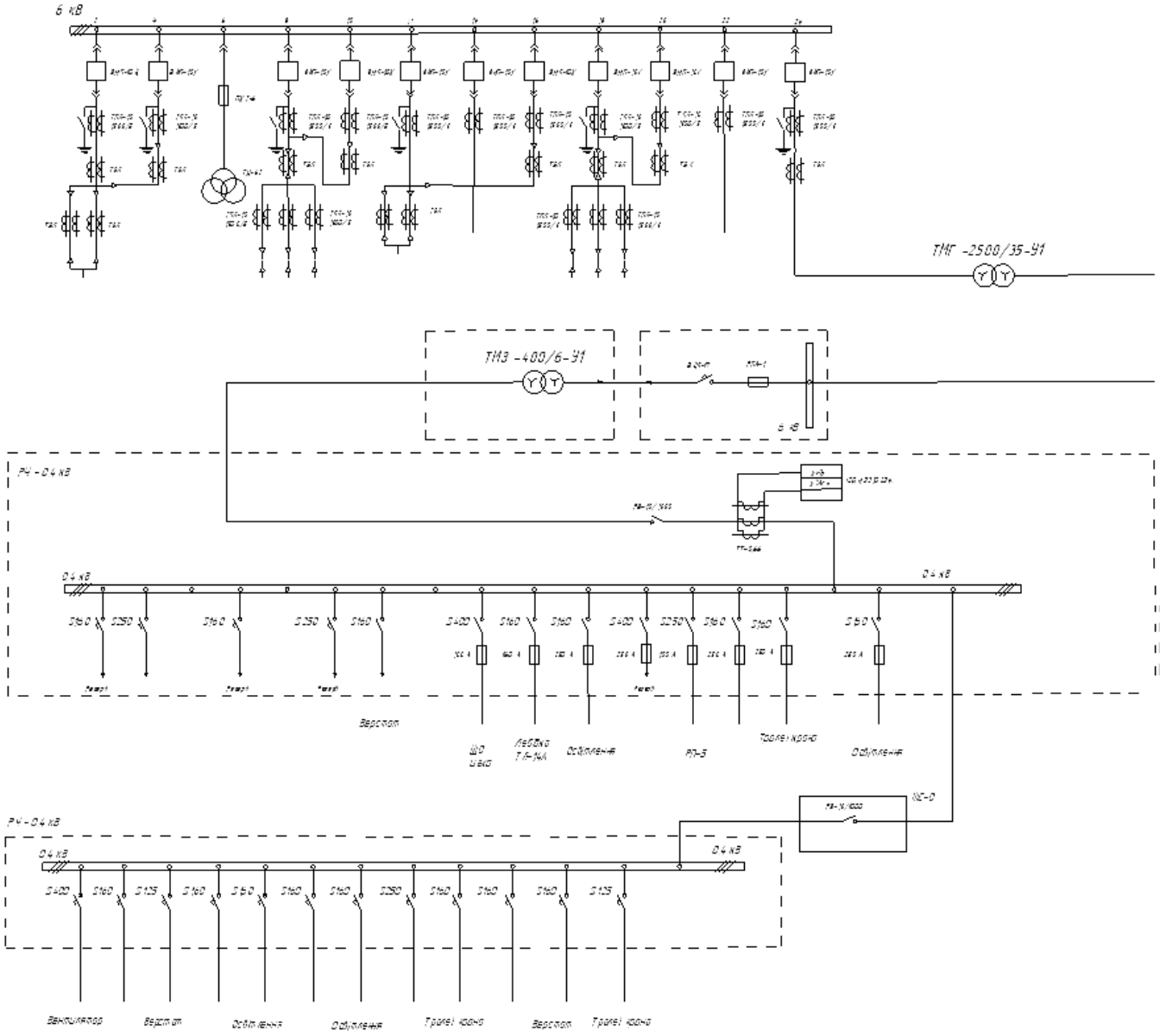

Рисунок 3.1 – Однолінійна схема електропостачання дільниці гірничорудного підприємства

3.2 Аналіз величин струмів КЗ електричної мережі 6,0 кВ

Приймаємо середню напругу більшою за стандартні значення на 5 %:

$U_{ср1}$ = 37 кВ;

$U_{ср2}$ = 6,3 кВ;

$U_{ср3}$ = 0,4 кВ.

Необхідні розрахунки проводимо у базисних одиницях:

- потужність $S_{б1}$ = 100 МВА= $S_С$;

- напруга $U_{б2}$ = 6,3 кВ;

- струм $I_{б2} = \frac{S_{б1}}{1,73 \cdot U_{б2}} = 9,2$ кА.

Опори елементів системи електропостачання у відносних одиницях:

- опір генератора:

$$X_Г = X'' \cdot \frac{S_б}{S_{НГ}} = 0,2 \cdot \frac{100}{32} = 0,625 \qquad (3.4)$$

де X'' - перехідний опір генератора;

$S_{НГ}$ – потужність генератора;

– опір лінії електропередачі 35 кВ:

$$X_{L1} = X_0 \cdot l_{л1} \cdot \frac{S_б}{U^2_{ср1}} = 0,4 \cdot 5 \cdot \frac{100}{37^2} = 0,146 \ , \qquad (3.5)$$

де X_{01} = 0,4 Ом/км – питомий опір повітряної лінії;

$l_{л1}$ = 5 км.

- опір трансформатора ТМГ - 2500/35 - У1:

$$X_{тр1} = \frac{u_к \cdot S_б}{S_Н} = \frac{0,075 \cdot 100}{2,5} = 3,0 \qquad (3.6)$$

- опір кабельної лінії:

$$X_{L2} = X_{02} \cdot l_{л2} \cdot \frac{S_б}{U^2_б} = 0,06 \cdot 0,4 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,06 \ , \qquad (3.7)$$

де $X_{02} = 0,06$ Ом/км – питомий індуктивний опір 1км лінії;

$l_{л2} = 0,4$ км - довжина лінії.

Загальний опір до точки КЗ **1**:

$$X_1 = X_Г + \frac{X_{L1}}{2} + \frac{X_{тр1}}{2} + \frac{X_{L2}}{2} = 0,625 + \frac{0,146}{2} + \frac{3,0}{2} + \frac{0,06}{2} = 2,228. \qquad (3.8)$$

Струм короткого замикання у точці КЗ 1:

$$I_{КЗ1} = \frac{I_{б2}}{X_1} = \frac{9,2}{2,228} = 4,129 \text{ кА}. \quad (3.9)$$

Ударний струм КЗ 1:

$$I_{УД1} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{КЗ1} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 4,129 = 10,479 \text{ кА}. \quad (3.10)$$

Потужність КЗ 1:

$$S_{КЗ1} = \frac{S_б}{X_1} = \frac{100}{2,228} = 44,883 \text{ МВА}. \quad (3.11)$$

3.3 Аналіз величин струмів КЗ електричної мережі 0,4 кВ

Розрахунки також проводимо у базисних одиницях:

- потужність $S_{б2}$ = 100 МВА= $S_С$;

- напруга $U_{б3}$ = 0,4 кВ;

- струм $I_{б3} = \frac{S_{б2}}{1,73 \cdot U_{б3}} = \frac{100}{1,73 \cdot 0,4} = 144,45$ кА.

Опори елементів системи електропостачання у відносних одиницях до точки КЗ **2**:

– опір лінії електропередачі 1 (35 кВ):

$$R_{л1} = \frac{R_{ол} \cdot l_{л1} \cdot S_б}{U_{б2}^2} = \frac{0,329 \cdot 5 \cdot 100}{37^2} = 0,12 \ , \quad (3.12)$$

де $R_{0л1}$ - активний опір лінії А-95:

$$R_{0л1} = \frac{1000}{\gamma \cdot s} = \frac{1000}{32 \cdot 95} = 0,329 \text{ Ом/км}, \quad (3.13)$$

де $\gamma = 32$ - питома провідність алюмінієвих проводів, м/(Ом·мм^2);

s = 95 – перетин однієї фази проводу, мм^2;

- опори трансформатора ТМГ - 2500/35 - У1 за (3.6) та

$$R_{тр1} = R_{трН} \cdot \frac{S_{б2}}{S_Н} = 0,01 \cdot \frac{100}{2,5} = 0,4, \quad (3.14)$$

де $R_{\text{трН}} = \dfrac{\Delta P_M}{S_H} = \dfrac{25}{2500} = 0,01$ – опір обмотки трансформатора;

- опори трансформатора ТМЗ - 400/6 - У1:

$$R_{\text{тр2}} = R_{\text{трН}} \cdot \frac{S_{б2}}{S_H} = 0,014 \cdot \frac{100}{0,4} = 3,5, \qquad (3.15)$$

де $R_{\text{трН}} = \dfrac{\Delta P_M}{S_H} = \dfrac{5,5}{400} = 0,014$ – опір обмотки трансформатора;

$$X_{\text{тр2}} = \sqrt{u_K^2 - R_{TPH}^2} \cdot \frac{S_б}{S_H} = \sqrt{0,045^2 - 0,014^2} \cdot \frac{100}{0,4} = 10,69 \qquad (3.16)$$

- опори кабельної лінії 6,3 кВ:

$$\text{X}_{\text{L2}} = \frac{X_{ол} \cdot l_л \cdot S_б}{U_{б3}^2} = \frac{0,256 \cdot 0,05 \cdot 100}{0,4^2} = 8,0\ , \qquad (3.17)$$

де $X_{ол} = 0,256$ Ом/км – питомий індуктивний опір кабеля;

$l_л = 50$ м - довжина кабеля;

$$R_{\text{L2}} = \frac{r_{ол} \cdot l_л \cdot S_б}{U_{б3}^2} = \frac{0,371 \cdot 0,05 \cdot 100}{0,4^2} = 11,594\ , \qquad (3.18)$$

де $r_{0л} = 0,371$ - Ом/км – питомий активний опір кабеля;

Загальний опір до точки КЗ **2**:

$$X_2 = X_Г + \frac{X_{L1}}{2} + \frac{X_{TP1}}{2} + X_{TP2} + X_{L2} = 0,625 + \frac{0,146}{2} + \frac{3,0}{2} + 10,69 + 8,0 = 20,888. \qquad (3.19)$$

$$R_2 = \frac{R_{L1}}{2} + \frac{R_{TP1}}{2} + R_{TP2} + R_{L2} = \frac{0,12}{2} + \frac{0,4}{2} + 3,5 + 11,594 = 15,354. \qquad (3.20)$$

$$Z_2 = \sqrt{X_2^2 + R_2^2} = \sqrt{20,888^2 + 15,354^2} = 26,012. \qquad (3.21)$$

Струм короткого замикання у точці КЗ 2:

$$I_{КЗ2} = \frac{I_{б2}}{Z_2} = \frac{144,5}{26,013} = 5,555 \text{ кА}. \qquad (3.22)$$

Ударний струм КЗ 2:

$$I_{У2} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{КЗ2} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 5,555 = 14,1 \text{кА}. \qquad (3.23)$$

Потужність КЗ 2:

$$S_{КЗ2} = \frac{S_б}{Z_2} = \frac{100}{26,013} = 3,844 \text{ МВА}. \quad (3.24)$$

3.4 Вибір шинних конструкцій, кабелю і елементів захисту електричної мережі 6,0 кВ

1) Шинні конструкції.

При виборі шинних конструкцій врахуємо:

- економічну щільність струму;
- нагрів шини при протіканні робочого струму навантаження;
- термічну стійкість;
- електродинамічній стійкості при КЗ 1.

Струм шинних конструкцій:

$$I_{р1} = \frac{S_1}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{2500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 229,107 \text{ А}. \quad (3.25)$$

Вибираємо шинні конструкції на струм 230 А, розмір полоси 75х3 мм (S=225 мм^2), відстані при установці: між ізоляторами L=250 мм, між шинами a=150 мм.

Перевірки шинних конструкцій:

- економічний переріз:

$$S_{ЕК} = \frac{I_{р1}}{J_{ЕК}} = \frac{229,107}{1,3} = 176 \text{ мм}^2, \quad (3.26)$$

де $J_{ЕК}$=1,3 А/мм^2 – задана економічна щільність струму.

$$176 \text{ мм}^2 < 225 \text{ мм}^2$$

- до механічних навантажень:

електродинамічна сила, яка діє на шину:

$$F = 1,76 \cdot I_у^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 0,1 = 1,76 \cdot 24,67^2 \cdot \frac{25}{15} \cdot 0,1 = 12,169 \text{ Н}, \quad (3.27)$$

де $I_у$, кА- ударний струм КЗ;

l – відстань між ізоляторами, см;

a – відстань між шинами, см;

вигинаючий момент:

$$M = F \cdot l = 12{,}169 \cdot 25 = 304{,}225 \text{ Нсм}; \quad (3.28)$$

момент опору шини відносно вісі:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0{,}3 \cdot 7{,}5^2}{6} = 2{,}813 \text{ см}^3; \quad (3.29)$$

напруга, що виникає в матеріалі шини:

$$\sigma_{роз} = \frac{M}{W} = \frac{304{,}225}{2{,}813} = 108{,}15 \text{ Н/см}^2. \quad (3.30)$$

$$108{,}15 \text{ Н/см}^2 < 16000 \text{ Н/см}^2,$$

де $\sigma_{доп} = 16000$ Н/см^2 – допустима напруга в матеріалі шини;

- на термічну стійкість:

$$S_{Ш} = \frac{I_{КЗ1} \cdot \sqrt{t_{КЗ}}}{c} = \frac{2538 \cdot \sqrt{0{,}5}}{85} = 21{,}113 \text{ мм}^2, \quad (3.31)$$

де $t_{пр} = 0{,}5$ с – час дії КЗ;

$c = 85$ Ас^2/мм^2 – коефіцієнт.

2) Ізолятори.

Електрична міцність:

$$U_{УСТ.Н} \le U_{ІЗ.Н} \quad (3.32)$$

де $U_{УСТ.Н}$ – ном. напруга установки;

$U_{ІЗ.Н}$ – ном. напруга ізолятора.

Механічна міцність:

$$F \le F_{доп} = 0{,}6 \cdot F_р \ , \quad (3.33)$$

де $F_р$ – руйнівне навантаження.

За цими умовами вибираємо ізолятор ОСК5-35-Б-3УХЛ1 (див. табл. 3.3).

Таблиця 3.3 - Технічні дані ізолятора ОСК5-35-Б-3УХЛ1

Технічні дані	Одиниця вимірювання	Величина
Номінальна напруга	кВ	35,0
Випробувальна напруга повного грозового імпульсу	кВ	190,0
Механічна руйнівна сила на вигин, не менше	кН	5,0
Відхилення під дією максимального навантаження на вигин, не більше	мм	5,0
Довжина шляху витоку, не менше	см	116,0

3) Вимикачі.

Вибираємо вимикач вакуумний серії ВВ-6/10-12, 5/630 УХЛ2 (рис. 3.2).

Рисунок 3.2 – Вимикач вакуумний серії ВВ-6/10-12, 5/630 УХЛ2

Технічні характеристики наведені у табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Технічні дані вимикача вакуумного серії ВВ-6/10-12, 5/630 УХЛ2

Технічні дані	Одиниця вимірювання	Величина
Номінальна напруга	кВ	6/10
Найбільша робоча напруга	кВ	7,2/12
Номінальний струм	А	630
Частота	Гц	50
Номінальний струм відключення	кА	12,5
Нормовані параметри струму включення: - найбільший пік - початкове діюче значення періодичної складової	кА	 25 10
Показник термічної стійкості	$кА^2с$	300
Струм електродинамічної стійкості	кА	25
Струм термічної стійкості	кА	10
Час протікання струму термічної стійкості	с	1
Час протікання струму термічної стійкості (без вбудованих трансформаторів струму)	с	3
Потужність відключення	МВА	100
Механічний ресурс (механічна зносостійкість)	число циклів	30000
Час відключення вимикача	с	0,08
Допустима частота включення в годину, не більше	число включень	300

3.4 Вибір шинних конструкцій, кабелю і елементів захисту електричної мережі 0,4 кВ

1) Шинні конструкції.

Струм шинних конструкцій:

$$I_{р2} = \frac{S_2}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 577,35 \text{ А}. \quad (3.34)$$

Вибираємо шинні конструкції на струм 665 А, розмір полоси 50х5 мм (S=250 $мм^2$), відстані при установці: між ізоляторами L=250 мм, між шинами a=150 мм.

Перевірки шинних конструкцій виконуємо за (3.26)-(3.31):

$$S_{EK} = \frac{I_{p2}}{J_{EK}} = \frac{577,35}{1,3} = 444,115 \text{ мм}^2.$$

$444,115 \text{ мм}^2 < 480 \text{ мм}^2$

$$F = 1,76 \cdot I_y^2 \cdot \frac{l}{a} \cdot 0,1 = 1,76 \cdot 24,67^2 \cdot \frac{25}{15} \cdot 0,1 = 178,525 \text{ Н}.$$

$$M = F \cdot l = 178,525 \cdot 25 = 4463 \text{ Нсм} = 44,63 \text{ Нм}.$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,6 \cdot 8,0^2}{6} = 6,4 \text{ см}^3.$$

$$\sigma_{роз} = \frac{M}{W} = \frac{4463}{6,4} = 697,344 \text{ Н/см}^2.$$

$697,344 \text{ Н/см}^2 < 16000 \text{ Н/см}^2$,

$$S_{Ш} = \frac{I_{КЗ2} \cdot \sqrt{t_{КЗ}}}{c} = \frac{9720 \cdot \sqrt{0,5}}{85} = 80,86 \text{ мм}^2.$$

2) Кабель.

Кабель необхідно вибирати, враховуючи струм електричної лебідки ЈМ-5:

$$I_{леб} = \frac{P_н}{\sqrt{3} \cdot U_н \cdot \eta_н \cdot \cos\varphi_н} = \frac{11000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,885 \cdot 0,81} = 23,31 \text{ А}.$$

Для підключення електричної лебідки ЈМ-5 вибираємо кабель АВВГ 3х10 на струм 50 А.

Перевіряємо вибраний кабель АВВГ 3х10:

- за нагрівом:

$$I_{доп} = 50 \text{ А} > I'_{розр} = 8,2 \text{ А}$$

- за економічною щільністю:

$$S_{ещ} = \frac{I_{леб}}{i_{ещ}} = \frac{23,31}{2} = 11,655 \text{ мм}^2 \qquad (3.35)$$

- за термічною стійкістю:

$$S_{min} = \frac{I_{КЗ2} \cdot \sqrt{t_п}}{c} = \frac{9720 \cdot \sqrt{0,05}}{85} = 25,0 \text{ мм}^2. \qquad (3.36)$$

Даний кабель АВВГ 3х10 перетином 10 мм^2 не забезпечує необхідну термічну стійкість, тому вибраємо кабель АВВГ 3х25 перетином 25 мм^2 на струм 88 А.

Втрати напруги у кабелі:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I_{леб} \cdot \cos\varphi \cdot l_1 \cdot Z_0}{U_н} \cdot 100\% = \\ = \frac{\sqrt{3} \cdot 23{,}31 \cdot 0{,}81 \cdot 0{,}005 \cdot 1{,}2}{6} \cdot 100\% = 3{,}27\% \quad (3.37)$$

де Z_0 =1,2 Ом/ км.

$$\Delta U = 3{,}27\ \% < 5\ \%,$$

Кабель АВВГ 3х25 задовольняє проведеним перевіркам.

3) Автоматичний вимикач.

Струм при запуску двигуна лебідки:

$$I_{П.леб} = \alpha \cdot I_{леб} = 6{,}0 \cdot 23{,}31 = 139{,}86\ \text{А}. \quad (3.38)$$

Необхідні умови:

1) номінальний струм розчеплювача вибирається за значенням тривалого розрахункового струму лінії:

$$I_{ел} \geq I_р; \quad (3.39)$$

2) струм спрацьовування (відсічки) розчеплювача перевіряється за піковим струмом лінії:

$$I_{сп} \geq K \cdot I_{П.леб}, \quad (3.40)$$

де K=1,25 – для більшості автоматів.

Для двигуна електричної лебідки JM-5 вибираємо автоматичний вимикач *TemBreak 2* модель S160 (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 - Технічні дані автоматичного вимикача *TemBreak 2* модель S160

Технічні дані	Одиниця вимірювання	Величина
Кількість полюсів		3, 4
Номінальний струм	А	160
Номінальна напруга ізоляції	В	690
Захист: регульований тепловий й фіксований магнітний розчеплювач		

4) Пристрій автоматичного вводу резерву *ATyS M*.

Вибираємо АВР ATyS M 6s з контролером (табл. 3.6).

Таблиця 3.6 - Технічні дані ATyS M 6s

Технічні дані	Одиниця вимірювання	Величина
Номінальний струм	А	160
Кількість полюсів		4
Програмування контролера		
Вбудовані контрольно-вимірювальні кола		

5) Запобіжники.

Вибираємо запобіжник ножевий на струм 160 А.

Висновки до розділу 3

Оцінена величина загального навантаження дільниці гірничорудного підприємства та вибрані перетворювальні трансформатори: ТРДНС-25000/35/6,5 і ТМ-400.

Визначені струми короткого замикання на ступенях напруг 6,0 кВ і 0,4 кВ, які необхідні при виборі шинних конструкцій, високовольтних вимикачів і кабелів.