

Міністерство освіти і науки України
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Електротехнічний факультет

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 141

«ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

НА ТЕМУ:

«ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ НАСОСА Х 20/31
ГАЛЬВАНІЧНОГО ВІДДІЛЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО
ПІДПРИЄМСТВА М. КРИВОГО РОГУ»

Виконав: студент групи ЕЕМ-22ск _____ Назарій РЯБЧЕНКО

Керівник кваліфікаційної роботи _____ к.т.н., доц. Міла БАРАНОВСЬКА

Нормоконтролер _____ к.т.н., доц. Міла БАРАНОВСЬКА

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____ к.т.н. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг

2025 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: Електротехнічний

Кафедра: Електромеханіки

Освітньо-професійна програма першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти: «бакалавр»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика,
електромеханіка та електромеханіка»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

_____ к.т.н. Ігор Пересунько
« ____ » _____ 20 ____ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Рябченко Назарій Миколайович
(прізвищі ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Електромеханічне обладнання насоса х 20/31 гальванічного відділення
промислового підприємства м. Кривого рогу

керівник проекту (роботи) Барановська М.Л.

затверджена наказом по КНУ від « 12 » травня 2025 р. № 250с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) « 13 » червня 2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Хімічний насос Х20/31: асинхронний двигун типу 4А100; частотний перетворювач ATV
61Н075М3; струмообмежувальний реактор РТСТ-20,5; електротехнічне обладнання (мережі 6
кВ та 0,4 кВ) відповідної апаратури.

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

1.1 Загальні відомості про типове промислове підприємство Кривого Рога. 1.2 Аналіз
технічних характеристик гірничого та металургійного обладнання. 1.2.1 Бурова установки
СБШ. 1.2.2 Екскаватор ЕКГ-12.5. 1.2.3. Дробарка типу ККД1500/180. 1.2.4 Агломераційна
машина типу АКМ-1,2,3-85/160. 1.2.5 Кульовий млин типу МШЦ-45×60. 1.3 Гальваніка та
гальванічне покриття. 1.4 Загальний вид та технічна характеристика хімічного насоса Х20/31.
1.5 Обґрунтування і вибір системи електропривода хімічного насоса Х20/31. 1.6 Вибір
приводного двигуна та перетворювача частоти. 2.1 Схема заміщення електропривода та
розрахунок статичних характеристик. 2.1.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення
електропривода. 2.1.2 Розрахунок та побудова природної механічної характеристики АД. 2.1.3
Розрахунок і графічне відображення механічних характеристик електропривода з ПЧ та АМ.
2.2 Розрахунок і графічне відображення енергетичних характеристик електропривода.
2.3 Перехідні процеси в системі ПЧ-АД гальванічного насоса (розімкнена система). 2.4 Перехідні
процеси в системі ПЧ-АД гальванічного насоса (замкнена система). 2.4.1 Розрахунок і графічне
відображення статичних характеристик. 2.4.2 Розрахунок і графічне відображення перехідних
процесів. 3.1 Розрахунок електропостачання промислового підприємства на прикладі
Криворізького заводу гірничого обладнання. 3.2 Розрахунок установленної потужності споживачів
електроенергії та вибір трансформатора. 3.3 Розрахунок СКЗ в мережах понад 1 кВ. 3.4 Добір
апаратури в мережі вище 1 кВ. 3.5 Розрахунок СКЗ в мережах до 1 кВ. 3.6 Добір комутаційних
пристроїв та струмопровідних частин у мережі з напругою до 1 кВ.

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

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Барановська М.Л., доцент		
2	Барановська М.Л., доцент		
3	Барановська М.Л., доцент		

7. Календарний план

№ з/п	Етапи роботи	Термін виконання	Примітка
1.1	Внутрішній шахтний транспорт.	12.05-13.05	Виконано
1.2	Технічний опис перекидача ОКЕ 2-4,5-750А	14.05-15.05	Виконано
1.2.1	Загальні відомості	16.05-17.05	Виконано
1.2.2	Будова, принцип роботи складових частин шахтного перекидача	16.05-17.05	Виконано
1.2.3	Робота принципової електричної схеми шахтного перекидача	16.05-17.05	Виконано
1.2.4	Монтаж шахтного перекидача	16.05-17.05	Виконано
2.1	Вимоги до електроприводу шахтного перекидача	18.05-19.05	Виконано
2.1.1-2.1.4	Моменти: статичні, динамічні, тертя, обертових мас	20.05-21.05	Виконано
2.1.5	Вибір приводної асинхронної машини шахтного перекидача	22.05-24.05	Виконано
2.2, 2.3	Вибір електромеханічного обладнання перекидача. Обґрунтування та вибір системи	25.05-26.05	Виконано
2.4	Технічні характеристики тиристорного пристрою ТСУ-4.	27.05-28.05	Виконано
2.5-2.8	Розрахунок параметрів АМ. Розрахунок та побудова характеристик. Розробка моделі шахтного перекидача.	29.05-30.05	Виконано
3.1	Електропостачання шахти та відомості про споживачів електроенергії.	29.05-30.05	Виконано
3.2-3.4	Оцінка величин навантажень і вибір трансформаторів ЦПП.	30.05-31.05	Виконано
3.5, 3.6	Розрахунок струмів короткого замикання. Вибір високовольтного та низьковольтного обладнання.	01.06-03.06	Виконано

Дата видачі завдання: «12» травня 2025 р.

Студент _____ Рябченко Н.М.
(підпис) (П.І.Б.)

Керівник роботи (проекту) _____ Барановська М.Л.
(підпис) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка роботи бакалавра складається з 57 сторінок, 33 рисунків, 10 таблиць, 14 списку джерел

У першому розділі на основі вхідних даних по досліджуваному механізму - хімічному насосу X20/31, що експлуатується в цеху гальваніки криворізького підприємства, було виконано визначення необхідної потужності для приводного електродвигуна. Перевірочний розрахунок підтвердив доцільність вибору асинхронного двигуна типу 4A100, який відповідає вимогам технологічного процесу та електроприводної системи. Також обґрунтовано використання частотного перетворювача ATV 61H075M3 і струмообмежувального реактора РТСТ-20,5.

У другому розділі проведено розрахунок параметрів двигуна 4A100, сформовано схему заміщення системи електропривода та визначено її характеристики. Це дозволило здійснити математичне моделювання системи ПЧ–АД. Було проаналізовано перехідні процеси для розімкненого та замкненого контурів управління, змодельовано запуск насоса у режимах з навантаженням та без нього, синтезовано параметри регуляторів замкненої системи автоматичного керування (САК) та виконано моделювання в середовищі MatLab.

У третьому розділі розглянуто систему електропостачання на прикладі Криворізького заводу гірничого обладнання. Розроблено однолінійну схему живлення підприємства, виконано розрахунок електричних навантажень та підібрано силові трансформатори типів ТМ-630/6 і ТДН-20000/35. Проведено аналіз режимів роботи обладнання при різних умовах роботи, а також визначено струми короткого замикання у значимих точках мережі. Обґрунтовано вибір електротехнічного обладнання (мережі 6 кВ та 0,4 кВ), відповідної апаратури.

НАСОС, ДВИГУН, СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ, МОДЕЛЮВАННЯ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Рябченко Н.М.			РЕФЕРАТ	Літ.	Арк.
Перевір.		Барановська М					Акрушів
Реценз.						1	57
Н. Контр.		Барановська М				КНУ гр. ЕЕМ-22ск	
Затверд.		Пересунько І.І.					

ЗМІСТ

СТОР

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 Характеристика електромеханічного об'єкту та його електрообладнання.....	6
1.1 Загальні відомості про типове промислове підприємство Кривого Рога.....	7
1.2 Аналіз технічних характеристик гірничого та металургійного обладнання.....	7
1.2.1 Бурова установки СБШ.....	7
1.2.2 Екскаватор ЕКГ-12.5.....	8
1.2.3 Дробарка типу ККД1500/180.....	10
1.2.4 Агломераційна машина типу АКМ-1,2,3-85/160.....	11
1.2.5 Кульовий млин типу МШЦ-45×60.....	12
1.3 Гальваніка та гальванічне покриття.....	14
1.4 Загальний вид та технічна характеристика хімічного насоса Х20/31.....	15
1.5 Обґрунтування і вибір системи електропривода хімічного насоса Х20/31.....	18
1.6 Вибір приводного двигуна та перетворювача частоти.....	20
Висновки за розділом 1.....	21
РОЗДІЛ 2 Аналіз системи електропривода технологічного механізму....	22
2.1 Схема заміщення електропривода та розрахунок статичних характеристик.....	23
2.1.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення електропривода.....	23
2.1.2 Розрахунок та побудова природної механічної характеристики АД.....	26
2.1.3 Розрахунок і графічне відображення механічних характеристик електропривода з ПЧ та АМ.....	27

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.3		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст		
Розроб.		Рябченко Н.М.					
Перевір.		Барановська М					
Реценз.							
Н. Контр.		Барановська М					
Затверд.		Пересунько І.І.			КНУ гр. ЕЕМ-22ск		
					Літ.	Арк.	Аркушів
						2	57

2.1.4 Розрахунок і графічне відображення характеристик швидкості електропривода	28
2.2 Розрахунок і графічне відображення енергетичних характеристик електропривода.....	29
2.3 Перехідні процеси в системі ПЧ-АД гальванічного насоса (розімкнена система).....	31
2.4 Перехідні процеси в системі ПЧ-АД гальванічного насоса (замкнена система).....	37
2.4.1 Розрахунок і графічне відображення статичних характеристик.....	38
2.4.2 Розрахунок і графічне відображення перехідних процесів.....	39
Висновки за розділом	44
РОЗДІЛ 3 Електропостачання.....	45
3.1 Розрахунок електропостачання промислового підприємства на прикладі Криворізького заводу гірничого обладнання.....	46
3.2 Розрахунок установленної потужності споживачів електроенергії та вибір трансформатора.....	46
3.3 Розрахунок СКЗ в мережах понад 1 кВ.....	48
3.4 Добір апаратури в мережі вище 1 кВ.....	49
3.5 Розрахунок СКЗ в мережах до 1 кВ.....	52
3.6 Добір комутаційних пристроїв та струмопровідних частин у мережі з напругою до 1 кВ.....	54
Висновки за розділом 3.....	56
Список джерел.....	57

ВСТУП

У 1950-х роках у Криворізькому залізорудному басейні почали активно впроваджувати нові машини та обладнання для гірничодобувної галузі, що стимулювало розвиток механізації та автоматизації виробничих процесів. У результаті виникла потреба у створенні спеціалізованих ремонтних підприємств.

Одне з підприємств - ПАТ «Криворізький завод гірничого обладнання» було засноване у 2001 році на основі підприємства ЗАТ «Криворізький центральний рудоремонтний завод». Завод спеціалізується на виробництві запасних частин та змінних елементів до гірничозбагачувального і металургійного обладнання. Продукція підприємства виготовляється, ремонтується та постачається як на підприємства України, так і за кордон — до Казахстану, Вірменії, Узбекистану, Білорусі, Болгарії, США, Чехії.

Асортимент заводу охоплює широкий спектр техніки:

- гірничодобувне обладнання (бурові установки, екскаватори, грейфери);
- гірничозбагачувальні машини (різні типи дробарок — щоківі, молоткові, відцентрові; млини — кульові, стрижневі, самоздрібнювальні; інерційні грохоти, барабанні змішувачі, обпалювальні машини);
- транспортні засоби (стрічкові та пластинчасті конвеєри, живильники, відцентрові насоси для гідротранспортування шламів);
- металургійне обладнання (агломераційні установки, кільцеві та лінійні охолоджувачі, тяголанцюгові машини, обладнання для розливання феросплавів).

Друге підприємство: ВАТ «Електрозавод». З 1966 року підприємство розпочало серійний випуск комплектних розподільних пристроїв типу ПКРН-6, СПП-6, КСО-2УМ, а потім налагодили централізований ремонт електрообладнання, зокрема електродвигунів змінного струму потужністю до 100 кВт і більше, а також силових трансформаторів. Почалося виготовлення низько- та високовольної апаратури, освітлювальних коробок КРО-3М, трансформаторних підстанцій ПКТП-320, запасних частин до електродвигунів та телескопічних підвісів, малопотужних трансформаторів типу ТОР-1,5, силових коробок КРС-200, а також вибухозахищених високовольних комірок ЯВ-6400 для вугільної промисловості. Протягом 1970–1971 років було введено в експлуатацію інструментальний цех, гальванічне відділення та допоміжні виробничі дільниці.

Система електропривода на базі частотного перетворювача та асинхронного двигуна (ПЧ–АД) є компактною за масогабаритними характеристиками завдяки малим розмірам обох компонентів. Головна перевага такої системи полягає у високих регульовальних можливостях, що не поступаються системам з електроприводом постійного струму. Асинхронний двигун з короткозамкненим ротором є найпростішим, надійним, невибагливим і економічно вигідним у застосуванні.

З урахуванням сучасних тенденцій у галузі привідних систем, використання ПЧ–АД вважається доцільним і ефективним рішенням.

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.В		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Рябченко Н.М.			ВСТУП	Літ.	Арк.
Перевір.		Барановська М					4
Реценз.							57
Н. Контр.		Барановська М				КНУ гр. ЕЕМ-22ск	
Затверд.		Пересунько І.І.					

Об'єкт дослідження – електромеханічне обладнання гальванічного цеху промислового підприємства, зокрема система приводу хімічного насоса.

Предмет дослідження – процес керування та енергоефективна робота хімічного насоса X20/31 із застосуванням системи електропривода на базі асинхронного двигуна з частотним регулюванням (ПЧ–АД).

Мета дослідження – підвищення ефективності функціонування хімічного насоса шляхом розроблення та впровадження системи електропривода з частотним керуванням, що забезпечує покращення технологічних режимів, надійність та енергоощадність.

Завдання роботи: провести аналіз технічного стану електромеханічного обладнання гальванічного цеху промислового підприємства; обґрунтувати вибір електропривода з частотним регулюванням для хімічного насоса X20/31; розрахувати параметри асинхронного двигуна та частотного перетворювача, що забезпечать оптимальну роботу насоса; побудувати схему заміщення та здійснити математичне моделювання системи ПЧ–АД у середовищі MATLAB/Simulink; проаналізувати перехідні процеси системи; розробити однолінійну схему електропостачання установки та провести розрахунок електричних навантажень; вибрати захисне та комутаційне обладнання відповідно до умов експлуатації.

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.В	Лист
						5
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

Характеристика електромеханічного об’єкту та його електрообладнання

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р1						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Рябченко Н.М.			Характеристика об'єкту та його електрообладнання			Літ.		Арк.	Акрушів
Перевір.		Барановська М								6	57
Реценз.								ЕМ гр. ЕЕМ-22ск			
Н. Контр.		Барановська М									
Затверд.		Пересунько І.І.									

1.1 Загальні відомості про типове промислове підприємство Кривого Рога

Сьогодні підприємство - Криворізький завод гірничого обладнання входить до числа провідних спеціалізованих виробників запасних частин і змінних деталей для гірничозбагачувального та металургійного обладнання в Україні. Продукція заводу стабільно користується високим попитом як на внутрішньому ринку, так і за кордоном. Близько 45% виготовленої продукції експортується до Казахстану, Вірменії, Узбекистану, Болгарії, США, Чехії.

За останні три роки підприємство освоїло виробництво понад 200 нових видів продукції, серед яких:

- понад 90 видів броней для конусних і щоківних дробарок компаній Krupp Fordertechnik, Svedala, Nordberg, PSP Engineering;
- дробарка типу КСД -2200;
- відцентрова дробарка типу Barmak;
- кульовий млин типу МШК 2х4,5;
- охолоджувач агломерату типу ОП-315;
- машина з лиття кульок для млинів тощо.

Дане підприємство виготовляє запчастини та деталі для обладнання.

1.Гірничодобувна техніка:

- бурові установки;
- кар'єрні екскаватори;
- грейфери.

2.Гірничозбагачувальне обладнання:

- дробарки (щоківі, молоткові, відцентрові);
- млини (кульові, стрижневі, самоподрібнювальні);
- інерційні грохоти;
- барабанні змішувачі;
- обпалювальні машини.

3.Транспортні системи:

- стрічкові та пластинчасті конвеєри й живильники;
- відцентрові насоси для гідротранспорту шлаків.

4. Металургійне обладнання:

- агломераційні машини;
- лінійні та кільцеві охолоджувачі;
- тяголанцюгові машини;
- установки для розливання феросплавів.

1.2 Аналіз технічних характеристик гірничого та металургійного обладнання

1.2.1 Бурова установки СБШ

Бурова установка СБШ-250 призначена для виконання вертикального та похилого буріння вибухових свердловин при відкритому способі видобутку корисних копалин. Установка здійснює буріння свердловин під кутом від 30° до 150° до вертикалі за

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р1	Лист
						7
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

допомогою шарошечних доліт. Працює в монолітних та тріщинуватих породах, незалежно від рівня їх зволоженості. Модель ефективна при бурінні у гірських породах із показником міцності $f = 8-18$ за шкалою М.М. Протод'яконова, що відповідає середньо- та високоміцним геологічним умовам. Усі основні та допоміжні операції буріння механізовані. Технічні характеристики наведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики бурової установки СБШ-250

Технічні характеристики	Од. виміру	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
Обертний момент на буровому інструменті	кН/м	4,2
Витрата стислого повітря	м³/с	0,41
Швидкість руху стану	км/г	0,737
Встановлена потужність двигунів	кВт	398
Маса верстата	т	65

Усі вузли верстата оснащені електричними приводами. Сумарна встановлена потужність електродвигунів становить 386 кВт. На верстаті СБШ-250 змонтовано компресорну установку ВВ-32/8М1У2В з приводним електродвигуном типу 5АМ315М2У2.

1.2.2 Екскаватор ЕКГ-12.5

Інноваційні рішення в конструкції екскаватора - це новий рівень продуктивності. Усі ці технічні рішення спрямовані на досягнення максимальної продуктивності, енергоефективності та надійності роботи екскаваторів нового покоління.

- Інтелектуально вдосконалений ківш: ефективність кожного циклу
Ківш нового покоління має поліпшену геометрію та розраховані кути різання, що значно підвищують ефективність навантаження:
 - Зменшений опір при входженні в ґрунт забезпечує легке заглиблення навіть у щільні матеріали;
 - Спеціальна форма сприяє повному завантаженню ковша без перевитрати енергії;
 - Прискорене розвантаження зменшує тривалість циклу "копання-навантаження";
 - Енергоспоживання знижене до 15% на одиницю переміщеної маси;

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р1	Лист
						8
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- Повна сумісність з автосамоскидами вантажопідйомністю 72–120 т і залізничними думпкерами.
- 2. Однобалкова рукоять: надійність конструкції — точність роботи
Конструкція рукояті виконана з міцної штампованої труби, що поєднує малу вагу та високу жорсткість, і включає:
 - Фланцеве з'єднання ковша на болтах — без люфтів, легко обслуговується, забезпечує надійність;
 - Вбудований демпфер — захист від крутильних навантажень та деформацій;
 - Знімний поворотний напівблок із твердими поверхнями — стійкість до зношування в умовах абразивного навантаження;
 - Седловий підшипник з роликowymi напрямними — плавний хід, поглинання ударних навантажень і компенсація зносу при тривалій експлуатації.
- 3. Приводи та трансмісія: потужність у компактному форматі
 - Компактні планетарні редуктори підйому та повороту мають високу вантажопідйомність і витримують складні умови роботи;
 - Електричні дискові гальма на всіх приводах — точне гальмування, контроль при русі, мінімізація зносу гальмівної системи.
- 4. Кабельна система: розширення зони дії
 - Електроприводний автоматизований кабельний барабан забезпечує зручне змотування та розмотування кабелю під час переміщення;
 - Ємність до 500 метрів кабелю дозволяє збільшити радіус дії без переміщення джерела живлення.
- 5. Сучасна система електроприводу: керована енергія
 - Комплектний електропривод типу III-3801 забезпечує управління всіма основними та допоміжними вузлами;
 - Трифазні тиристорні збудники — плавний пуск, ефективне регулювання навантаження та адаптація до динаміки процесів;
 - Система управління з координатними сельсинами — висока точність передавання команд, синхронізація та гнучке налаштування систем під умови роботи.

Технічні характеристики екскаваторів ЕКГ наведені у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики різних типів екскаваторів ЕКГ

Технічні характеристики	ЕКГ-8	ЕКГ-10	ЕКГ-12,5	ЕКГ-6.3У
1.	2.	3.	4.	5.
Об'єм ковша, 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

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р1	Лист
						9
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Продовження таблиці 1.2

1.	2.	3.	4.	5.
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°), сек.	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

Електродвигуни головних приводів екскаватора:

- двигун підйому МПЕ-350 - 500 кВт;
- повороту 2х ДВ-812 - 200 кВт;
- напору МПЕ-200 - 300 кВт;
- ходу МПЕ-90 - 120 кВт.

1.2.3 Дробарка типу ККД1500/180

Конусна дробарка ККД-1500/180 призначена для крупного дроблення гірських порід і руд з межею міцності на стиск до 300 МПа. Обладнання функціонує в безперервному режимі й використовується як первинний агрегат у технологічних лініях кар'єрів, гірничо-збагачувальних та металургійних підприємств.

Конструктивні особливості

Дробарка має класичну конструктивну схему з двохопорним валом дробильного конуса, що забезпечує стабільність і довговічність роботи навіть за умов високих навантажень.

Ключові переваги дробарки ККД-1500/180

– Гідравлічне регулювання розвантажувальної щілини – Здійснюється за допомогою нижнього гідроциліндра з використанням фірмової Пестової опори кочення, яка:

- нечутлива до кромочних контактів і нестабільного змащення;
- забезпечує точне і швидке налаштування щілини без зупинки агрегата.

Ексцентриковий вузол із центрованим навантаженням. Конструкція рівномірно розподіляє навантаження по всій площі підшипників ексцентрика, що:

- значно збільшує їх ресурс;
- мінімізує вібрації та знос деталей.

Механізація обслуговування – Усі трудомісткі операції технічного обслуговування максимально механізовані, що:

- скорочує простої обладнання;
- знижує експлуатаційні витрати;
- підвищує безпеку та зручність для персоналу;
- Технічна ефективність.

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р1	Лист
						10
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Завдяки продуманим конструктивним рішенням дробарка ККД-1500/180 демонструє високу продуктивність, низьку витрату енергії на тонну матеріалу та підвищену надійність в умовах промислової експлуатації.

Технічні характеристики дробарки показана в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Технічні характеристики дробарки ККД 1500/180

Технічні характеристики	Величина
Напруга живлення	6 кВ;
Потужність приводного двигуна	320 кВт
Продуктивність	1150 м3/год
Число хитань рухливого конуса в хвилину	80 об/хв
Вага рухливого конуса	80т
<i>Габаритні розміри:</i>	
Висота	7645 мм
Ширина	5335 мм
Діаметр підстави дробарного конуса	2500 мм
Ширина завантажувального отвору	1500 мм
<i>Ширина розвантажувальної щілини:</i>	
Найменша	160 мм
Номінальна	180 мм
Найбільша	200 мм
Число хитань конуса в хвилину	80 об/хв
Частота обертання вала двигуна	590 об/хв
Діаметр ведучого шків	630 мм
Діаметр відомого шків	1600 мм

1.2.4 Агломераційна машина типу АКМ-1,2,3-85/160

Найбільш поширеним методом агломерації є спікання на стрічкових агломераційних машинах безперервної дії, під час якого повітря проходить крізь шар матеріалу, що спікається.

Технічна характеристика агломераційної машини аглофабрики:

- Модель: АКМ-1,2,3-85/160
- Кількість установок: 12 одиниць

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р1	Лист
						11
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- Загальна площа просмокування: 160 м²
- Довжина зони просмокування: 65 м²
- Ширина робочої поверхні: 2,7 м
- Продуктивність: 170 т/год (у тому числі 125 т/год придатного агломерату)
- Швидкість руху палет: від 1,5 до 6,0 м/хв
- Максимальна товщина шару спікаємого матеріалу: 350 мм
- Тип привідного електродвигуна: ДП-52
- Потужність двигуна: 32 кВт
- Частота обертання: 730 об/хв
- Тип тахогенератора: ЕТ-7/110
- Обертова швидкість тахогенератора: 1950 об/хв
- Колосникові решітки: згідно з ТУ 14-12-44-84

1.2.5 Кульовий млин типу МШЦ-45×60

Кульовий рудоподрібнюючий млин типу МШЦ-45×60 — це універсальна та надійна машина, яка широко застосовується в гірничорудній промисловості, а також у суміжних галузях для мокрого подрібнення руд та різноманітних твердих матеріалів.

Машина розрахована на тривалий безперервний режим експлуатації в критих приміщеннях при температурі довкілля від +5 до +40 °С. Температура завантажуваного матеріалу не повинна перевищувати +40 °С.

Продуктивність млина визначається фізико-хімічними властивостями вихідної сировини, схемою збагачення, і точно встановлюється після пусконаладжувальних випробувань на місці експлуатації.

Барабан млина заповнюється сталевими кулями об'ємом до 45% від загального об'єму барабана. Млини МШЦ 45006000, які працюють на третій і четвертій стадіях подрібнення, функціонують у замкнутому циклі з гідроциклонами, і їхня продуктивність залежить від обсягів циркуляційного навантаження. Живлення гідроциклонів формується зі зливів класифікатора та самого млина, а також додатково збагачується водою, подаючись у технологічний зумпф.

Завантаження матеріалу здійснюється через комбінований живильник, а вивантаження подрібненого продукту — через спеціальну горловину. Обертання барабана здійснюється навколо горизонтальної осі.

Процес подрібнення відбувається внаслідок дії сил тертя та відцентрової сили, які притискають середовище (кулі та руда) до внутрішньої стінки барабана. Середовище підіймається, а потім падає, завдяки чому й відбувається подрібнення шляхом удару, стискання та тертя між шарами.

Переміщення руди всередині барабана забезпечується різницею рівнів між завантажувальною та розвантажувальною сторонами, а також безперервною подачею матеріалу. Розвантажувальна цапфа має більший діаметр, ніж завантажувальна, що сприяє ефективному виведенню матеріалу при мокрому подрібненні.

Конструкційні особливості

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р1	Лист
						12
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Млин із гратчастим вивантаженням включає циліндричний барабан із торцевими кришками, відлитими разом із порожнистими цапфами. Цапфи розміщені на підшипниках. Усередину завантажують сталеві кулі діаметром до 120 мм, приблизно на половину об'єму барабана.

Для захисту від зношування внутрішні поверхні барабана та торців футеруються броньованими плитами, які закріплюються болтами. Для обслуговування передбачено оглядові люки. На розвантажувальному кінці встановлена решітка, через яку виводиться подрібнений матеріал. Між решіткою і торцевою кришкою розташовані елеватори — радіальні перегородки, які підіймають пульпу до рівня розвантажувальної цапфи.

Подача первинного матеріалу відбувається через центральний отвір комбінованого живильника, а повернення пісків класифікатора — через спіральний черпак.

Обертання барабана забезпечується електродвигуном через передавальний механізм, який включає малу шестерню на приводному валу і зубчастий вінець на барабані.

Загальна конструкція

Млиновий комплекс складається з самого млина, системи змащення та електрообладнання. Млин є горизонтальним циліндричним барабаном з конусоподібними торцевими стінками, у які інтегровані порожнисті цапфи. Одна з них призначена для завантаження, інша — для розвантаження. Внутрішня поверхня барабана має змінне футерування з бронеплит.

Обертання здійснюється через електропривод, зубчасту передачу та пружну муфту, яка з'єднує проміжний вал із приводною шестернею. Завантаження руди та куль відбувається через пристрій з боку завантаження, а розвантаження — через бутару, яка також виконує функцію сепарації.

Кулі перекочуються, ковзають і падають, тим самим подрібнюючи руду у процесі обертання барабана.

Млини цієї моделі, виготовлені ВАТ «Тяжмаш», демонструють на 10% вищу продуктивність порівняно з аналогами завдяки удосконаленій конструкції барабана та зменшеній металоемності.

Докладні технічні параметри млина МШЦ-45×60 наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики млинів мокрого помелу

Технічні характеристики	Кульові млини					
	МШЦ-3200 × 4500	МШЦ-3600 × 4000	МШЦ-3600 × 5500	МШЦ-4000 × 5500	МШЦ-4500 × 6000	МШЦ-5500 × 6500
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Діаметр барабана внутрішній (без футеровки), D, мм	3200	3600	3600	4000	4430	5500
Довжина барабана (без футеровки), L, мм	4520	4000	5500	5510	6010	6730
Номінальний об'єм барабана, V, м ³ , 5%	32	36	49	60	82	140
Номінальна частота обертання барабана, об/хв	19,72	18,00	16,60	17,20	16,60	13,69

Продовження таблиці 1.4

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.
Ступінь заповнення барабана подрібнюючими тілами, %, не більше	42	42	42	42	42	42
Потужність електродвигуна головного приводу, кВт	900	900	1250	2000	2500	4000
Споживана (розрахункова) потужність, кВт, не більше	720	810	1110	1610	2200	
Габаритні розміри млинів в зборі з приводом через венцову шестерню, мм, не більше:						
- довжина, А	14200	14000	15200	15300	16000	*
- ширина, В	7300	7400	7600	8500	9100	12380
- висота, С	5300	5200	5600	6300	6800	8800
Питома витрата ел.енергії, кВт/м ³ , не більше	22,5	22,5	22,6	26,8	26,8	28,57
Питома маса, т/м ³ , не більше	4,34	4,00	3,30	3,91	3,35	
Напруга мережі, (U _н), В	6000					

1.3 Гальваніка та гальванічне покриття

Гальваніка як метод металообробки — це електрохімічний процес, у якому беруть участь оброблювана деталь, електроліт, два електроди та джерело постійного струму. Електролітом є провідна рідина, з якої під дією електричного струму виділяються металеві іони, що осідають на поверхні деталі, утворюючи тонкий металевий шар. Особливість гальванічного покриття полягає в тому, що воно не просто наноситься на поверхню, а частково проникає в її структуру.

Процес гальванічної обробки поділяється на кілька ключових етапів:

- підготовка електроліту, склад якого підбирається залежно від типу металу й вимог до покриття;
- занурення двох анодів у розчин, підключення їх до позитивного полюсу джерела струму;
- розміщення деталі між анодами, її підключення до негативного полюсу (вона виступає як катод);
- замикання електричного кола.

Під дією струму позитивно заряджені іони металу з електроліту переміщуються до катода — деталі, осідаючи на її поверхні та формуючи рівномірну металеву плівку.

Гальванічне покриття застосовується з різною метою. Наприклад, перед хромуванням деталей спершу покривають шаром нікелю. Основні завдання — захист виробу від корозії, підвищення міцності поверхні та поліпшення зовнішнього вигляду.

Поширеним прикладом є **гальванічне цинкування** чорних металів, яке утворює на поверхні цинковий шар із високою корозійною стійкістю. Такі вироби можуть працювати

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р1	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		14

у вологому середовищі або контактувати з водою (прісною або солоною), не втрачаючи функціональних властивостей. Цинкування забезпечує не тільки фізичний бар'єр, але й електрохімічний захист.

Хромування виконується не лише для антикорозійного захисту, а й для надання поверхні високої твердості, зносостійкості та естетичної привабливості. Подібні функції виконує і **нікелювання**.

Для нанесення гальванічних покриттів використовують однакове обладнання, незалежно від металу, який наноситься. Відмінності полягають у складі електроліту, температурному режимі та параметрах обробки.

Переваги гальваніки:

- можливість покриття деталей зі складною геометрією;
- висока щільність і рівномірна товщина шару;
- відмінне зчеплення (адгезія) металевого шару з основою;
- висока якість захисних і декоративних властивостей при дотриманні технології;
- можливість точно регулювати товщину покриття.

Основне обладнання для гальванічної обробки:

- гальванічні ванни з електролітом, у які поміщають аноди та оброблювану деталь;
- джерело постійного струму з регулюванням напруги;
- нагрівальні пристрої для підтримання потрібної температури розчину;
- насоси для транспортування агресивних середовищ.

1.4 Загальний вид та технічна характеристика хімічного насоса X20/31

Насос X 20/31 — це високопродуктивний відцентровий одноступеневий агрегат горизонтального консольного типу, призначений для тривалої експлуатації в умовах перекачування хімічно агресивних, нейтральних та технологічно складних рідин. Його конструкція орієнтована на високу надійність, гнучкість застосування і легкість обслуговування (див. рис. 1.1, 1.2).

Конструктивні особливості:

Тип насоса: Відцентровий, консольний, горизонтальний, одноступінчастий.

Привід: Передача обертання здійснюється через еластичну пружну муфту, що компенсує незначні осьові та радіальні зміщення між насосом і електродвигуном.

Вал: Герметизація вала може виконуватись:

— одинарним або подвійним торцевим ущільненням (механічне ущільнення для підвищеного ресурсу);

— сальниковим ущільненням — для менш агресивних середовищ.

— Монтаж: Насос і двигун встановлені на єдиній фундаментній плиті, що забезпечує стабільність і спрощує технічне обслуговування.

Сфера застосування.

Модель X 20/31 знаходить широке застосування в наступних галузях:

- Хімічна та нафтохімічна промисловість
- Виробництво лакофарбових матеріалів
- Харчова та фармацевтична промисловість
- Технологічні лінії з агресивними або стерильними середовищами
- Системи циркуляції, перекачування і змішування сировини

Робочі параметри:

- Гранична концентрація твердих включень: не більше 0,1% за об'ємом
- Максимальний розмір твердих частинок: до 0,2 мм
- Густина рідини: до 1300 кг/м³
- Кінематична в'язкість: до 30×10^{-6} м²/с
- Температурний діапазон перекачуваних рідин: від –40 °С до +120 °С (залежно від матеріалу виконання)
- Максимальна температура окремих матеріалів: до +120 °С (при титановому, сталевому чи керамічному виконанні)
- "А" (температура перекачуваної рідини від -40 до + 90 ° С);
- фарфор, кераміка - "Ф".

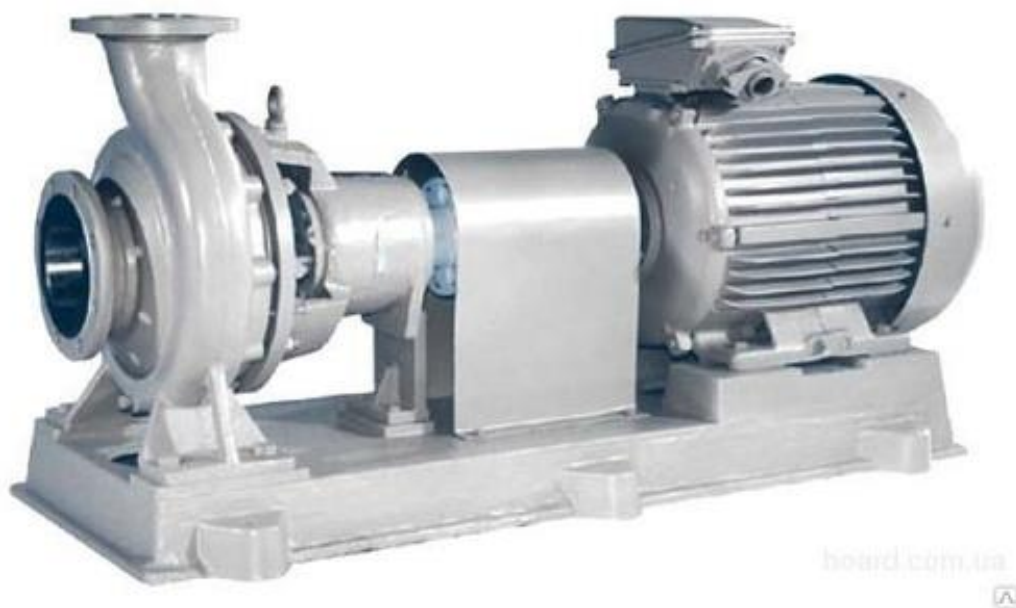
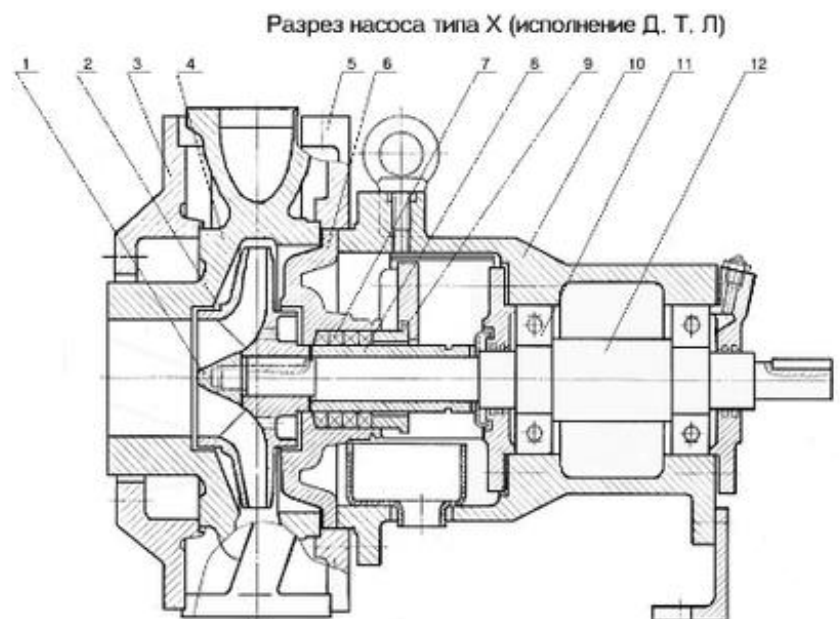
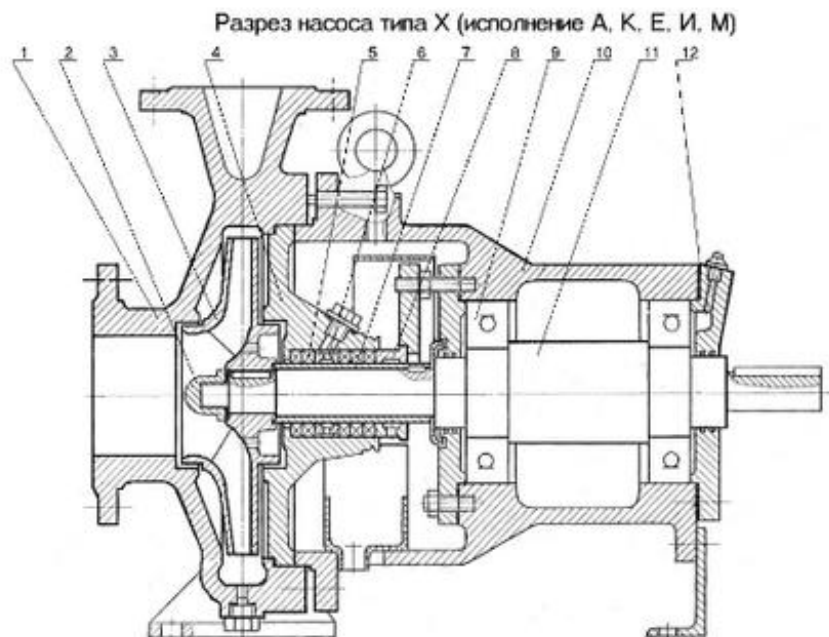


Рисунок 1.1 – Загальний вид насоса з двигуном

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р1	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		16



Основные детали насоса: 1-лейка рабочего колеса, 2-колесо рабочее, 3 и 5-гидравлический фланец, 4-корпус насоса, 6-крышка корпуса (корпус сальника), 7-накладка сальника, 8-штулка защитная, 9-крышка сальника, 10-крестовина, 11-подшипник, 12-сальник.



Основные детали насоса: 1-корпус, 2-лейка рабочего колеса, 3-колесо рабочее, 4-крышка корпуса (корпус сальника), 5-накладка сальника, 6-штулка сальника, 7-штулка защитная, 8-крышка сальника, 9-подшипник, 10-крестовина, 11-вал, 12-сальник.

Рисунок 1.2 – Розріз насоса

Технічна характеристика насоса X 20/31 наведена у табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Технічна характеристика насоса Х 20/31

Технічні характеристики	Од. виміру	Величина
Подача	м ³ /год.	20
Напір рідини, що перекачується	м	32
Потужність двигуна	кВт	4,0
Допустимий кавітаційний запас, не більше	м	4,5
Всмоктувальний патрубок	мм	75
Напірний патрубок	мм	50
Тиск на вході, не більше	МПа	0,3
Тиск на виході, не більше	МПа	1,0
Підпір на всмоктування, не менше	м	0,5
Коефіцієнт корисної дії агрегату	%	64

Приклад маркування насоса: Х 20/31-К-ЦД-У2, де:

Х – вказує на хімічне призначення насоса;

20 – номінальна витрата, м³/год;

31 – номінальний напір, м;

К – позначення матеріалу робочих (проточних) елементів насоса;

ЦД – тип ущільнення насосного вала;

У2 – кліматичне виконання та категорія розміщення згідно з умовами експлуатації.

1.5 Обґрунтування і вибір системи електропривода хімічного насоса Х20/31

Ефективне регулювання роботи центробіжних насосів є ключовим фактором для забезпечення оптимальної продуктивності, економії енергії та продовження терміну служби обладнання. Існує кілька основних способів керування подачею і напором насосної системи, кожен з яких має свої переваги, обмеження і сфери застосування.

1. Дросельне регулювання (за допомогою засувки).

Цей метод полягає у встановленні запірної засувки за насосом для зміни опору напірної магістралі і, відповідно, регулювання напору та подачі системи.

Принцип роботи: При частковому прикритті засувки збільшується опір потоку, тиск у системі підвищується, а подача насоса знижується згідно з його робочою характеристикою.

Переваги:

–Простота конструкції і експлуатації.

–Надійність та доступність.

–Широкий діапазон регулювання подачі.

Недоліки:

–Значні енергетичні втрати через гідравлічний опір у засувці.

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р1	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		18

- Можливий підвищений знос обладнання через збільшення внутрішніх напорів.
- Неекономічний спосіб при частому регулюванні.

2. *Регулювання частоти обертання робочого колеса (зміна швидкості обертання насоса).*

Сучасний і більш ефективний метод, що базується на електронному керуванні швидкістю електроприводу насоса.

Принцип роботи: Зміна швидкості обертання двигуна призводить до пропорційної зміни подачі та напору насоса (згідно з законом куба).

Переваги:

–Відсутність додаткових гідравлічних втрат — енергія споживається строго за фактичним навантаженням.

–Плавне, точне і швидке регулювання в широкому діапазоні.

–Можливість автоматизації процесу.

Вимоги до електроприводу:

–Висока точність регулювання частоти і швидкості.

–Здатність витримувати перевантаження при різних обертах.

–Широкий діапазон швидкостей.

–Можливість пуску під навантаженням.

–Нереверсивність (для насосів, які не потребують зміни напрямку обертання).

–Висока енергоефективність.

Огляд систем електроприводу для насосів

1. *Частотно-регульований електропривод (ПЧ-АД)*

Опис: Використання перетворювачів частоти (ПЧ) для керування асинхронними двигунами шляхом зміни частоти та напруги живлення.

Переваги:

–Висока точність і плавність регулювання швидкості.

–Можливість роботи у широкому діапазоні швидкостей без втрати продуктивності.

–Збереження електричних і механічних характеристик двигуна на рівні, близькому до номінальних.

Недоліки:

–Висока вартість обладнання, особливо для приводів великої потужності.

–Складність системи та необхідність кваліфікованого обслуговування.

Сфера застосування: Високотехнологічні виробництва, де потрібна точна адаптація режимів роботи насоса.

2. *Тиристорний регулятор напруги + асинхронний двигун (ТРН-АД)*

Опис: Регулювання швидкості шляхом зміни напруги живлення двигуна через тиристорні контролери.

Переваги:

–Відносна простота конструкції.

–Надійність в експлуатації.

–Економія на налаштуванні і техобслуговуванні.

Недоліки:

–Обмежений діапазон регулювання швидкості.

–Необхідність підбору двигуна з запасом потужності (на 20–30% більше).

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р1	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		19

–Вищі електричні втрати порівняно з ПЧ-АД.

Сфера застосування: Менш відповідальні системи, де не критична точність регулювання.

Ураховуючи аналіз переваг і недоліків, частотно-регульований електропривод (ПЧ-АД) є оптимальним вибором для сучасних насосних установок, які потребують ефективного, точного та енергозберігаючого регулювання.

–Він дозволяє мінімізувати витрати електроенергії, підвищити довговічність обладнання та автоматизувати процеси керування.

–Незважаючи на вищу початкову інвестицію, довгострокові вигоди від зниження експлуатаційних витрат і підвищення надійності виправдовують вибір ПЧ-АД.

1.6 Вибір приводного двигуна та перетворювача частоти

Згідно значення у якості приводного двигуна обираємо асинхронний двигун 4А100 з технічними параметрами, наведеними в табл. 1.6.

Таблиця 1.6 – Технічні дані приводного двигуна 4А100

Технічні характеристики	Од. виміру	Величина
Тип, серія	-	4А100 з к.з. р-ром
Номинальний струм	-	4 А
Номинальна потужність	кВт	4
Номинальна напруга	В	380
Синхронна частота обертання	об/хв	3000
Ковзання		4
Коефіцієнт корисної дії		86,5
Коефіцієнт потужності	-	0,89
Коефіцієнт кратності пускового струму	-	7,5
Перевантажувальна здатність	-	2,0
Коефіцієнт кратності пускового моменту	-	1,2

Згідно значень , та напруги мережі живлення обираємо струмообмежуючий реактор РТСТ-20,5 з технічними даними, наведеними в табл. 1.7.

Таблиця 1.7 – Технічні дані струмообмежуючого реактора РТСТ-20,5

Технічні характеристики	Од. виміру	Величина
Тип	—	РТСТ
Номинальний струм	А	20,5
Індуктивність	мГн	2,02
Активний опір	Ом	0,265

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1

У даному розділі було здійснено техніко-аналітичне обґрунтування вибору електроприводу для центробіжного хімічного насоса Х20/31. На основі вихідних технологічних параметрів процесу, а також експлуатаційних характеристик насоса, було виконано розрахунок необхідної потужності приводного двигуна.

У результаті перевірного розрахунку підтверджено відповідність характеристик асинхронного двигуна типу 4А100 вимогам технологічного процесу. Обраний електродвигун забезпечує надійний пуск, стабільну роботу у всьому діапазоні навантажень та відповідає умовам довготривалої експлуатації в агресивному середовищі хімічного виробництва.

З урахуванням актуальних вимог до підвищення енергоефективності та гнучкості регулювання, для керування насосною установкою було обрано електропривод змінного струму з частотним керуванням — систему ПЧ-АД (перетворювач частоти – асинхронний двигун). Обґрунтований вибір саме цього типу електроприводу пояснюється наступними перевагами:

- Плавне та безступінчасте регулювання частоти обертання за рахунок використання транзисторного інвертора на базі IGBT-модулів;
- Підвищена енергоефективність завдяки оптимальному споживанню енергії в різних режимах навантаження;
- Компактність та простота обслуговування, характерна як для перетворювача частоти, так і для асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором;
- Надійність, довговічність і низька вартість експлуатації електроприводу;
- Можливість запуску під навантаженням, реалізація м'якого пуску, динамічне гальмування та захист від перевантажень.

В якості силової частини обрано перевірене й ефективне рішення: частотний перетворювач Schneider Electric ATV61H075M3, який оптимально поєднується з двигуном 4А100 по всіх ключових параметрах. Для зниження пульсацій струму та захисту від імпульсних перевантажень в коло введено струмообмежувальний реактор типу РТСТ-20,5.

Загалом запропоноване рішення забезпечує:

- оптимальне енергоспоживання;
- зниження зносу насосного агрегата за рахунок усунення гідроударів при пуску/зупинці;
- підвищення ресурсу двигуна та самого насоса;
- можливість інтеграції з автоматизованими системами керування виробництвом (SCADA, PLC).

Таким чином, система електроприводу ПЧ-АД, реалізована на базі частотного перетворювача ATV61 та асинхронного двигуна 4А100, є технічно обґрунтованим, сучасним і економічно ефективним рішенням для приводу насоса Х20/31 у специфічних умовах гальванічного виробництва.

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р1	Лист
						21
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

Аналіз системи електропривода технологічного механізму

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р2								
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.		Рябченко Н.М.			Аналіз системи електропривода технологічного механізму				Літ.		Арк.	Акрушів	
Перевір.		Барановська М									22	57	
Реценз.									ЕМ гр. ЕЕМ-22ск				
Н. Контр.		Барановська М											
Затверд.		Пересунько І.І.											

2.1 Схема заміщення електропривода та розрахунок статичних характеристик

2.1.1 Розрахунок параметрів схеми заміщення електропривода

На рисунку 2.1 зображена Т-подібна еквівалентна схема заміщення електродвигуна.

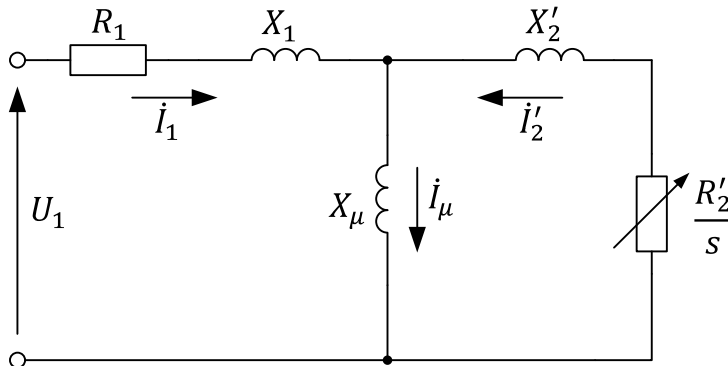


Рисунок 2.1 – Т-подібна еквівалентна схема електропривода

На схемі позначено такі параметри::

U_1 – фазна напруга на вході;

I_1 – струм статора по фазі;

I'_2 – зведений до статора фазний струм ротора;

I_μ – струм, що відповідає процесу намагнічування;

R_1 – активний опір обмотки статора;

R'_2 – зведений активний опір обмотки ротора;

X_1 – реактивний опір обмотки статора;

X'_2 – зведений реактивний опір ротора;

X_μ – реактивний опір магнітного кола (намагнічувального контуру).

Номінальний струм статора становить: $I_{1н} = 7,872$ А.

Розрахунок струму статора за умов навантаження 75% від номінального:

$$I_{11} = \frac{p_* \cdot P_n}{3 \cdot U_{1\phi} \cdot \eta_{p_*} \cdot \cos \varphi_{p_*}} = \frac{0,75 \cdot 4 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,865 \cdot 0,845} = 6,215 \text{ А} \quad (2.1)$$

де $p_* = P / P_n$ – коефіцієнт навантаження АМ;

η_{p_*} – коефіцієнт корисної дії при навантаженні 75% від номінального;

$\cos \varphi_{p_*}$ – коефіцієнт потужності за умов неповного навантаження 75% від номінального.

Переходимо до розрахунку струму холостого ходу АМ:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{11}^2 - \left(\frac{p_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - s_H)}{1 - p_* \cdot s_H} \right)^2}{1 - \left(\frac{p_* \cdot I_{1H} \cdot (1 - s_H)}{1 - p_* \cdot s_H} \right)^2}} = \sqrt{\frac{6,215^2 - \left(\frac{0,75 \cdot 7,872 \cdot (1 - 0,04)}{1 - 0,75 \cdot 0,04} \right)^2}{1 - \left(\frac{0,75 \cdot 7,872 \cdot (1 - 0,04)}{1 - 0,75 \cdot 0,04} \right)^2}} = 3,159 \text{ А} \quad (2.2)$$

де I_{1H} – ном. струм ст-ра АМ;

I_{11} – струм ст-ра за умов навантаження 75% від номінального;

s_H – ном. ковзання АМ.

Переходимо до розрахунку критичного ковзання:

$$s_K = s_H \cdot \frac{k_m + \sqrt{k_m^2 - (1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_m - 1))}}{1 - 2 \cdot s_H \cdot \beta \cdot (k_m - 1)} =$$

$$= 0,04 \cdot \frac{2,0 + \sqrt{2,0^2 - (1 - 2 \cdot 0,04 \cdot 1,3 \cdot (2,0 - 1))}}{1 - 2 \cdot 0,04 \cdot 1,3 \cdot (2,0 - 1)} = 0,168, \quad (2.3)$$

де k_m – перев-на здатність АМ;

$\beta = 0,6 - 2,5$ – коефіцієнт.

Переходимо до розрахунку коефіцієнта C_1 :

$$C_1 = 1 + \frac{I_0}{2 \cdot k_i \cdot I_{1H}} = 1 + \frac{3,159}{2 \cdot 7,5 \cdot 7,872} = 1,027, \quad (2.4)$$

де k_i – кратність струму пускового АМ.

Переходимо до розрахунку коефіцієнта A_1 :

$$A_1 = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot C_1 \cdot k_m \cdot P_H} = \frac{3 \cdot 220^2 \cdot (1 - 0,04)}{2 \cdot 1,027 \cdot 2,0 \cdot 4 \cdot 10^3} = 8,485. \quad (2.5)$$

Переходимо до розрахунку активного опору р-ра, приведенного до обмотки ст-ра АМ:

$$R_2' = \frac{A_1}{\left(\beta + \frac{1}{s_K} \right) \cdot C_1} = \frac{8,485}{\left(1,3 + \frac{1}{0,168} \right) \cdot 1,017} = 1,139. \quad (2.6)$$

Переходимо до розрахунку активного опору обмотки ст-ра:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,027 \cdot 1,139 \cdot 1,3 = 1,52 \text{ Ом.} \quad (2.7)$$

Переходимо до розрахунку параметра γ :

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р2	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		24

$$\gamma = \sqrt{\frac{1}{s_k^2} - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{0,168^2} - 1,3^2} = 5,811. \quad (2.8)$$

індуктивного опору короткого замикання $X_{кн}$:

$$X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 5,811 \cdot 1,027 \cdot 1,139 = 6,797 \text{ Ом.} \quad (2.9)$$

індуктивного опору розсіювання фази:

$$X_2' = 0,58 \cdot \frac{X_{кн}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{6,797}{1,027} = 3,839 \text{ Ом.} \quad (2.10)$$

індуктивного опора розсіювання фази статорної обмотки:

$$X_1 = 0,42 \cdot X_{кн} = 0,42 \cdot 6,797 = 2,855 \text{ Ом.} \quad (2.11)$$

ЕРС ланки намагнічування E_μ :

$$E_\mu = \sqrt{(U_{1\phi} \cdot \cos \varphi_n - R_1 \cdot I_{1н})^2 + (U_{1\phi} \cdot \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_n} - X_1 \cdot I_{1н})^2} =$$

$$= \sqrt{(220 \cdot 0,89 - 1,52 \cdot 7,872)^2 + (220 \cdot \sqrt{1 - 0,89^2} - 2,855 \cdot 7,872)^2} = 199,631 \text{ В} \quad (2.12)$$

Переходимо до розрахунку індуктивного опору контуру намагнічування:

$$X_\mu = \frac{E_\mu}{I_0} = \frac{199,631}{3,159} = 63,193 \text{ Ом.} \quad (2.13)$$

еквівалентної індуктивності ст-ра:

$$L_1 = \frac{X_1 + X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_n} = \frac{2,855 + 63,193}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,21 \text{ Гн.} \quad (2.14)$$

еквівалентної індуктивності р-ра:

$$L_2 = \frac{X_2' + X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_n} = \frac{3,839 + 63,193}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,213 \text{ Гн.} \quad (2.15)$$

індуктивності розсіювання:

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_n} = \frac{63,193}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,201 \text{ Гн.} \quad (2.16)$$

коефіцієнта розсіювання:

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р2	Лист
						25
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\sigma = 1 - \frac{L_{\mu}^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{0,201^2}{0,21 \cdot 0,213} = 0,098. \quad (2.17)$$

Переходимо до розрахунку еквівалентного опору системи ЕП:

$$R_e = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_{\mu}^2}{L_2^2} + 2 \cdot R_{cop} = 1,52 + 1,139 \cdot \frac{0,201^2}{0,213^2} + 2 \cdot 0,265 = 3,063 \text{ Ом}. \quad (2.18)$$

де R_{cop} – активний опір реактора струмообмежуючого.

Переходимо до розрахунку потокозчеплення АМ:

$$\psi_{2n} = \sqrt{2} \cdot I_0 \cdot L_{\mu} = \sqrt{2} \cdot 3,159 \cdot 0,201 = 0,899 \left(\frac{B \cdot c}{pad} \right). \quad (2.19)$$

2.1.2 Розрахунок та побудова природної механічної характеристики АД

Для навантаження з вентиляторним типом моменту на валу напруга на статорі слід регулювати пропорційно квадрату частоти. Враховуючи це, вибираємо такий закон регулювання:

$$\frac{U}{f^2} = const. \quad (2.20)$$

Переходимо до розрахунку номінальної швидкості обертання АМ:

$$n_n = n_0 \cdot (1 - s_n) = 3000 \cdot (1 - 0,04) = 2880 \text{ об/хв}. \quad (2.21)$$

номінальної кутової швидкості:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{3,14 \cdot 2880}{30} = 301,593 \text{ рад/с} \quad (2.22)$$

номінального моменту АМ:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{4 \cdot 10^3}{301,593} = 13,263 \text{ Нм} \quad (2.23)$$

критичного моменту двигуна:

$$M_k = k_m \cdot M_n = 2,0 \cdot 13,263 = 26,526 \text{ Нм} \quad (2.24)$$

Переходимо до розрахунку природної механічної хар-ки АМ:

$$M = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + \alpha \cdot s_k)}{\frac{s}{s_k} + \frac{s_k}{s} + 2 \cdot \alpha \cdot s_k}, \quad (2.25)$$

$$\text{де } \alpha = \frac{R_1}{R_2'} = \frac{1,52}{1,139} = 1,335. \text{ – коефіцієнт.}$$

Переходимо до побудови природної мех. хар-ки АМ (рис. 2.2).

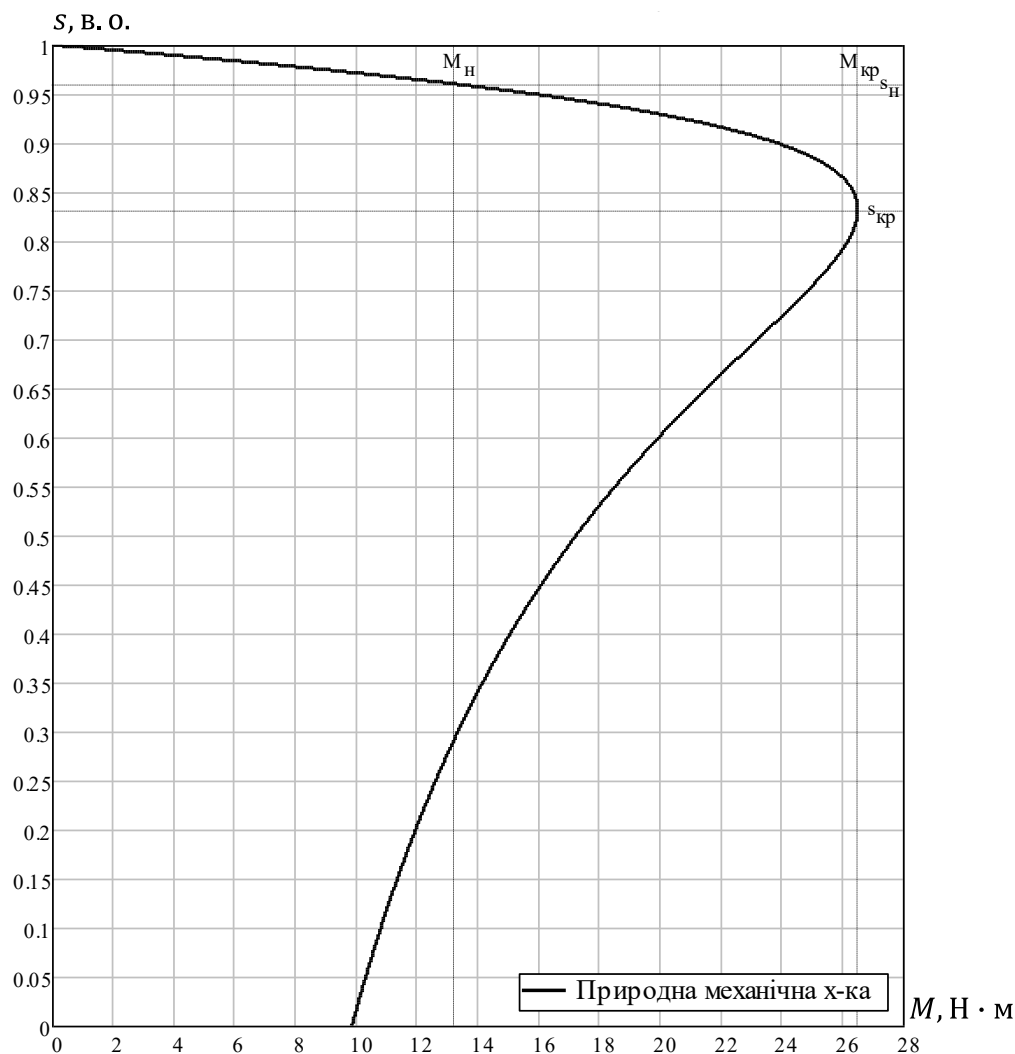


Рисунок 2.2 – Отримана природна механічна хар-ка АМ

2.1.3 Розрахунок і графічне відображення механічних характеристик електропривода з ПЧ та АМ

Переходимо до розрахунку механічної характеристики АД:

$$M = \frac{3 \cdot \left(U_{1\phi} \cdot (f^*)^2 \right)^2 \cdot R_2' \cdot \frac{\omega_0 \cdot f^*}{\omega_0 \cdot f^* - \omega}}{\omega_0 \cdot f^* \cdot \left(\left(R_1 + R_2' \cdot \frac{\omega_0 \cdot f^*}{\omega_0 \cdot f^* - \omega} \right)^2 + (X_{кн} \cdot f^*)^2 \right)}, \quad (2.26)$$

де $f^* = \frac{f}{f_n}$. - частота у відносних одиницях.

Переходимо до побудови механічних характеристик АД $\omega = f(M)$ при різних частотах (рис. 2.3).

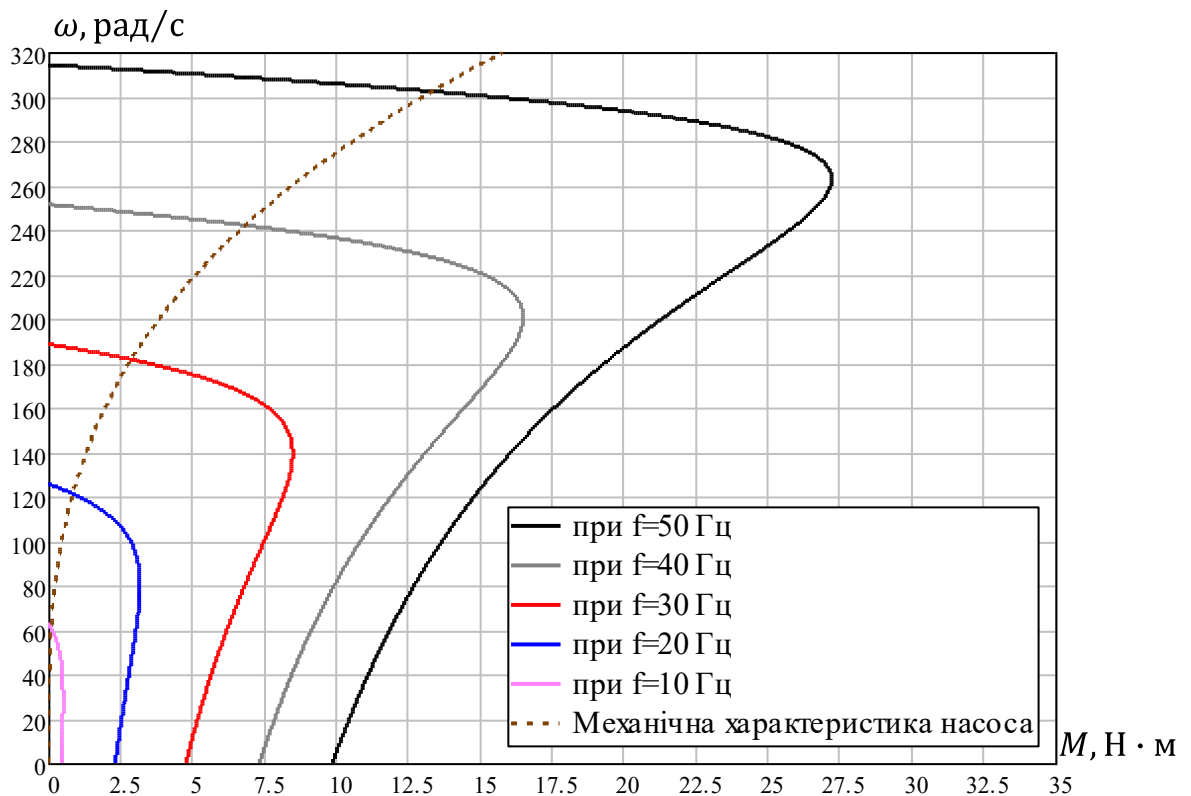


Рисунок 2.3 – Отримані механічні характеристики $\omega = f(M)$

2.1.4 Розрахунок і графічне відображення характеристик швидкості електропривода

Переходимо до розрахунку швидкісної характеристики АД:

$$I_2' = \frac{U_{1\phi} \cdot (f^*)^2}{\sqrt{\left(R_1 + R_2' \cdot \frac{\omega_0 \cdot f^*}{\omega_0 \cdot f^* - \omega} \right)^2 + (X_{\kappa\kappa} \cdot f^*)^2}}. \quad (2.27)$$

Переходимо до побудови швидкісних характеристик АД при різних частотах (рис. 2.4).

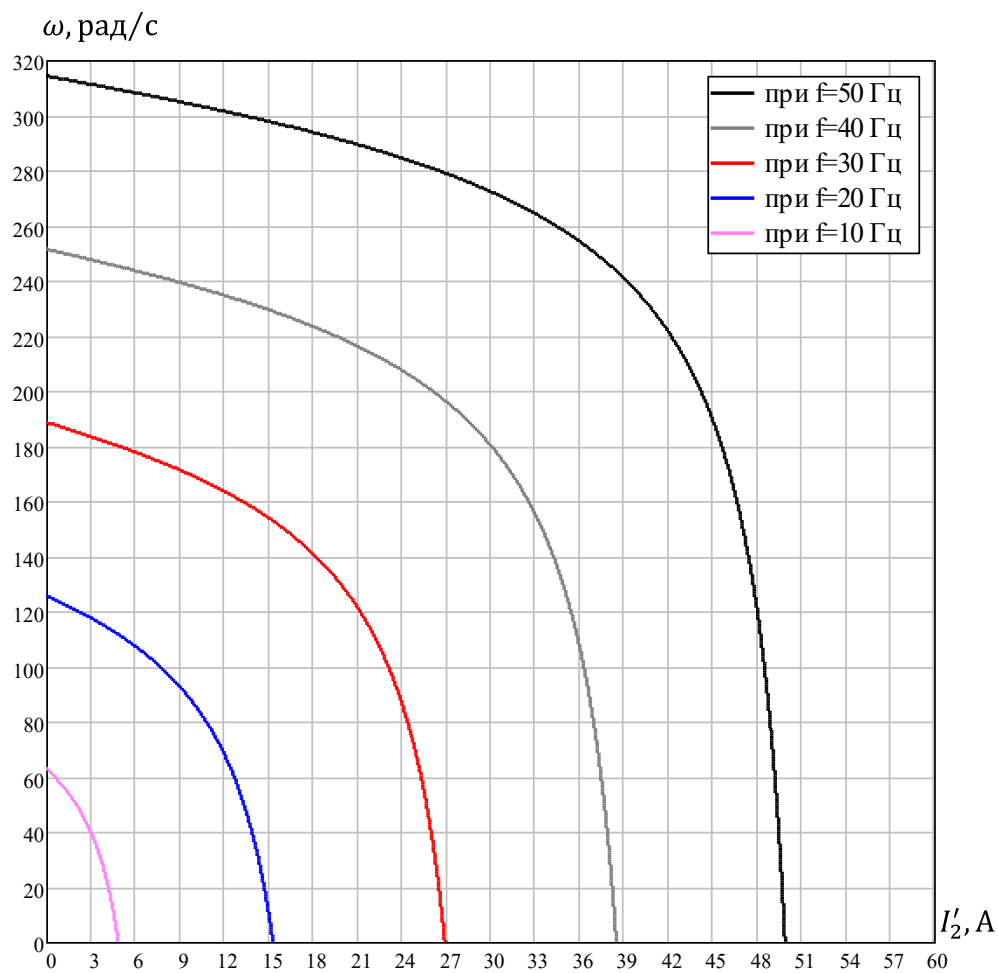


Рисунок 2.4 – Отримані швидкісні характеристики

2.2 Розрахунок і графічне відображення енергетичних характеристик електропривода

Переходимо до розрахунку ККД:

$$\eta = \frac{M \cdot \omega}{M \cdot \omega + \Delta P_{\Sigma}}, \quad (2.28)$$

де $\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{змін}}$ – загальні втрати потужності:

Постійні втрати потужності АМ:

$$\Delta P_{\text{пост}} = \Delta P_{\text{мехн}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_n} \right)^2 = k_{\text{мех}} \cdot P_n \cdot \frac{1-s(f)}{1-s_n} = k_{\text{мех}} \cdot P_n \cdot \frac{1 - \frac{\omega_0 \cdot f^* - \omega}{\omega_0 \cdot f^*}}{1-s_n}, \quad (2.29)$$

Змінні втрати потужності АМ:

$$\Delta P_{\text{змін}} = M_n \cdot \frac{\omega_0 \cdot f^* - \omega}{\omega_0 \cdot f^*} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) + 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1. \quad (2.30)$$

Переходимо до побудови енергетичних характеристик АД $\eta = f(\omega)$ (рис. 2.5).

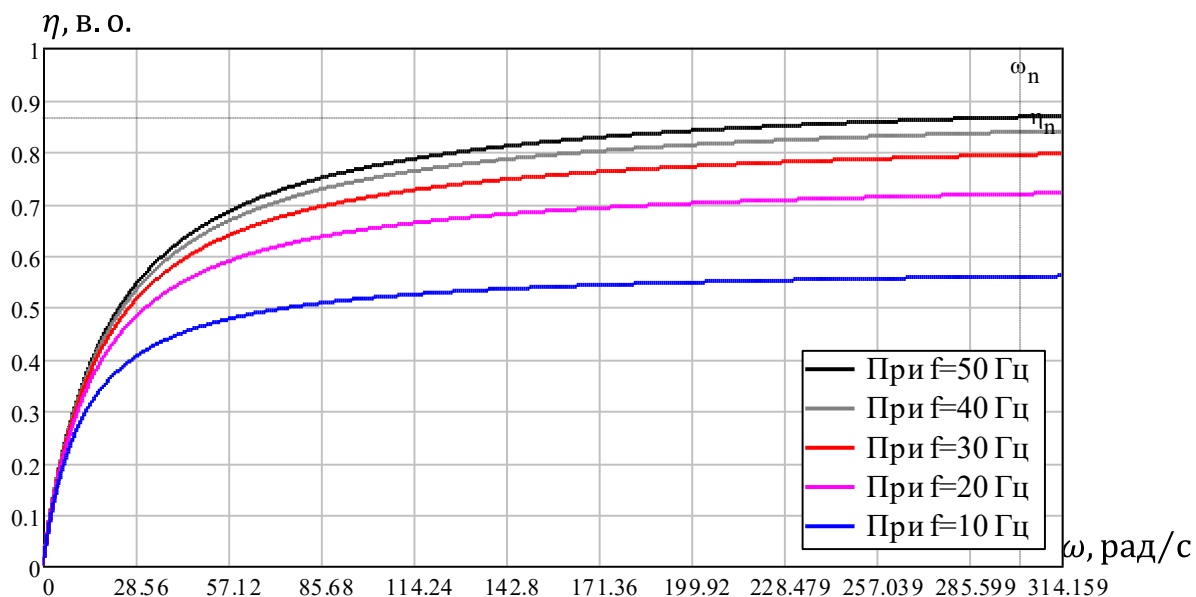


Рисунок 2.5 – Отримані характеристики $\eta = f(\omega)$

Переходимо до розрахунку коефіцієнта потужності:

$$\cos \varphi = \frac{\frac{M \cdot \omega}{\eta}}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \cdot f^*}. \quad (2.31)$$

Переходимо до побудови енергетичних характеристик АД $\cos \varphi = f(\omega)$ (рис. 2.6).

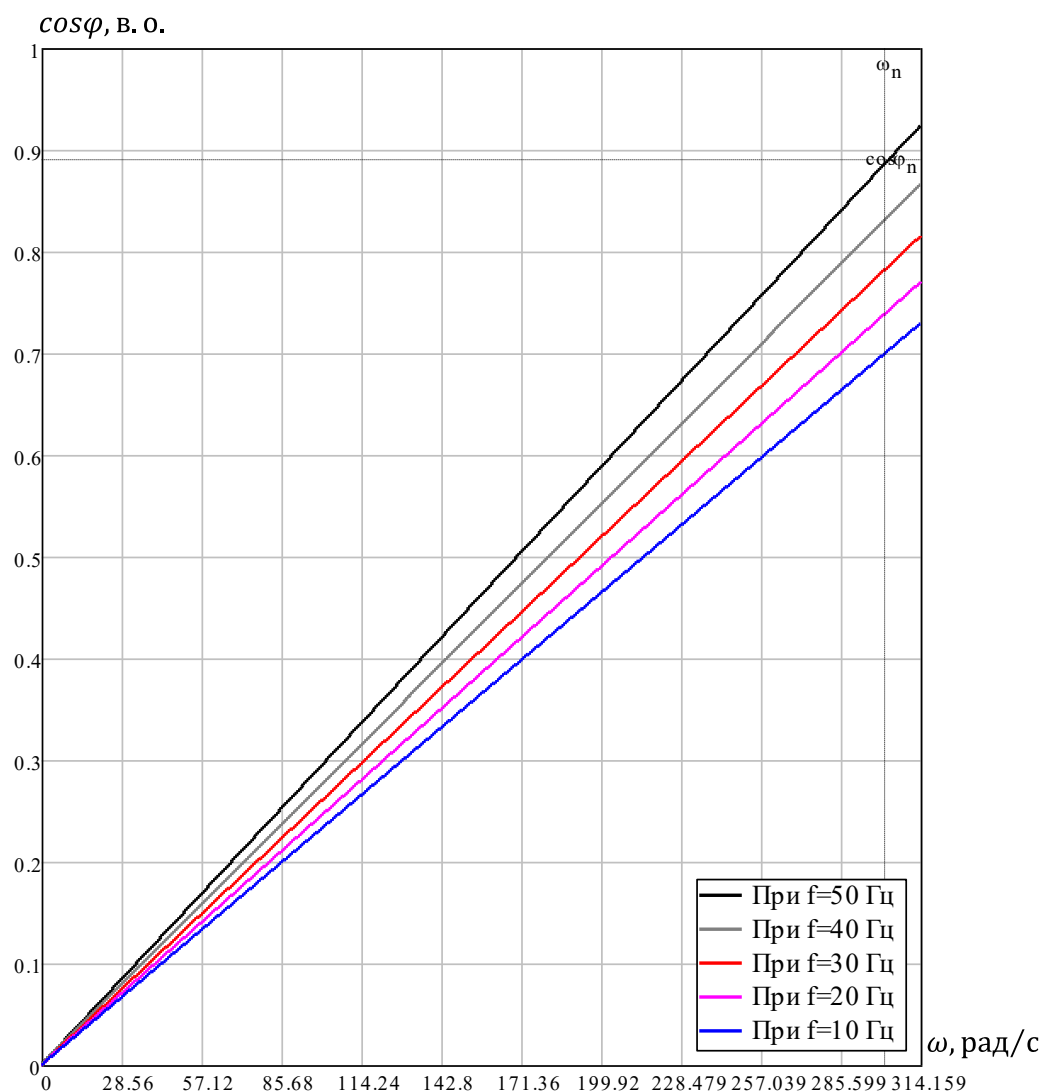


Рисунок 2.6 – Отримані характеристики $\cos \varphi = f(\omega)$

2.3 Перехідні процеси в системі ПЧ-АД гальванічного насоса (розімкнена система)

Для подальшого аналізу динаміки побудуємо структурну схему електропривода на базі системи ПЧ-АД, що подана на рисунку 2.7.

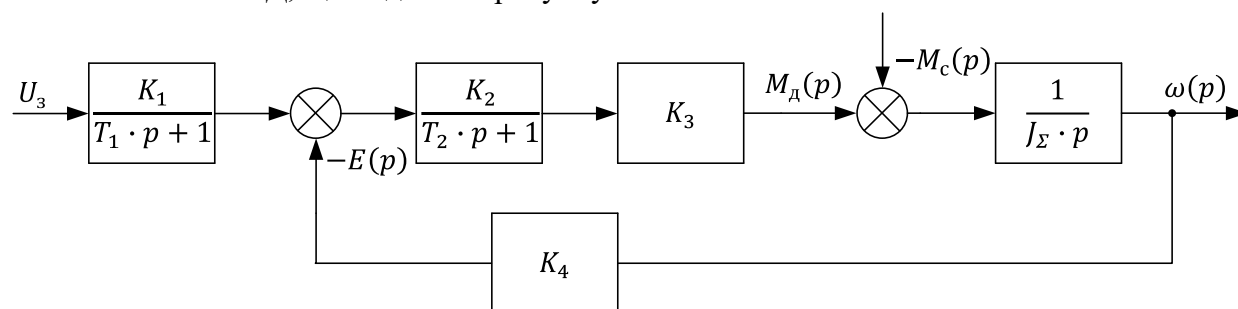


Рисунок 2.7 – Структурна схема електропривода системи ПЧ-АД

Переходимо до розрахунку:

коефіцієнт підсилення перетворювача:

$$K_1 = \frac{U_n}{U_{3n}} = \frac{380}{10} = 38, \quad (2.32)$$

електромагнітної сталої часу:

$$T_2 = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_e} = \frac{0,098 \cdot 0,21}{3,063} = 0,007 \text{ с.} \quad (2.33)$$

коефіцієнта АМ:

$$K_2 = \frac{1}{R_e} = \frac{1}{3,063} = 0,326 \text{ См.} \quad (2.34)$$

коефіцієнта моменту:

$$K_3 = \frac{3 \cdot \sqrt{2} \cdot U_n}{\pi \cdot \omega_0} = \frac{3 \cdot \sqrt{2} \cdot 380}{3,14 \cdot 314,159} = 1,634 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}. \quad (2.35)$$

коефіцієнта ЕРС:

$$K_4 = K_3 = 1,634 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}. \quad (2.36)$$

моменту інерції (сумарного):

$$J_\Sigma = 8,75 \cdot \frac{P_n}{n_0^2} = 8,75 \cdot \frac{4 \cdot 10^3}{3000^2} = 0,004 \text{ кг} \cdot \text{м}^2. \quad (2.37)$$

механічної сталої часу:

$$T_1 = \frac{J_\Sigma \cdot R_e}{K_3^2} = \frac{0,004 \cdot 3,063}{1,634^2} = 0,004 \text{ с.} \quad (2.38)$$

Переходимо до побудови моделі у пакеті MATLAB (рис. 2.8).

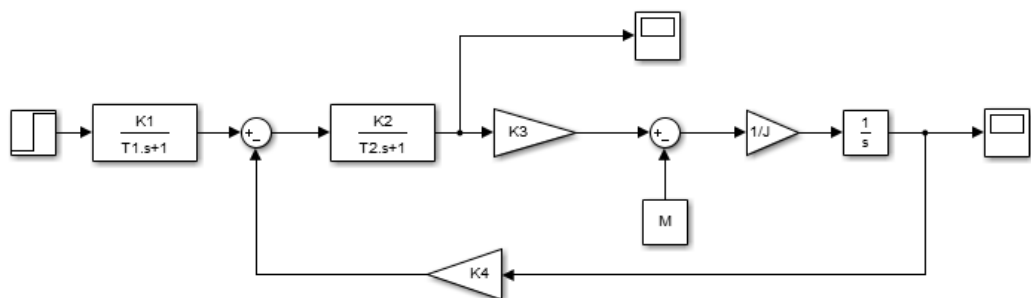


Рисунок 2.8 – MATLAB: розробка моделі ПЧ-АД гальванічного насоса

Умови моделювання

Моделювання виконується для таких робочих режимів:

1. запуск двигуна при номінальному навантаженні;
2. розгін за постійного статичного моменту;
3. уповільнення за постійного статичного моменту;

4. збільшення навантаження;
5. зменшення навантаження.

Тривалість моделювання становить 10 с. Час прикладання навантаження, розгону та гальмування – по 5 с.

Переходимо до побудови графіків ПП для вище перелічених режимів.

1) запуск двигуна при номінальному навантаженні $U_s = 10 В$ і $M_c = 13,263 Н \cdot м$ (рис. 2.9 та рис. 2.10).

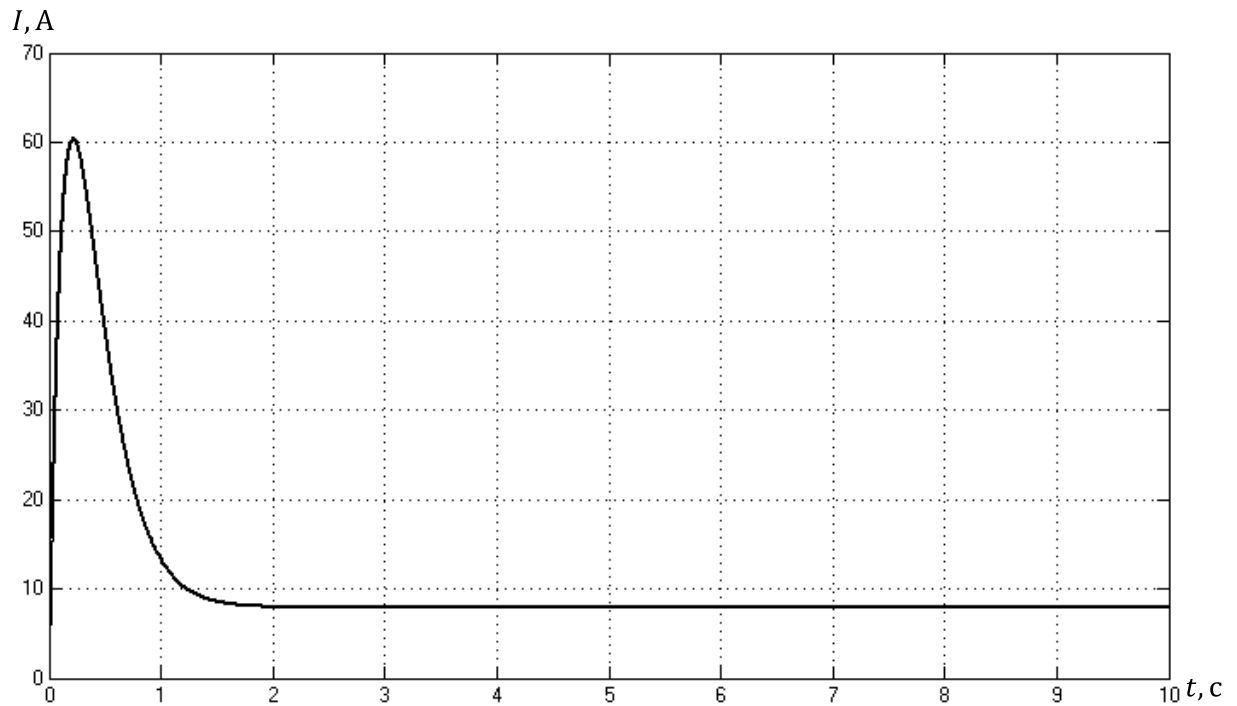


Рисунок 2.9 – Перехідний процес $I = f(t)$

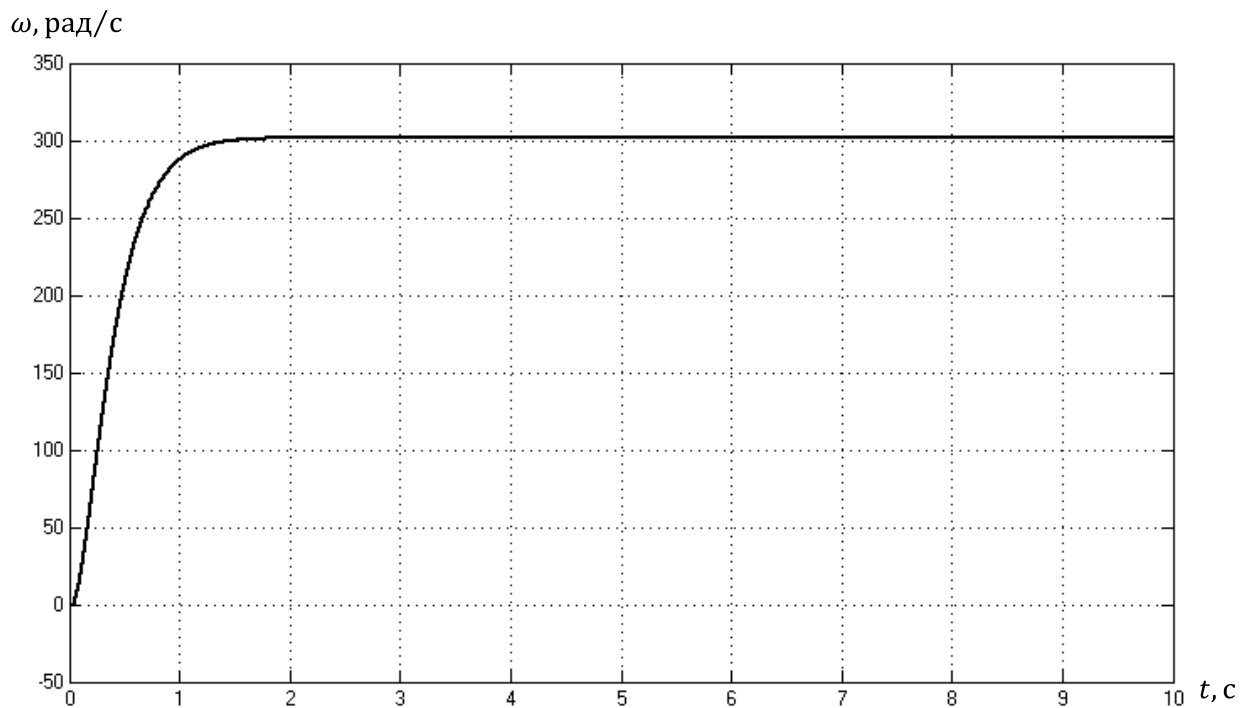


Рисунок 2.10 – Перехідний процес $\omega = f(t)$

2) розгін за постійного статичного моменту U_3 від $5B$ до $10B$, $M_c = 13,263 H \cdot m$ (рис. 2.11 та рис. 2.12).

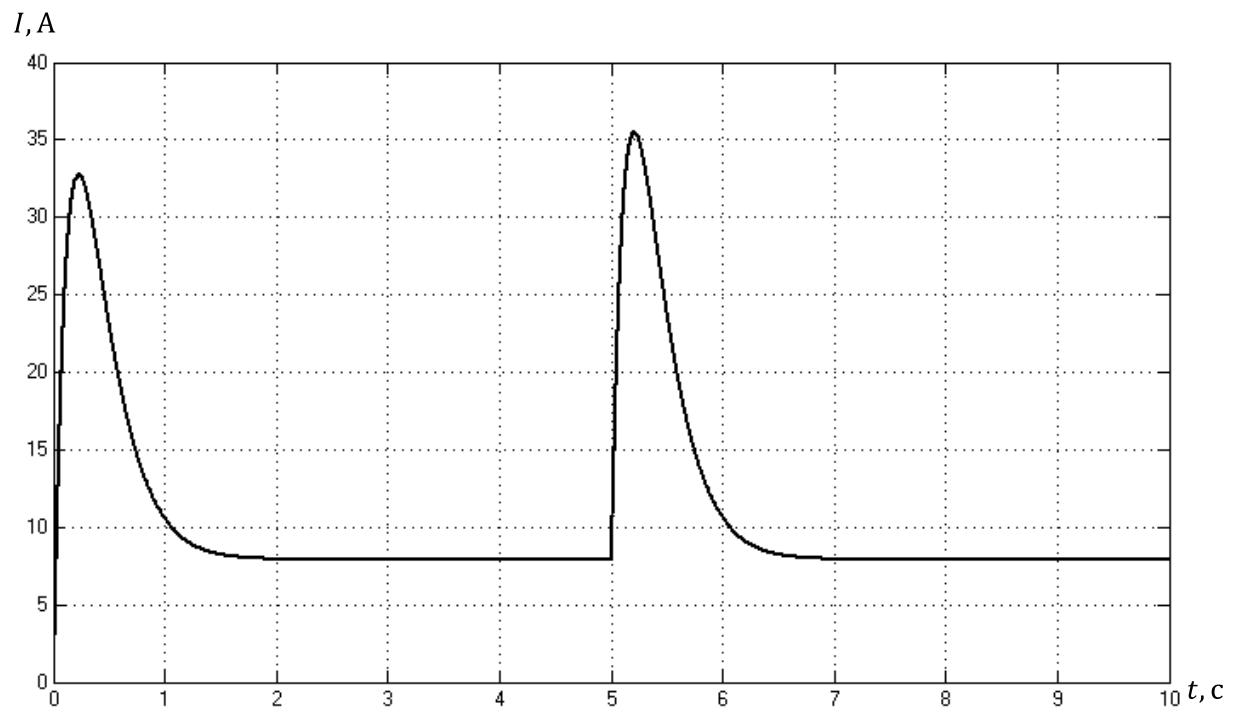


Рисунок 2.11 – Перехідний процес $I = f(t)$

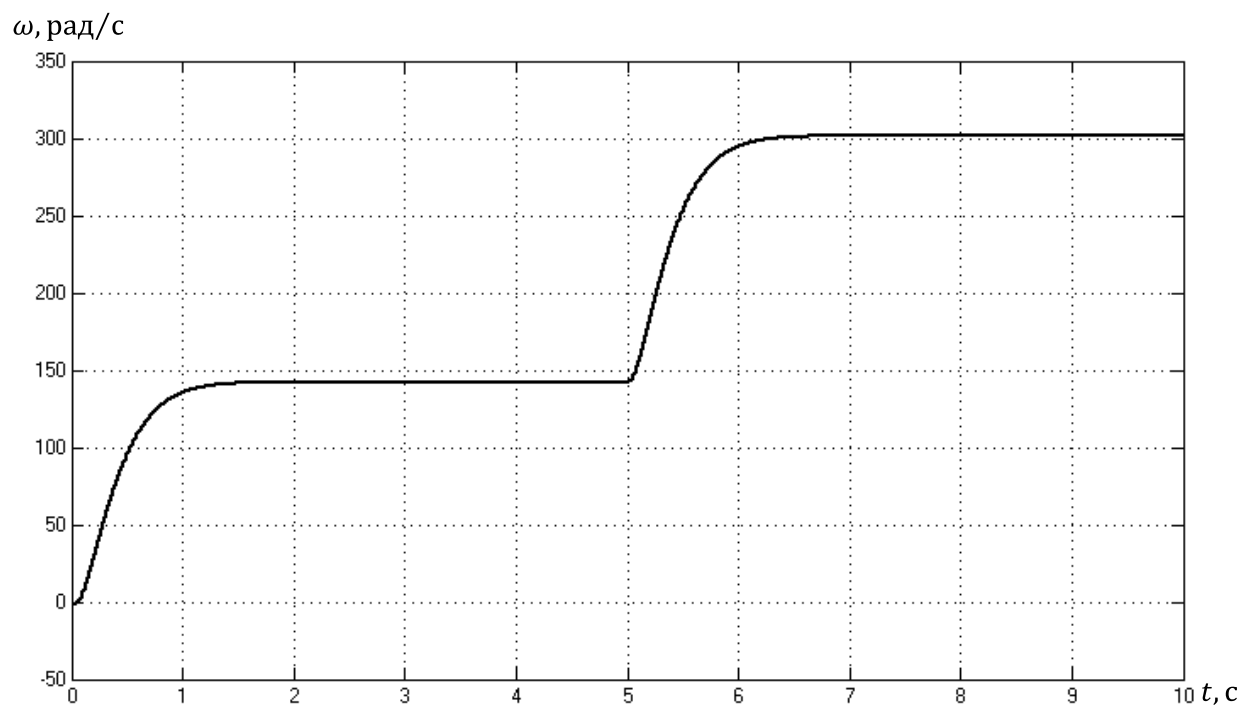


Рисунок 2.12 – Перехідний процес $\omega = f(t)$

3) уповільнення за постійного статичного моменту U_3 від $10B$ до $5B$
 $M_c = 13,263 \text{ Н} \cdot \text{м}$ (рис. 2.13 та рис. 2.14).

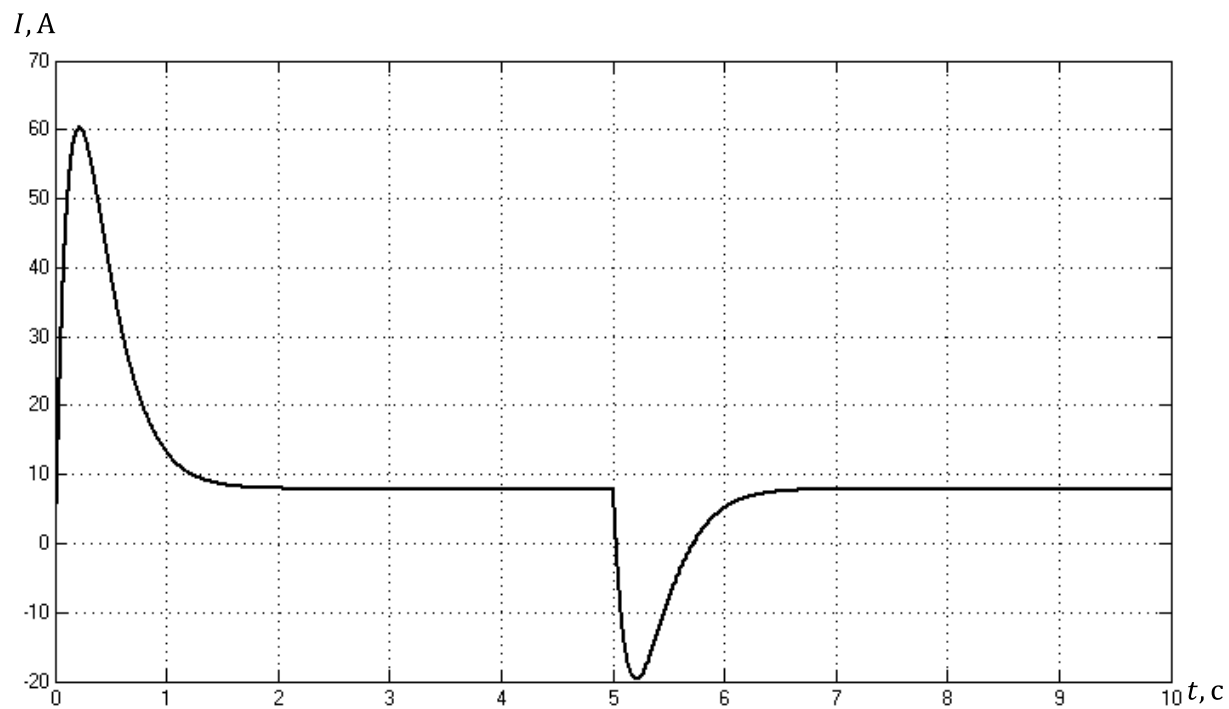


Рисунок 2.13 – Перехідний процес $I = f(t)$

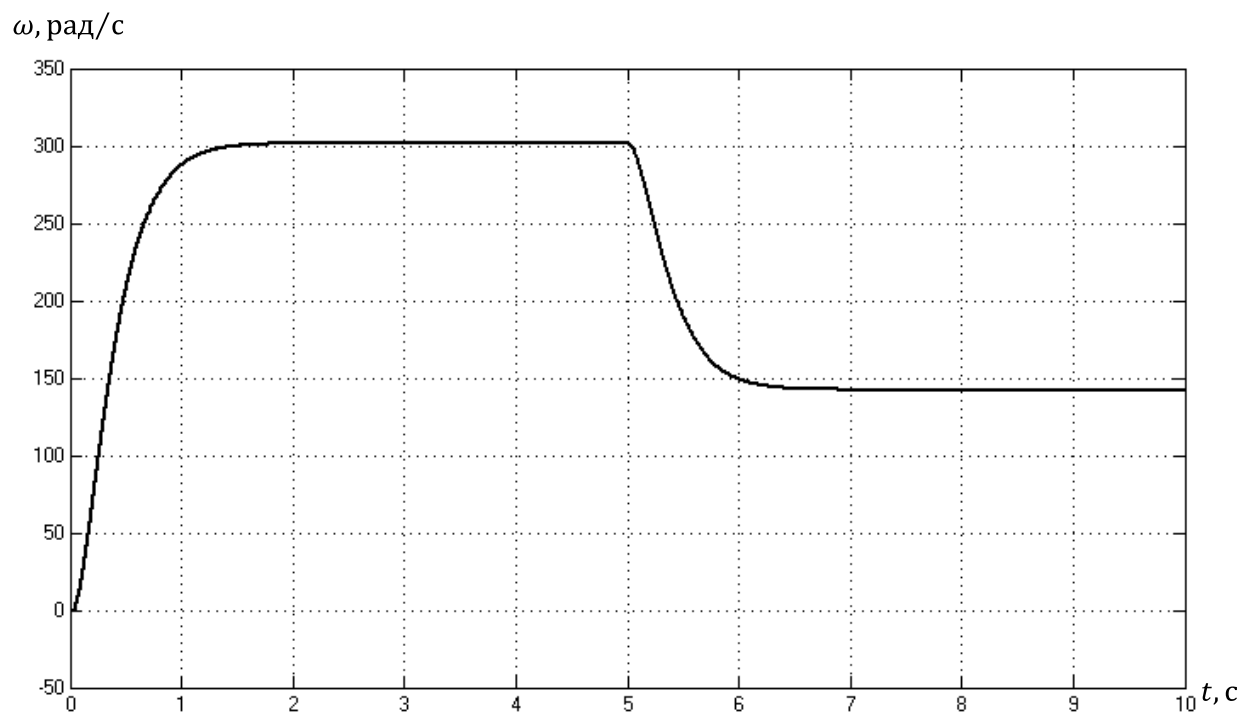


Рисунок 2.14 – Перехідний процес $\omega = f(t)$

4) збільшення навантаження $U_z = 10B$ і зростанні статичного моменту M_c від 0 до $13,263H \cdot m$ (рис. 2.15 та рис. 2.16).

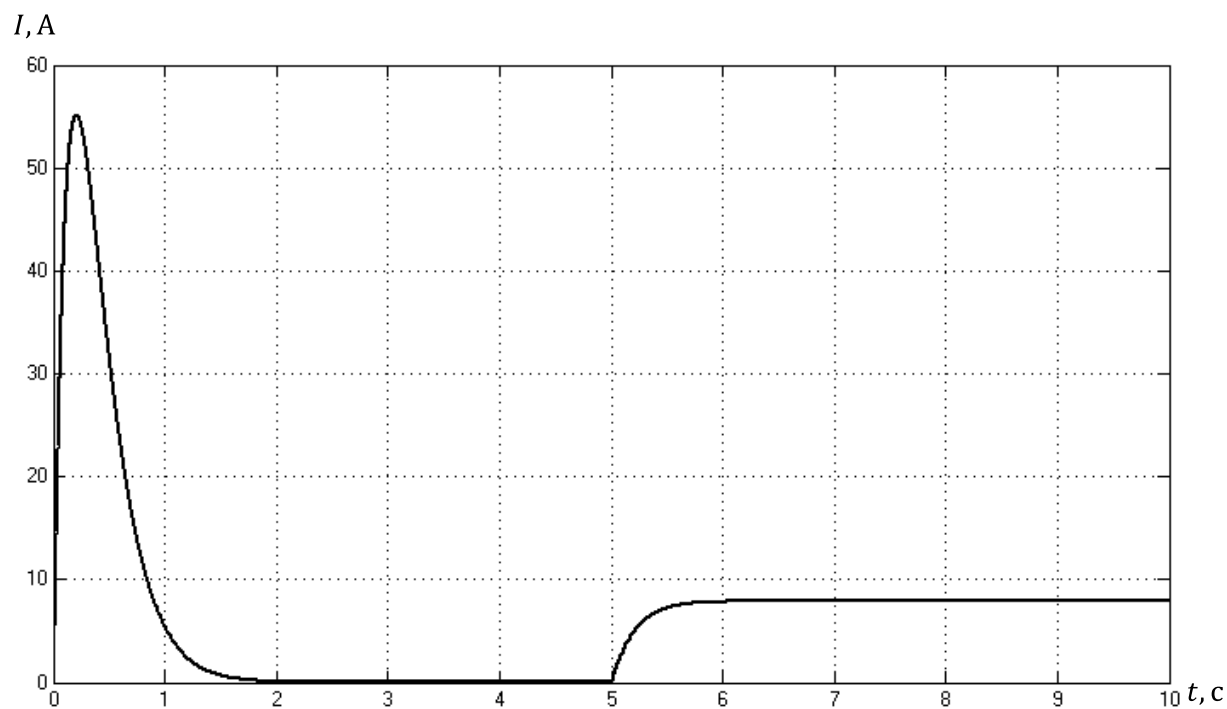


Рисунок 2.15 – Перехідний процес $I = f(t)$

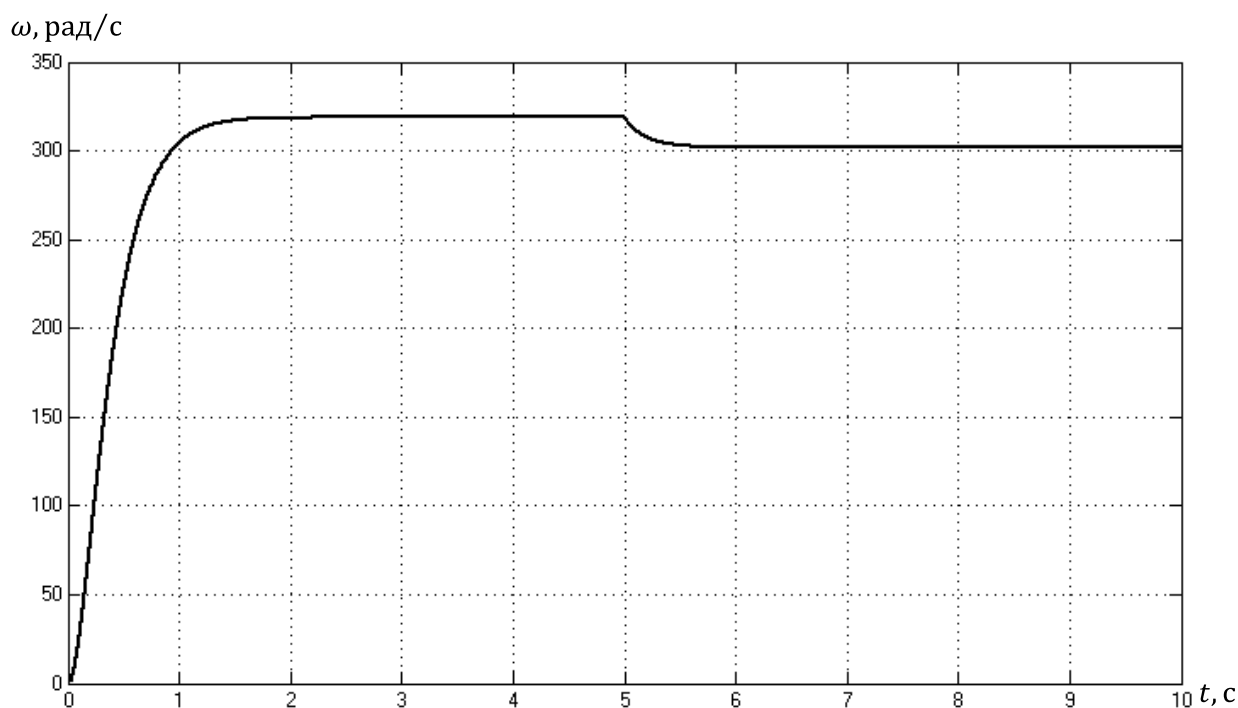


Рисунок 2.16 – Перехідний процес $\omega = f(t)$

5) зменшення навантаження $U_z = 10B$ і зменшенні статичного моменту M_c від $13,263H \cdot m$ до 0 (рис. 2.17 та рис. 2.18).

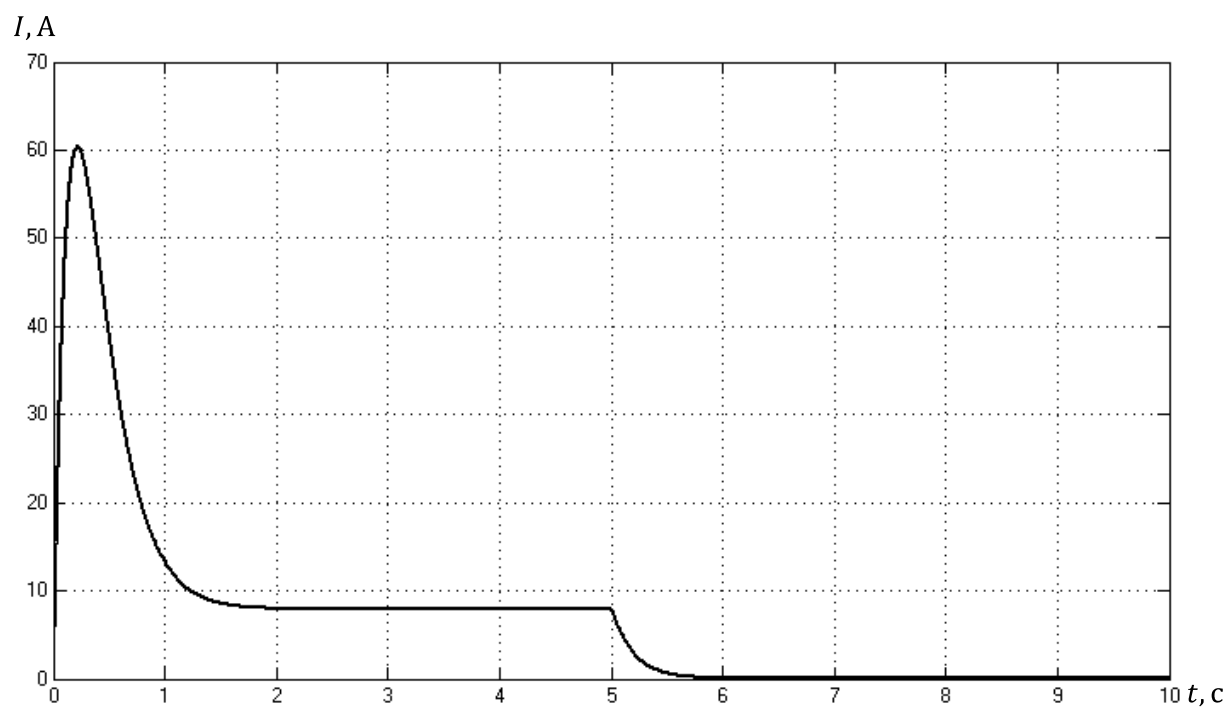


Рисунок 2.17 – Перехідний процес $I = f(t)$

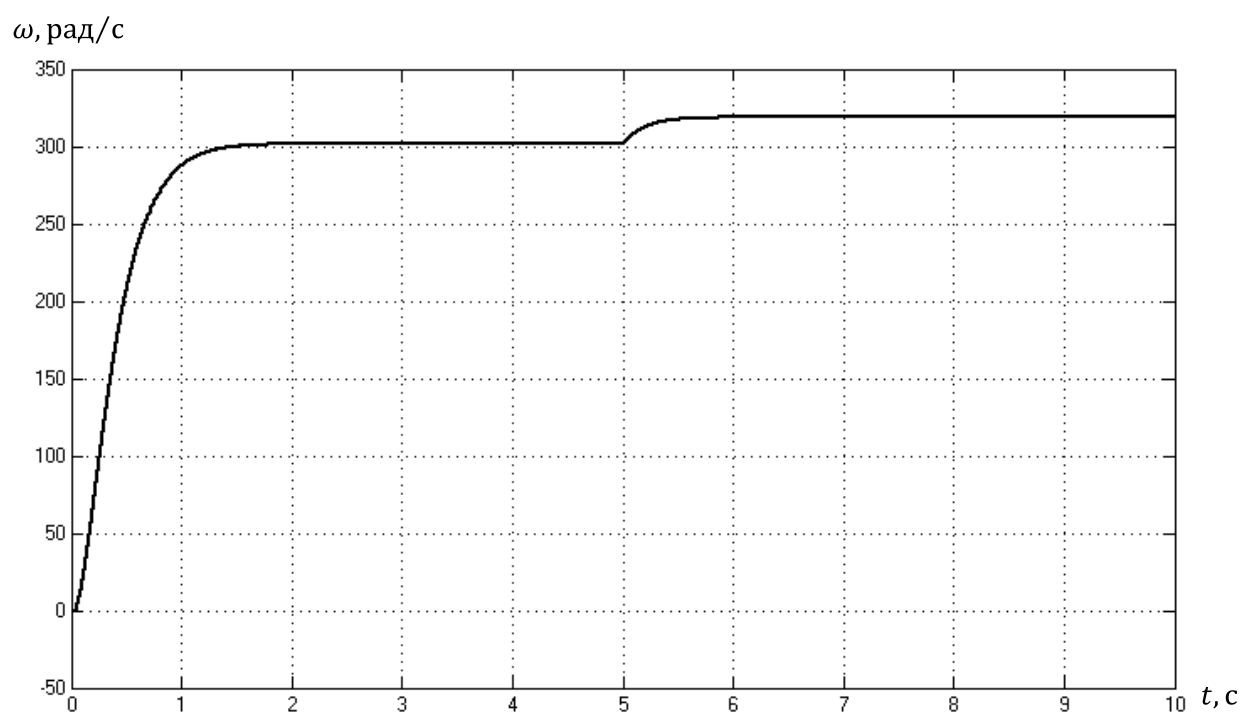


Рисунок 2.18 – Перехідний процес $\omega = f(t)$

2.4 Перехідні процеси в системі ПЧ-АД гальванічного насоса (замкнена система)

Передавальна функція регулятора струму:

$$W_{pc}(p) = \frac{3,063 \cdot (0,007 \cdot p + 1)}{2 \cdot 0,005 \cdot p \cdot 38 \cdot 0,635} = 0,0854 + \frac{12,7}{p} = K_{npc} + \frac{K_{ipc}}{p}. \quad (2.39)$$

Передавальна функція регулятора швидкості:

$$W_{пу}(p) = \frac{L_2 \cdot K_{oc} \cdot J_{\Sigma}}{6 \cdot T_n \cdot \psi_2 \cdot K_{du} \cdot z_p \cdot L_{\mu}}, \quad (2.40)$$

$$W_{пу}(p) = \frac{0,213 \cdot 0,635 \cdot 0,004}{6 \cdot 0,005 \cdot 0,899 \cdot 0,033 \cdot 1 \cdot 0,201} = 2,931. \quad (2.41)$$

2.4.1 Розрахунок і графічне відображення статичних характеристик

Рівняння системи ω у статичному режимі ($p = 0$):

$$\omega = \frac{U_z}{K_{du}} - \frac{R_e \cdot 2 \cdot T_n}{T_1 \cdot \kappa \Phi} \cdot I_c = \omega_0 - \Delta \omega_0. \quad (2.42)$$

Будуємо сімейство статичних характеристик для замкненої системи на рис. 2.19.

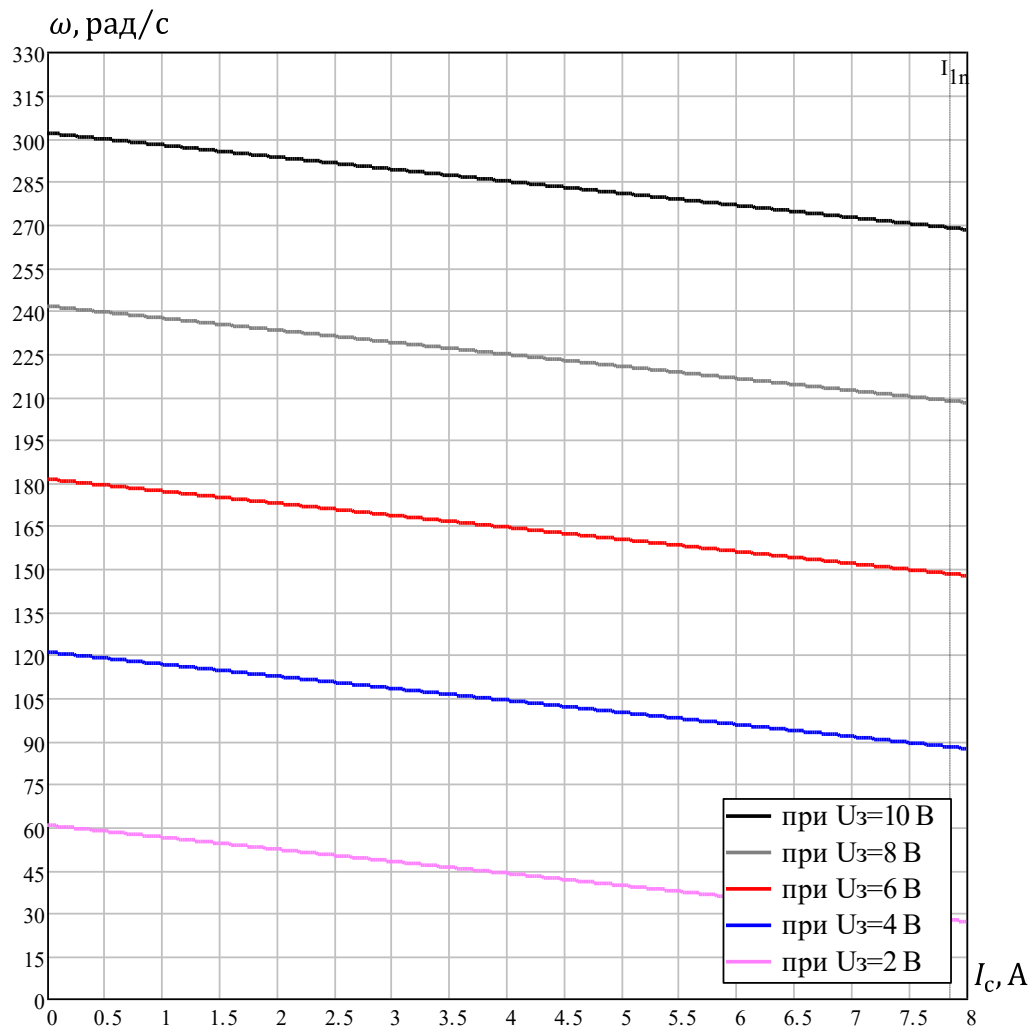


Рисунок 2.19 – Статичні характеристики замкненої системи

2.4.2 Розрахунок і графічне відображення перехідних процесів

Математична модель замкненої системи електропривода гальванічного насоса за системою ПЧ-АД у середовищі MATLAB показана на рис. 2.20.

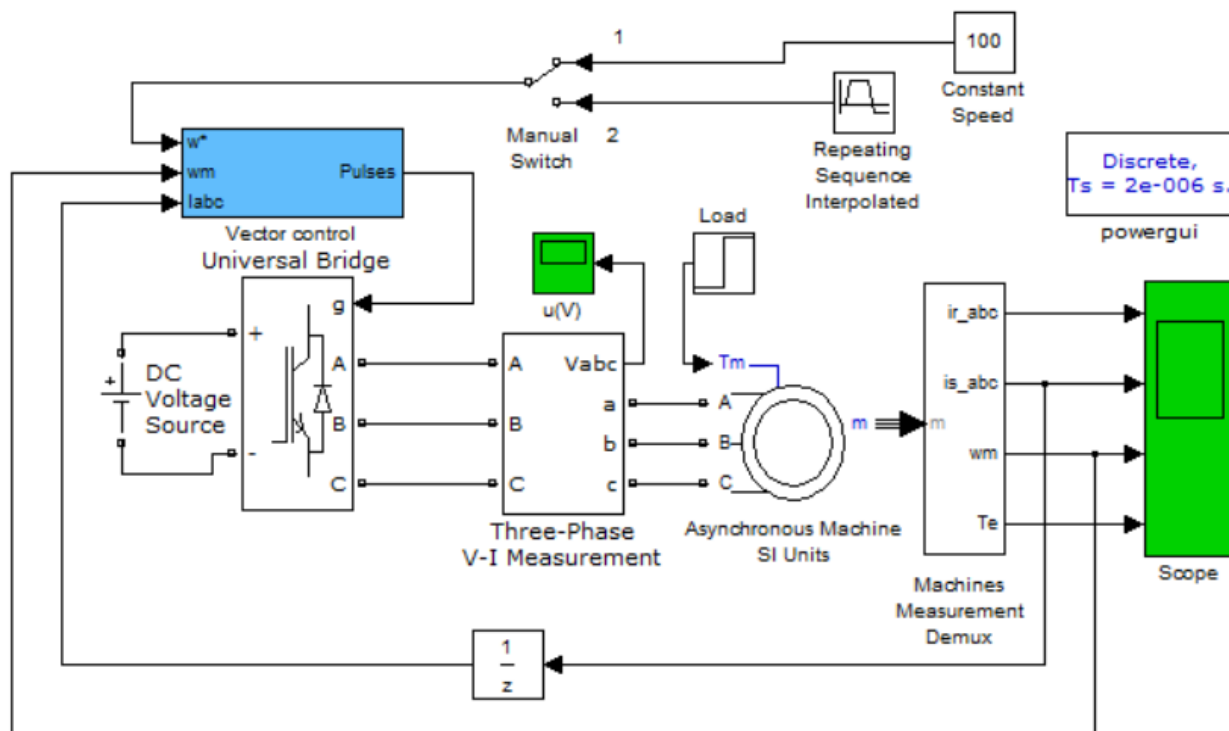


Рисунок 2.20 – Модель ПЧ-АД гальванічного насоса в MATLAB

Умови моделювання аналогічні до попередньо розглянутих робочих режимів.

1) запуск двигуна при номінальному навантаженні $U_s = 10\text{ В}$ і $M_c = 13,263\text{ Н} \cdot \text{м}$ (рис. 2.21 та рис. 2.22).

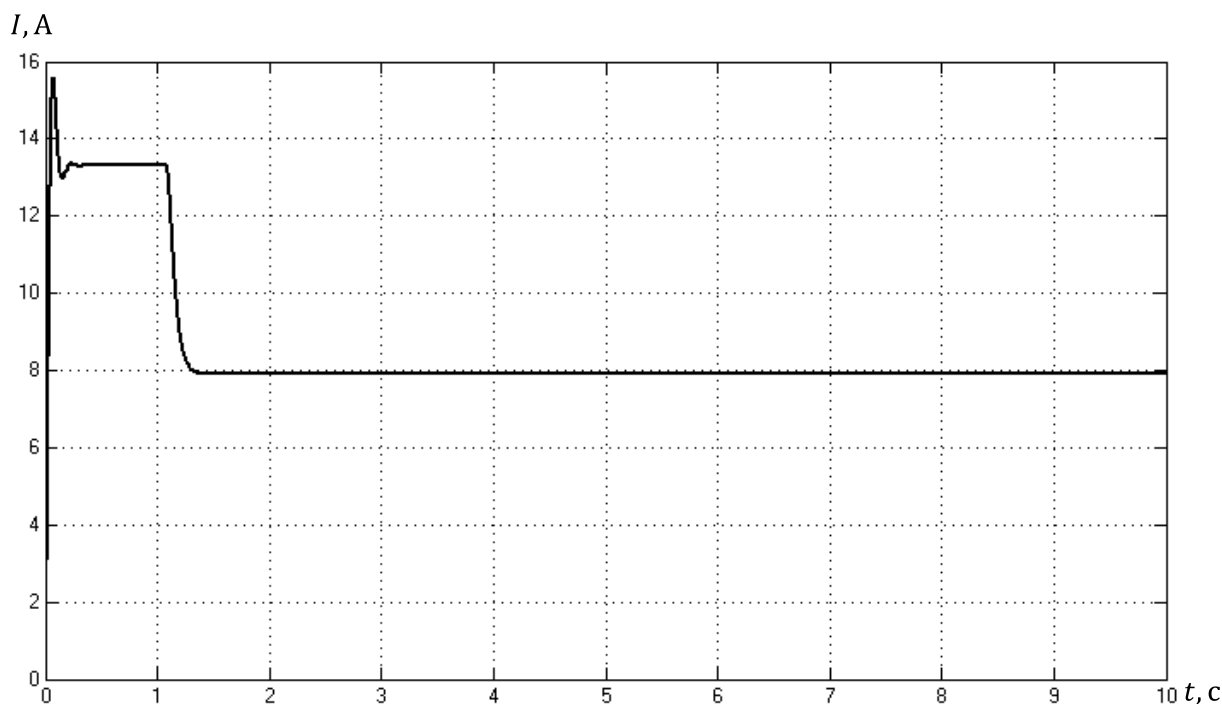


Рисунок 2.21 – Перехідний процес $I = f(t)$

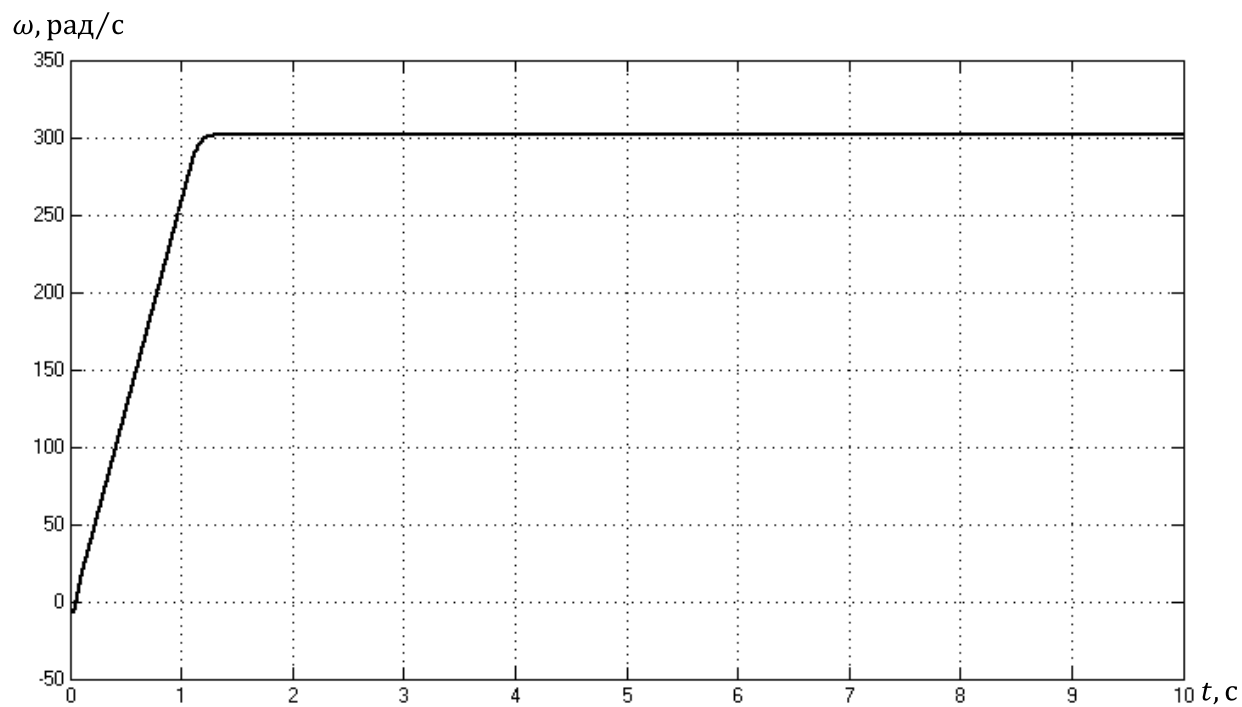


Рисунок 2.22 – Перехідний процес $\omega = f(t)$

2) розгін за постійного статичного моменту U_s від $5B$ до $10B$ і сталому $M_c = 13,263 H \cdot m$ (рис. 2.23 та рис. 2.24).

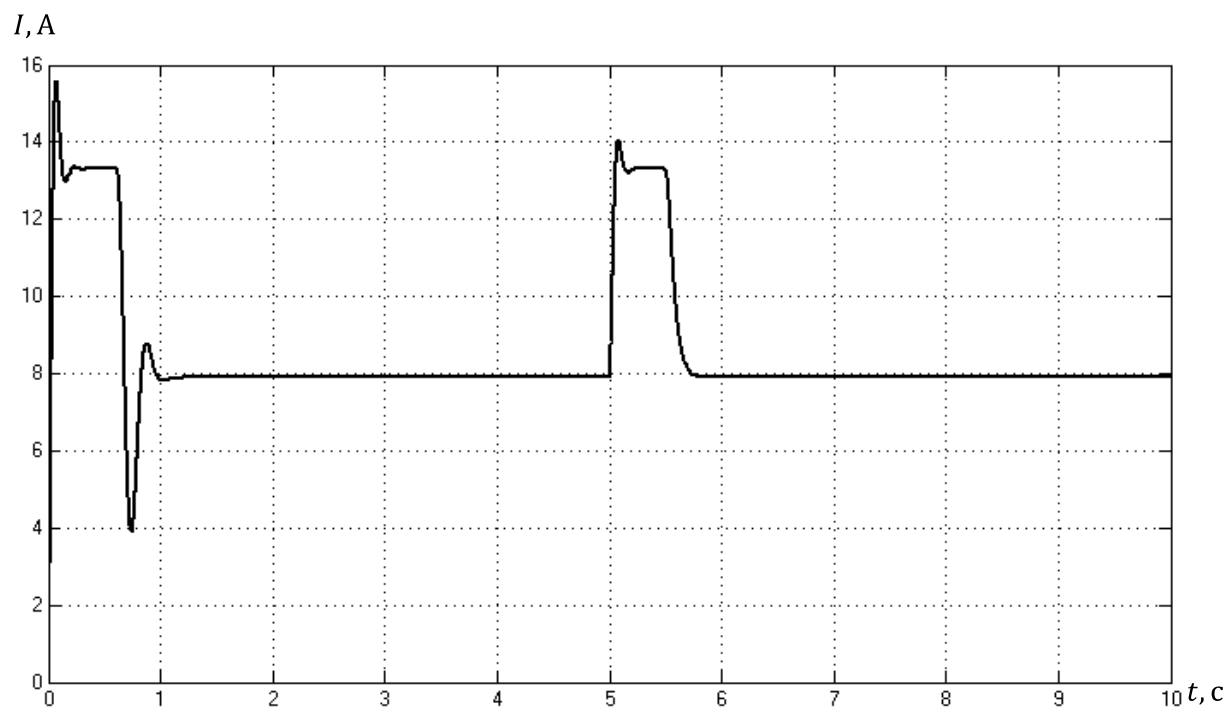


Рисунок 2.23 – Перехідний процес $I = f(t)$

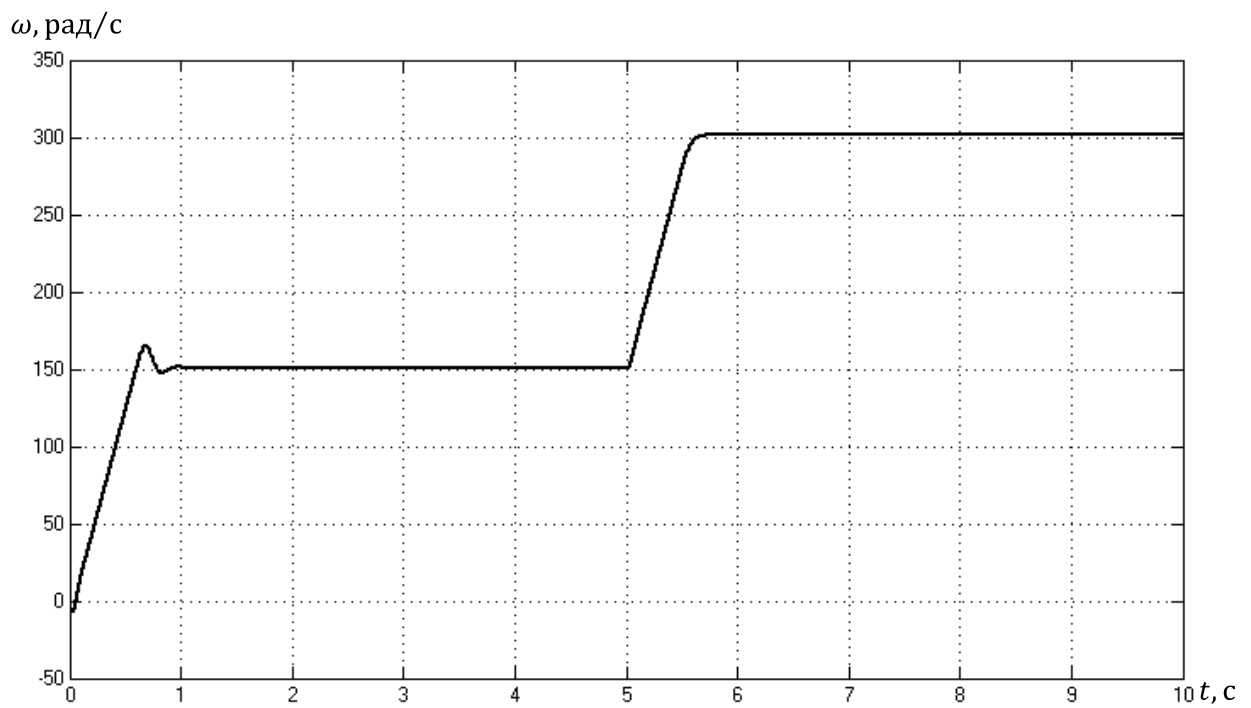


Рисунок 2.24 – Перехідний процес $\omega = f(t)$

3) уповільнення за постійного статичного моменту U_z від 10 В до 5 В і сталому $M_c = 13,263\text{ Н} \cdot \text{м}$ (рис. 2.25 та рис. 2.26).

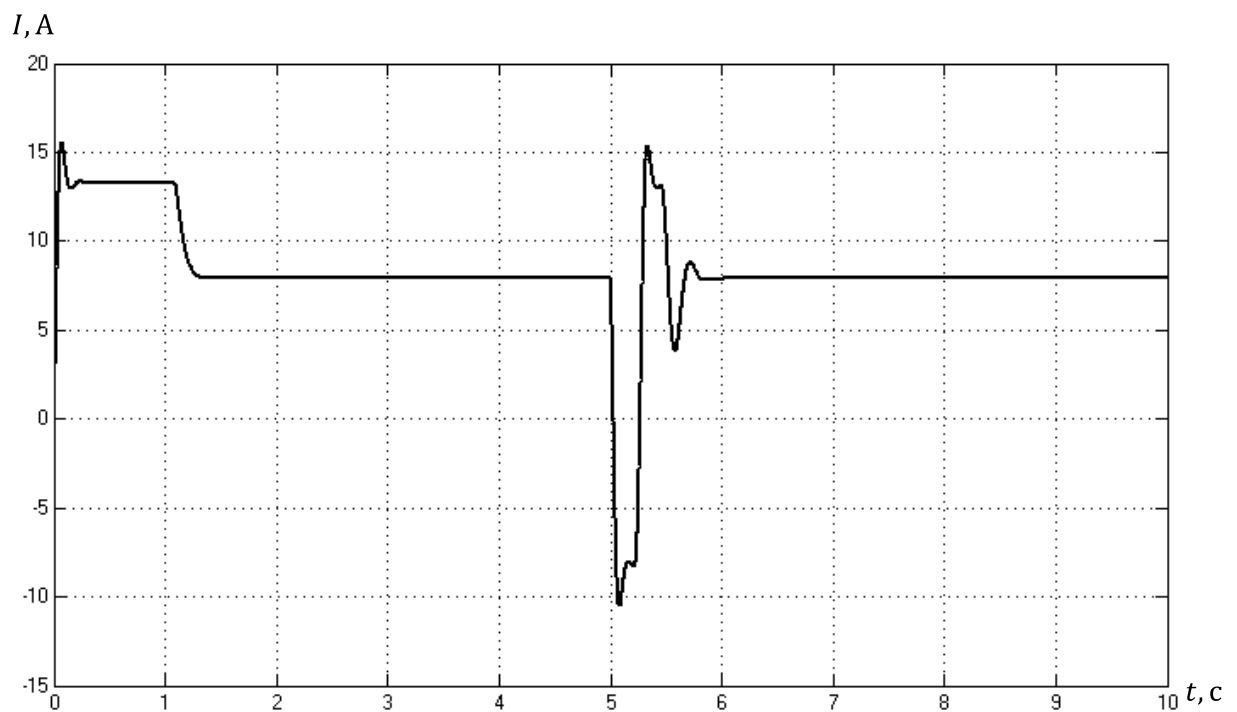


Рисунок 2.25 – Перехідний процес $I = f(t)$

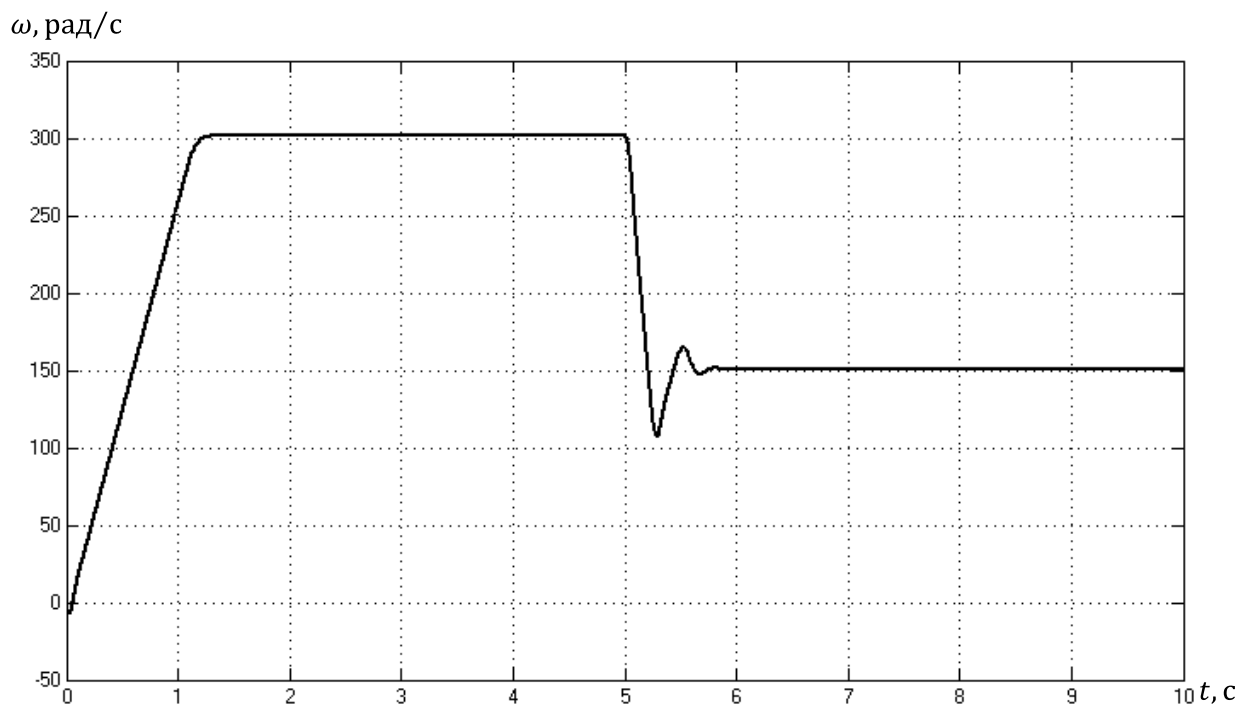


Рисунок 2.26 – Перехідний процес $\omega = f(t)$

4) збільшення навантаження $U_z = 10\text{ В}$ і зростанні M_c від 0 до $13,263\text{ Н}\cdot\text{м}$ (рис. 2.27 та рис. 2.28).

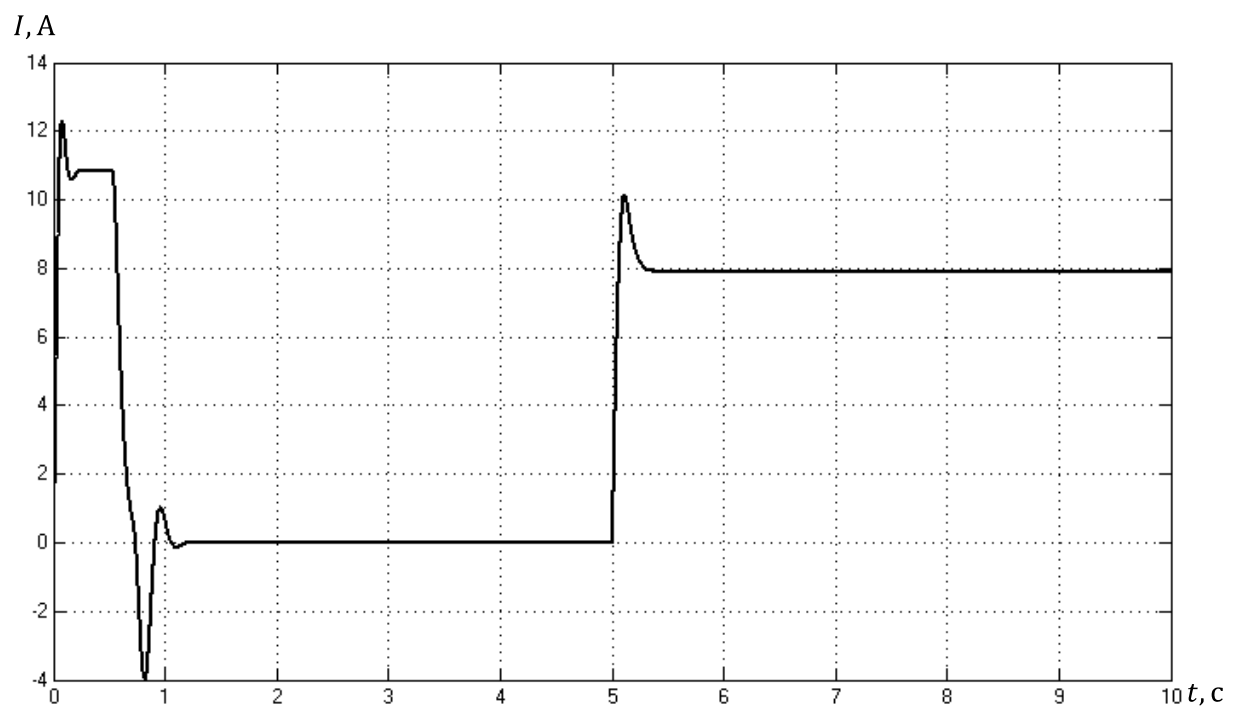


Рисунок 2.27 – Перехідний процес $I = f(t)$

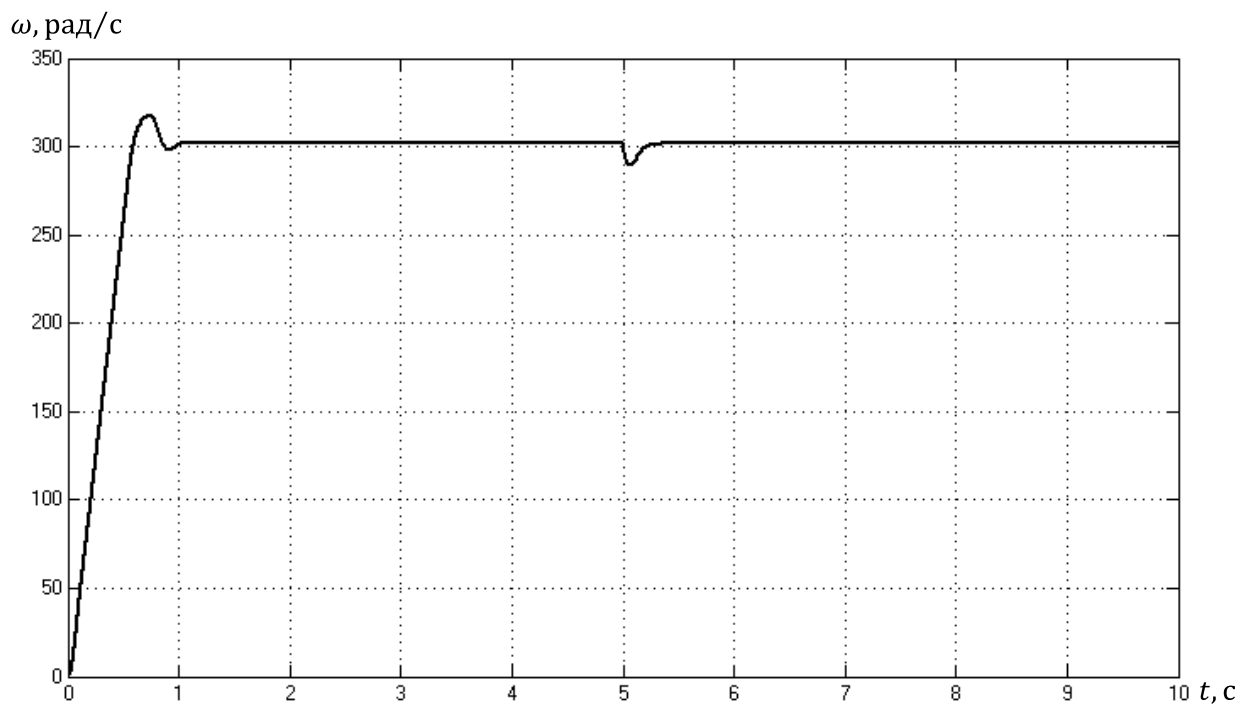


Рисунок 2.28 – Перехідний процес $\omega = f(t)$

5) зменшення навантаження $U_z = 10\text{ В}$ і зменшенні M_c від $13,263\text{ Н}\cdot\text{м}$ до 0 (рис. 2.29 та рис. 2.30).

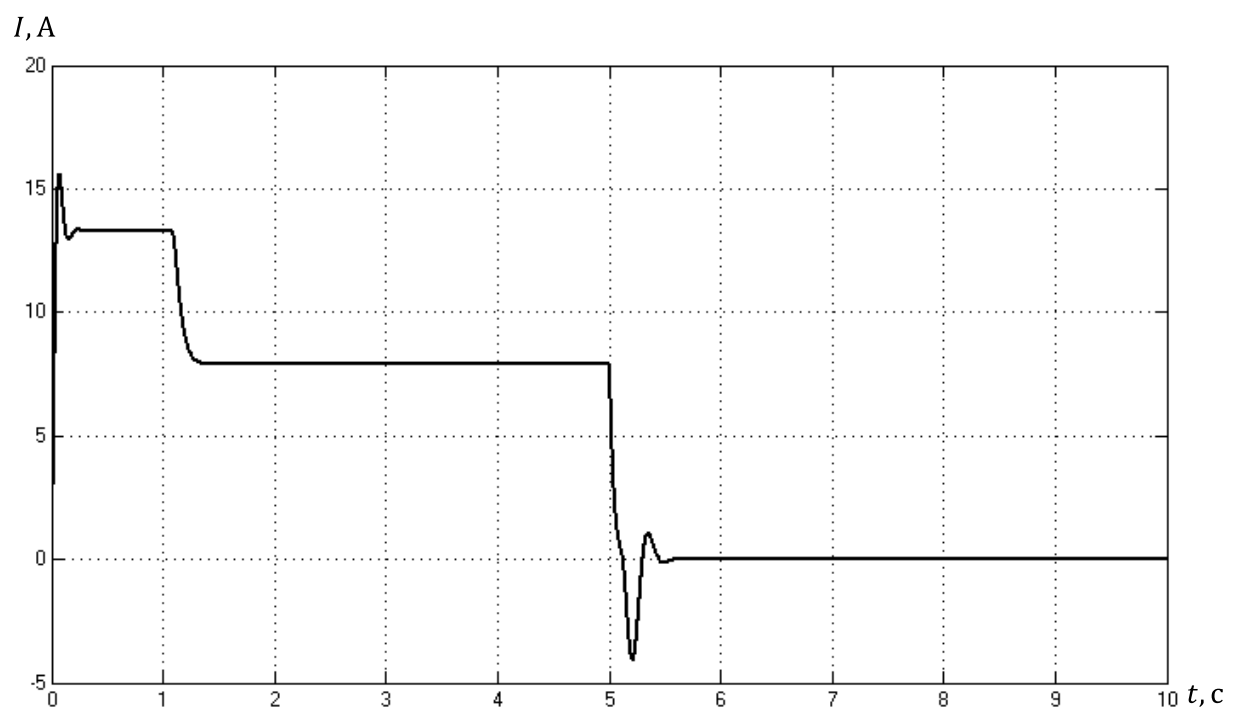


Рисунок 2.29 – Перехідний процес $I = f(t)$

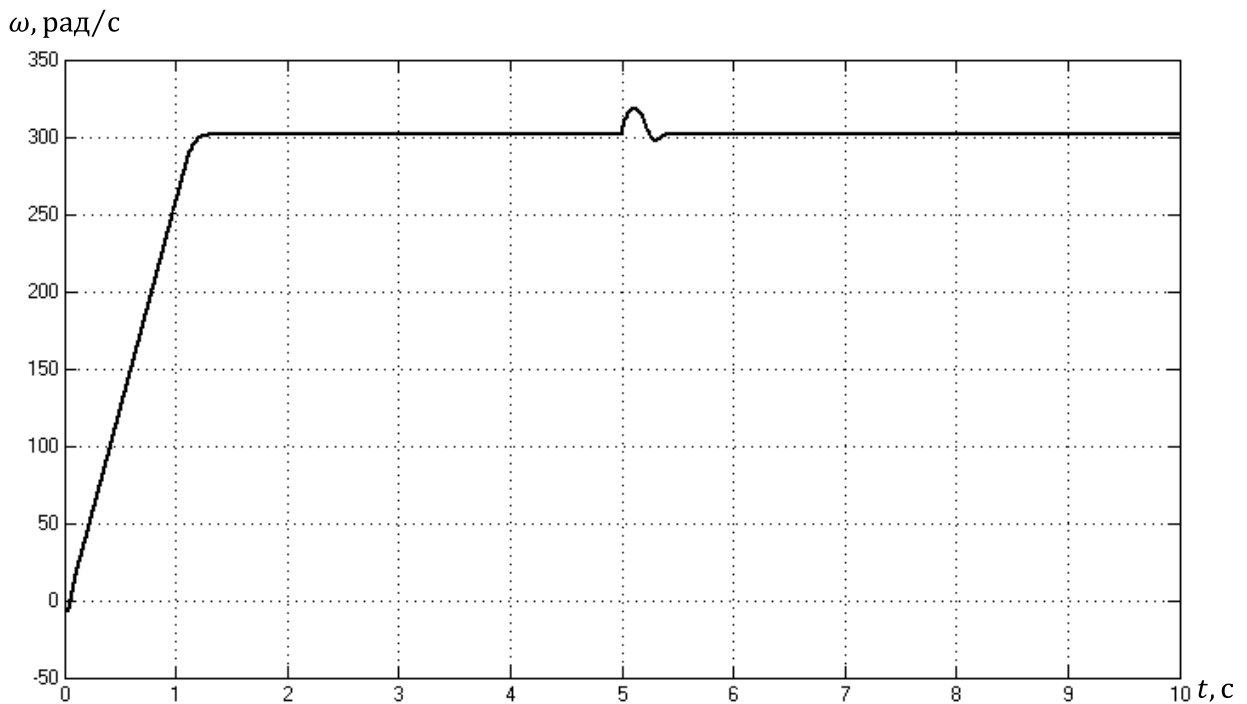


Рисунок 2.30 – Перехідний процес $\omega = f(t)$

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2

На основі розрахованих статичних характеристик та побудованих графіків можна зробити висновок, що механічні характеристики системи ПЧ-АД відзначаються вищою жорсткістю порівняно зі звичайним асинхронним двигуном. Використаний електропривод забезпечує високу плавність ходу і широкий діапазон регулювання швидкості.

З аналізу енергетичних характеристик видно, що ККД змінюється в процесі регулювання частоти (зокрема, знижується при її зменшенні), однак поблизу номінальних режимів залишається високим, що свідчить про добру енергоефективність системи. З огляду на характер навантаження та отримані енергетичні показники можна стверджувати, що технологічний процес реалізовуватиметься з високими техніко-економічними показниками.

Аналіз графіків перехідних процесів показує, що їхня тривалість у системі ПЧ-АД становить приблизно 2–2,5 с, при цьому вони проходять плавно, без ривків і коливань за швидкістю й струмом, мають аперіодичний характер. Струмові кидки у режимі пуску перевищують номінальне значення, проте залишаються в межах допустимого для застосованого обладнання. Отримані параметри динаміки задовольняють вимоги технологічного процесу, забезпечуючи стабільну та енергоефективну роботу.

Запровадження системи підлеглого керування підвищило швидкодію привода, зменшило пускові струмові перевантаження та забезпечило більш м'який запуск механізму.

РОЗДІЛ 3

Електропостачання

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.РЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Рябченко Н.М.			Електропостачання	Літ.	Арк.
Перевір.		Барановська М					Акрушів
Реценз.							
Н. Контр.		Барановська М				45	57
Затверд.		Пересунько І.І.				ЕМ гр. ЕЕМ-22ск	

3.1 Розрахунок електропостачання промислового підприємства на прикладі Криворізького заводу гірничого обладнання

Живлення споживачів заплановано від підстанції «Дизельна». Згідно з технічними параметрами обладнання, встановлені такі рівні напруги для трифазного змінного струму:

- 10 кВ - для живлення високовольтних електродвигунів;
- 0,38/0,23 кВ (система з глухозаземленою нейтраллю) - для низьковольтних силових приймачів;
- 0,133 кВ - для освітлення, а в окремих блоках - 36 В;
- 0,38/0,22 кВ (система з глухозаземленою нейтраллю) - для освітлення у будівлях на території цехів.

Проектом передбачено використання двох незалежних ліній електропередачі. На підстанції встановлено два трансформатори потужністю по 20 МВА кожен. У разі виходу з ладу одного трансформатора передбачена можливість часткового переведення навантаження на інший.

3.2 Розрахунок установленної потужності споживачів електроенергії та вибір трансформатора

На підстанції передбачено встановлення двох силових трансформаторів, які мають отримувати живлення від окремих незалежних джерел через роздільні лінії електропередачі. Така схема забезпечує надійне взаємне резервування. Для досягнення рівноцінного резервування обидва трансформатори обираються з однаковою номінальною потужністю.

Потужність трансформаторів визначається з урахуванням їх нормального завантаження в межах 60–70% від номіналу, що забезпечує економічно доцільний режим роботи. У разі відключення однієї лінії або трансформатора, інша лінія разом із трансформатором повинні мати змогу витримати навантаження підприємства з припустимим рівнем перевантаження.

Обчислення споживаної потужності електроприймачів проводиться за встановленими значеннями потужності та відповідними коефіцієнтами попиту для кожного з них. Однолінійна схема електропостачання цеху наведена на рисунку 3.1.

Для визначення необхідної потужності трансформаторів виконується розрахунок електричних навантажень на основі сумарної встановленої потужності всіх споживачів. Для однолінійних груп електроспоживачів активна (P), реактивна (Q) та повна (S) потужність розраховується за такими формулами

:

$$P_{роз} = \sum P_n \cdot K_c ; \quad (3.1)$$

$$Q_{роз} = P_{роз} \cdot \operatorname{tg} \phi ; \quad (3.2)$$

$$S_{роз} = \sqrt{P_{роз}^2 + Q_{роз}^2} , \quad (3.3)$$

де K_c - коефіцієнт попиту електроенергії для окремих електроприймачів;

$\operatorname{tg} \phi$ - коефіцієнт навантаження для кожного з електроспоживачів.

Середньозважене значення коефіцієнта потужності визначається як:

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.РЗ	Лист
						46
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\cos \varphi_{срзв} = \frac{w_a}{w_s} = \frac{w_a}{\sqrt{w_a^2 + w_p^2}} = \frac{51,26}{\sqrt{51,26^2 + 38,45^2}} = 0,8.$$

Усі розрахунки наведені в табл. 3.1.

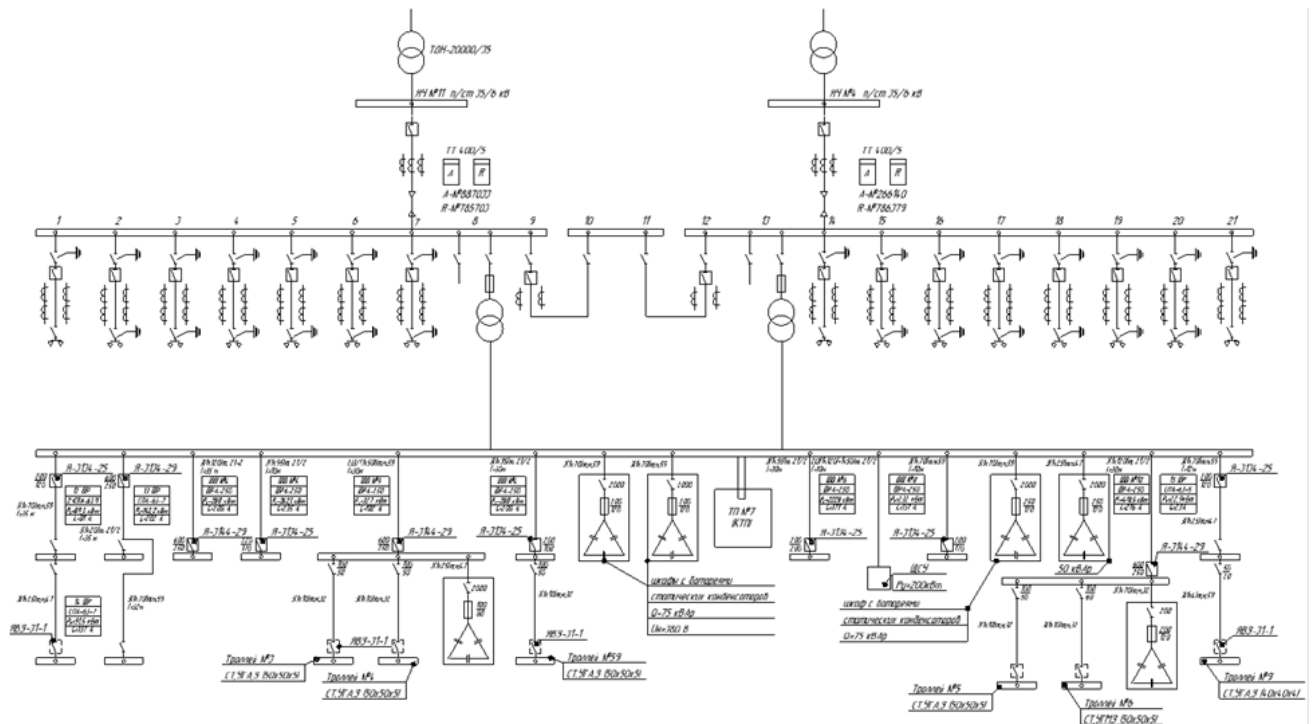


Рисунок 3.1 – Розроблена схема електропостачання підприємства - Криворізький завод гірничого обладнання

За розрахунковими потужностями вибираємо трансформатори, виходячи з умови:

$$S_{нтр} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_c \cdot K_{пер}} \quad (3.4)$$

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

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

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

$\eta_c = 0,9$ - коефіцієнт мережі.

Розрахункові потужності силових трансформаторів дорівнюють:

$$S_{нтр(1)} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_c \cdot K_{пер}} = \frac{1 \cdot 0,85 \cdot 700}{0,9 \cdot 1,1} = 601 \text{ кВА};$$

$$S_{нтр(2)} = \frac{K_{1-2} \cdot K_{зм} \cdot S_{роз}}{\eta_c \cdot K_{пер}} = \frac{1 \cdot 0,85 \cdot 22000}{0,9 \cdot 1,1} = 18890 \text{ кВА}.$$

Вибираємо трансформатори з характеристиками, які в табл. 3.2.

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.Р3	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		47

Таблиця 3.1 – Розрахункова потужність навантажень підприємства Криворізький завод гірничого обладнання

Назва груп споживачів	Потужн. спожив., кВт	Кіл. шт	Сум. потужн., кВт	Коеф. попиту	tg φ	cos φ	Розрахункова потужність		
							$P_{роз},$ кВт	$Q_{роз},$ кВАр	$S_{роз},$ кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Трансформатор ТДН-20000/35	20000								20000
Секції 6 кВ									
Трансформатор ТМ-630/6	630	2	1260						1260
Трансформатор ТМФ-1000/6	1000	2	2000						2000
Трансформатор ТТИ-АЛ-630/6	630	1	630						630
Трансформатор ТМ-1000/6	1000	2	2000						2000
Трансформатор ТМЗ-1000/6	1000	2	2000						2000
Трансформатор ТМ-400/6	400	2	800						800
Трансформатор ТМ-1600/6	1600	1	1600						1600
Інше навантаження									11710
Всього по секції 6 кВ									22000
Секції 0,4кВ									
Насос Д500 – 63	132	1	132	0,8	0,75	0,8	105,6	79,2	132
Станки (токарні, фрезерні, свердильні, стругальні)	184	15	2756	0,16	-	0,6	441	-	441
Освітлення	20	1	20	0,8	0,35	0,94	16	5,6	17
Калорифер	40	2	80	0,3	0,57	0,87	24	14	28
Кран	40	2	80	0,5	0,62	0,8	40	24,8	47
Кран	30	2	60	0,5	0,62	0,8	30	18,6	35,3
Всього по секції 0,4 кВ									700

Таблиця 3.2 – Паспортні дані силових трансформаторів

№ з/п	Тип	Номинальна потужність, кВА	Номинальна напруга, кВ		Втрати трансформатора, кВт		Напруга короткого замикання, $u_k, \%$	Струм неробочого ходу, $I_{кх}, \%$
			$U_{1н}$	$U_{2н}$	$\Delta P_{кх}$	$\Delta P_{кз}$		
1.	ТМ-630/6	630	6	0,4	1,42	7,6	5,5	2,0
2.	ТДН-20000/35	20000	38,5	6,6	50	130	8,3	3,5

3.3 Розрахунок СКЗ в мережах понад 1 кВ

Проводиться визначення реактивних опорів, зведених до базисної напруги. Усі обчислення виконуються в базисних величинах.

В якості базисної потужності приймаємо $S_6 = 100 \text{ МВА} = S_c$, а базисною напругою $U_6 = 6,3 \text{ кВ}$

Тоді базисне значення струму обчислюється за формулою:

$$I_6 = \frac{S_6}{1,73 \cdot U_6} = 9,2 \text{ кА} . \quad (3.5)$$

Далі визначаємо розрахункові параметри:

- опір системи у базисних одиницях:

$$X_c = \frac{X_c \% \cdot S_6}{100 \cdot S_{nc}} = \frac{3 \cdot 100}{10 \cdot 32} = 0,094 \quad (3.6)$$

- опір трансформатора у базисних одиницях:

$$X_{тр} = \frac{u_k \% \cdot S_6}{100 \cdot S_{nc}} = \frac{8,3 \cdot 100 \cdot 10^6}{100 \cdot 20000 \cdot 10^3} = 0,415 \quad (3.7)$$

- опір кабельної лінії у базисних одиницях:

$$X_L = \frac{X_{ол} \cdot l_l \cdot S_6}{U_n^2} = \frac{0,06 \cdot 0,5 \cdot 100}{6,0^2} = 0,083 , \quad (3.8)$$

де $X_{ол} = 0,06$ - питомий опір кабелю;

$l_l = 0,5$ км - протяжність кабелю.

Сумарне значення опору в точці К1 на стороні 6 кВ становить:

$$X_{\Sigma 1} = X_c + X_{мп} + X_L = 0,094 + 0,415 + 0,083 = 0,592 . \quad (3.9)$$

Відповідно, СКЗ обчислюється за формулою:

$$I_{кз1} = \frac{I_6}{X_{\Sigma 1}} = \frac{9,2}{0,592} = 15,541 \text{ кА} . \quad (3.10)$$

Ударне значення СКЗ визначається як:

$$I_{y1} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{кз1} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 15,541 = 39,44 \text{ кА} . \quad (3.11)$$

Значення потужності КЗ:

$$S_{кз} = \frac{S_6}{X_{\Sigma 1}} = \frac{100}{0,592} = 169 \text{ МВА} . \quad (3.12)$$

Розрахункове значення струму:

$$I_{p1} = \frac{S_{p1}}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{11255}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 1000 \text{ А} . \quad (3.13)$$

Динамічний струм:

$$I_d = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{кзи} + 6,5 \cdot I_p = 45,94 \text{ кА} . \quad (3.14)$$

3.4 Добір апаратури в мережі вище 1 кВ

Добір струмовідних шин.

На основі розрахункового струму $I_{p1}=1,0$ кА обираємо алюмінієві шини з допустимим струмовим навантаженням 1000 А. Геометричні розміри шин: висота $h = 60$ мм, ширина b

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.РЗ	Лист
						49
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

= 6 мм. Відстань між опорними ізоляторами приймаємо $L = 250$ мм, а між шинами – $a = 150$ мм.

Перевірка шин на електродинамічну стійкість:

$$i_{\text{дн}} = \sqrt{\frac{10 \cdot G \cdot W \cdot a}{1,76} \cdot \frac{10}{L}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 90 \cdot 24 \cdot 150 \cdot 10}{1,76 \cdot 250}} = 70 \text{ кА} \quad (3.15)$$

де $G=90$ МПа – допустиме напруження матеріалу шин;

W - момент опору профілю шини щодо осі:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{0,6 \cdot 6^2}{6} = 3,6 . \quad (3.16)$$

Згідно з паспортними характеристиками обраних шин, $50,6 < 70,0$ кА, що підтверджує відповідність вимогам.

Оцінка поперечного перерізу шин за умовами термічної стійкості:

$$S_{\text{ш}} = \frac{I_{\text{кзи}} \cdot \sqrt{t_{\text{пр}}}}{c} = \frac{15541 \cdot \sqrt{0,6}}{90} = 134 \text{ мм}^2 , \quad (3.17)$$

де $t_{\text{пр}}=0,6$ с - час протікання СКЗ;

$c=85 \text{ Ас}^2/\text{мм}^2$ - коефіцієнт, що враховує теплові втрати до і після КЗ в алюмінієвому провіднику.

Добір кабелів.

Для живлення об'єкта приймається трижильний мідний кабель типу ВРГ 6 (3×95), розрахований на напругу 6 кВ з поперечним перерізом $3 \times 70 \text{ мм}^2$ та допустимим тривалим струмом 220 А.

Перевірка кабелю на термічну стійкість.

За умовами тривалого струмового навантаження, відповідно до виразу (3.17), необхідна площа перерізу становить:

$$S_{\text{ш}} = \frac{I_{\text{кзи}} \cdot \sqrt{t_{\text{пр}}}}{c} = \frac{15541 \cdot \sqrt{0,6}}{160} = 75 \text{ мм}^2 .$$

Прийнятий поперечний переріз кабелю забезпечує необхідну струмопровідність, оскільки він відповідає розрахунковому значенню.

Перевірка по допустимій втраті напруги

Допустимість втрат напруги перевіряється за формулою:

$$S = \frac{\sqrt{3} \cdot I_p \cdot l \cdot \cos \varphi}{\gamma \cdot \Delta u} , \quad (3.18)$$

де $l= 800$ м - протяжність кабелю;

$\cos \varphi = 0,8$ - к-т потужності підстанції;

$\gamma = 57 \frac{\text{М}}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}$ - питома електропровідність міді;

$\Delta u = 1,6\%$ - гранична допустима втрата напруги в лінії, ($\Delta u = \frac{6000 \cdot 1,6}{100} = 96 \text{ В}$).

Площа поперечного перерізу:

$$S = \frac{1,73 \cdot 1000 \cdot 800 \cdot 0,8}{57 \cdot 96} = 202,339 \text{ мм}^2 . \quad (3.19)$$

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.РЗ	Лист
						50
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок показує, що прийнятий перетин кабелю відповідає допустимим втратам напруги.

Приймемо, що до секції з напругою 6 кВ підключено вентилятор потужністю 1600 кВт. Розрахунковий струм становить:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_1} = \frac{1600}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 146,802 \text{ А.} \quad (3.20)$$

Вибір перерізу кабелю за економічною щільністю струму:

$$S = \frac{I_p}{j} = \frac{146,802}{2} = 73,401 \text{ мм}^2, \quad (3.21)$$

де $j = 2 \frac{\text{А}}{\text{мм}^2}$ - економічна щільність струму.

Отримане значення підтверджує, що обраний переріз є достатнім для забезпечення економічної доцільності.

Таким чином, кабель задовольняє вимоги по всім перевіркам - тривалій струмовідповідності, термічній стійкості, втратах напруги та економічній щільності струму.

Остаточно приймається до прокладання кабель марки ЦСПн-6 3×95 – мідний, зі свинцевою оболонкою, армований сталевими стрічками, з негорючим зовнішнім покриттям. Призначений для експлуатації на вертикальних або крутонахилених ділянках без обмеження перепадів висот та з урахуванням можливих механічних впливів.

Добір високовольтних вимикачів.

Для використання в схемі обираються масляні вимикачі типу ВМГ-10-630-20. Ці вимикачі належать до класу маломасляних трьохполюсних комутаційних апаратів, призначених для експлуатації у внутрішніх електроустановках змінного струму високої напруги частотою 50 Гц. Керування вимикачами можливе за допомогою електромагнітного приводу постійного струму типу ПЕ-11 або пружинного приводу типу ПП-67.

Основні технічні характеристики:

Номінальна напруга: 10 кВ

Максимально допустима робоча напруга: 12 кВ

Номінальний струм: 630 або 1000 А

Номінальний струм вимкнення: 20 кА

Граничний наскрізний струм, кА:

– амплітудне значення: 52

– початкове ефективне значення періодичної складової: 20

Граничний струм термічної стійкості (4 с): 20 кА

Номінальний струм увімкнення, кА:

– ефективне значення періодичної складової: 20

– амплітудне значення: 52

Власний час вимкнення з приводами ПЕ-11 / ПП-67: не більше 0,10 / 0,12 с

Час вимкнення до згасання дуги з приводами ПЕ-11 / ПП-67: не більше 0,12 / 0,14 с

Маса без масла: 145 кг

Подальший вибір апаратури

Усі подальші електричні апарати добираються відповідно до робочих режимів і проходять перевірку на витривалість до СКЗ: струм вимкнення, максимальне амплітудне

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.РЗ	Лист
						51
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

значення ударного СКЗ, перевірка на термічну стійкість проводиться для інтервалу 10 секунд:

$$I_{t=10} = \sqrt{I_{\kappa}^2 \cdot \frac{t_{np}}{t}} = \sqrt{14,8^2 \cdot \frac{0,05}{10}} = 1,0 \text{ кА} . \quad (3.22)$$

Добір трансформатора струму типу ТПЛ-10.

Технічні характеристики:

- Номінальна напруга: 10 кВ
- Діапазон номінального струму первинної обмотки: від 600 до 1500 А
- Номінальний струм вторинної обмотки: 5 А
- Робоча частота: 50–60 Гц
- Номінальне навантаження вторинної обмотки (при $\cos\varphi$): 10 В·А
- Клас точності: 0,5
- Односекундна термічна стійкість: від 4 до 31,5 кА
- Електродинамічна стійкість: у межах 25–81 кА

3.5 Розрахунок СКЗ в мережах до 1 кВ

Під час розрахунку струмів короткого замикання в мережах з напругою до 1 кВ необхідно враховувати не лише індуктивні, але й активні складові опору навантаження. Для аналізу використовується трансформатор типу ТМ-630/6, паспортні характеристики якого наведені в таблиці 3.1.

Базисними параметрами приймаємо:

$U_6 = 0,4 \text{ кВ}$ - базисна напруга,

$S_6 = 100 \text{ МВА}$ - базисна потужність.

Відповідно, базисний струм розраховується за формулою:

$$I_6 = \frac{S_6}{1,73 \cdot U_6} = \frac{100}{1,73 \cdot 0,4} = 144,45 \text{ кА} . \quad (3.23)$$

Виконуємо обчислення реактивних опорів, струмів і потужностей, що виникають при КЗ:

- опори тр-ра ТМ-630/6:

$$X_{\text{тр}(0,4)} = \frac{u_{\kappa} \% \cdot S_6}{100 \cdot S_n} = \frac{5,5 \cdot 100 \cdot 10^6}{100 \cdot 630 \cdot 10^3} = 8,73 ; \quad (3.24)$$

$$r_{\text{тр}(0,4)} = \frac{\Delta P_{\text{м}} \cdot S_6}{S_n \cdot S_n} = \frac{7,6 \cdot 100 \cdot 10^6}{630 \cdot 630 \cdot 10^6} = 0,002 ; \quad (3.25)$$

- опори тр-ра ТДН-20000/35:

$$X_{\text{тр}(6)} = \frac{u_{\kappa} \% \cdot S_6}{100 \cdot S_{nc}} = \frac{8,3 \cdot 100 \cdot 10^6}{100 \cdot 20000 \cdot 10^6} = 0,45 \quad (3.26)$$

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.РЗ	Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		52

$$r_{rp(6)} = \frac{\Delta P_m \cdot S_{\bar{o}}}{S_n \cdot S_n} = \frac{130 \cdot 100 \cdot 10^6}{20000 \cdot 20000 \cdot 10^6} = 0,033 \quad (3.27)$$

- опіри кабелю:

$$X_{L(6)} = \frac{X_{ol} \cdot l_l \cdot S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2} = \frac{0,06 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 100}{0,4^2} = 0,0094 \quad , \quad (3.28)$$

$$r_{L(6)} = \frac{r_{ol} \cdot l_l \cdot S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2} = \frac{0,47 \cdot 10^{-3} \cdot 0,25 \cdot 100}{0,4^2} = 0,073 \quad , \quad (3.29)$$

- опіри шини:

$$X_{ш(6)} = \frac{X_{ou} \cdot l_u \cdot S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2} = \frac{0,163 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05 \cdot 100}{0,4^2} = 0,0051 \quad , \quad (3.30)$$

$$r_{ш(6)} = \frac{r_{ou} \cdot l_u \cdot S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2} = \frac{0,099 \cdot 10^{-3} \cdot 0,05 \cdot 100}{0,4^2} = 0,0031 \quad , \quad (3.31)$$

- опір контактів комутаційного апарату:

$$r_{p(6)} = \frac{r_{op} \cdot S_{\bar{o}}}{U_{\bar{o}}^2} = \frac{0,08 \cdot 10^{-3} \cdot 100}{0,4^2} = 0,05 \quad . \quad (3.32)$$

Опіри точки К2 при КЗ на стороні 0,4 кВ:

$$X_{\sum 0,4} = X_{mp(6)} + X_{L(6)} + X_{mp(0,4)} + X_{ш(6)} = 0,45 + 0,0094 + 8,73 + 0,0051 = 9,195 \quad . \quad (3.33)$$

$$r_{\sum 0,4} = r_{mp(6)} + r_{L(6)} + r_{mp(0,4)} + r_{ш(6)} + r_p = 0,033 + 0,073 + 0,002 + 0,0031 + 0,05 = 0,161 \quad (3.34)$$

$$z = \sqrt{X_{\sum 0,4}^2 + r_{\sum 0,4}^2} = \sqrt{9,195^2 + 0,161^2} = 9,196 \quad . \quad (3.35)$$

Відповідно, СКЗ у точці К2 обчислюється за формулою:

$$I_{кз2} = \frac{I_{\bar{o}}}{z} = \frac{144,5}{9,196} = 15,713 \text{ кА} \quad . \quad (3.36)$$

Ударне значення СКЗ у точці К2 визначається як:

$$I_{y2} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot I_{кз2} = 1,41 \cdot 1,8 \cdot 23,5 = 39,88 \text{ кА} \quad . \quad (3.37)$$

Потужність КЗ у точці К2:

$$S_{кз0,4} = \frac{S_{\bar{o}}}{Z_{\sum 2}} = \frac{100}{9,196} = 10,874 \text{ МВА} \quad . \quad (3.38)$$

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.РЗ	Лист
						53
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Струм на шинах К2:

$$I_{p2} = \frac{S_{p2}}{\sqrt{3} \cdot U_2} = \frac{858}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 1,24 \text{ кА} . \quad (3.39)$$

3.6 Добір комутаційних пристроїв та струмопровідних частин у мережі з напругою до 1 кВ

Добір струмовідних шин.

На основі розрахункового струму $I_{p1}=1,24$ кА обираємо алюмінієві шини з допустимим струмовим навантаженням 1475 А. Геометричні розміри шин: висота $h=60$ мм, ширина $b=10$ мм. Відстань між опорними ізоляторами приймаємо $L=250$ мм, а між шинами $a=150$ мм.

Перевірка шин на електродинамічну стійкість:

$$i_{\text{дн}} = \sqrt{\frac{10 \cdot G \cdot W \cdot a}{1,76} \cdot \frac{10}{L}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 90 \cdot 24,4 \cdot 150 \cdot 10}{1,76 \cdot 250}} = 273,6 \text{ кА}$$

Згідно з паспортними характеристиками обраних шин $39,88 < 273,6$ кА, що підтверджує відповідність вимогам.

Оцінка поперечного перерізу шин за умовами термічної стійкості:

$$S_{\text{ш}} = \frac{I_{\text{кзш}} \cdot \sqrt{t_{\text{нр}}}}{c} = \frac{15713 \cdot \sqrt{0,6}}{85} = 77 \text{ мм}^2 .$$

Добір кабелів для живлення гальванічного насоса Х20/31 та інших споживачів

Номинальний струм ЕМ насосної установки Х20/31 становить:

$$I_n = \frac{132 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9 \cdot 0,935} = 237,8 \text{ А}; \quad (3.40)$$

Розраховуємо пусковий струм АМ:

$$I_n = k_i \cdot I_n = 7 \cdot 237,8 = 1664 \text{ А}, \quad (3.41)$$

де $k_i = 7$ – кратність пускового струму АМ.

Для підключення двигуна обираємо мідний кабель марки ВВГ перерізом 1×120 мм², розрахований на номінальну напругу 0,4 кВ та тривалий допустимий струм 276 А.

Здійснюємо перевірку кабелю ВВГ (1х120) на термічну стійкість до СКЗ за умов його сталого протікання:

$$S_{\text{ш}} = \frac{I_{\text{кзш}} \cdot \sqrt{t_{\text{нр}}}}{c} = \frac{15713 \cdot \sqrt{0,6}}{160} = 76 \text{ мм}^2 .$$

Добір кабелів.

В залежності від потужностей навантажень в цехах підприємства добираються інші кабелі (рис.1.1):

- мідний кабель типу ВВГ (1х120) на напругу 0,4 кВ перерізом з тривало припустимим струмом 290 А;
- мідний кабель типу ВВГ (1х95) на напругу 0,4 кВ перерізом з тривало припустимим струмом 255 А;

- мідний кабель типу ВВГ (1х70) на напругу 0,4 кВ перерізом з тривало припустимим струмом 210 А;
- мідний кабель типу ВВГ (1х50) на напругу 0,4 кВ перерізом з тривало припустимим струмом 170 А;
- мідний кабель типу ВВГ (1х25) на напругу 0,4 кВ перерізом з тривало припустимим струмом 100 А;
- мідний кабель типу ВВГ (1х10) на напругу 0,4 кВ перерізом з тривало припустимим струмом 60 А.

Добір пуско-захисної апаратури.

Номинальний струм ЕМ місцевої вентиляції становить:

$$I_{н0} = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \eta_n \cdot \cos \phi_n} = \frac{17000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,885 \cdot 0,88} = 3,32 \text{ А.} \quad (3.42)$$

Пікове значення струму відповідає пусковому струму ЕМ $I_n = 7 \cdot I_{н0} = 7 \cdot 3,32 = 23,24 \text{ А}$. Відповідно до табличних даних, обираємо провід марки АПРТО з перерізом жили 2,5 мм², який допустимо витримує струм 20 А.

Вибір плавкої вставки здійснюється на основі таких умов:

$$1) I_{вс} \geq I_p;$$

$$2) I_{вс} \geq \frac{I_n}{k},$$

де $k=1,6$ - коефіцієнт для захисту АМ особливих важливих електроприводів.

Перевірка за першою умовою дає:

$$I_{вс} = 6 > I_{н0} = 3,32 \text{ А}, \quad (3.43)$$

за другою умовою отримуємо:

$$I_{вс} \geq \frac{I_n}{k} \geq \frac{23,24}{1,6} = 14,525 \text{ А.} \quad (3.44)$$

Отже, згідно з другою умовою обираємо плавку вставку номіналом 40 А.

Перевірка проводу перерізом 2,5 мм² на здатність до захисту від перевантаження:

$$I_{дон} \geq \frac{k_3 I_n}{k}, \quad (3.45)$$

де $k_3 = 1$, $k = 1$ - допустимий струм для обраного способу прокладання.

Оскільки 20 А, провід із перерізом 2,5 мм² не забезпечує належного захисту від перевантаження. Необхідно застосувати провід перерізом 10 мм², допустимий струм якого становить 50 А.

Добір автоматичних вимикачів.

Автоматичні вимикачі підбираються за такими критеріями:

1. Номінальний струм електромагнітного або комбінованого розчеплювача має відповідати тривалому розрахунковому струму ділянки: $I_{ел} \geq I_p$;

2. Спрацьовування розчеплювача (відсічка) перевіряється за піковим струмом $I_{снел} \geq k I_n$, $k=1,25$ – для більшості автоматів:

					КНУ.РБ.141.25.250с.08.РЗ	Лист
						55
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{спел}} \geq kI_n = 1,25 \cdot 23,24 = 29,05 \text{ А.} \quad (3.46)$$

Автоматичні вимикачі добираємо згідно з технічними характеристиками, наведеними у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Добір автоматів 0,4 кВ

№ з/п	Тип АВ	Струм, А	Кіл-ть, шт.
1.	A3114	200	1
2.	A3114	400	2
3.	A3134	200	9
4.	A3144	400	4
5.	A3144	250	1
6.	A3144	200	1

ВИСНОВКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3

У цьому розділі виконано розрахунок системи електропостачання та розроблено однолінійну схему електропостачання для Криворізького заводу гірничого обладнання. Здійснено обчислення електричних навантажень і, на основі аналізу каталожних даних, підібрано силові трансформатори типів ТМ-630/6 та ТДН-20000/35.

Проведено аналіз роботи обладнання в нормальних та аварійних режимах, а також розраховано струми короткого замикання на стороні високої та низької напруги. Обґрунтовано вибір обладнання для мереж 6 кВ і 0,4 кВ, включаючи комутаційні пристрої та засоби захисту.

Список використаних джерел

1. Жданов С. М. Гальванотехніка: Підручник. – К.: Вища школа, 2008. – 296 с.
2. Азарх Д. Н. Насосы. Каталог-справочник / Д. Н. Азарх. – МАШГИЗ, 1982. – 424 с.
3. Бойко С. І., Лещенко В. А. Електричні машини. – К.: Либідь, 2010. – 400 с.
4. Демиденко Б. М. Електропривод: теорія і практика. – К.: Вища школа, 2009. – 372 с.
5. Пузирьов О. М. Електроприводи з частотним регулюванням. – Дніпро: ДНУ, 2016. – 315 с.
6. Сидоров О. В. Теоретичні основи електротехніки. – К.: Каравела, 2014. – 290 с.
7. Мороз В. Ф. Електропостачання промислових підприємств. – К.: Основа, 2008. – 416 с.
8. Трегуб М. А., Петренко О. В. Системи електропостачання: Підручник. – Х.: НТУ "ХПІ", 2019. – 284 с.
9. Каталог електродвигунів серії 4А. – Запоріжжя: ВАТ "Електромаш", 2004.
10. Паспорт та технічний опис частотного перетворювача Altivar 61 [ATV61H075M3]. – Schneider Electric, 2010.
11. Довідник з трансформаторів. / За ред. Б. І. Перерви. – К.: Техніка, 2005. – 356 с.
12. Simulink User's Guide. – MathWorks, 2023. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mathworks.com/help/simulink/>
13. ДСТУ EN 60076-1:2017 Трансформатори силові. Частина 1. Загальні технічні вимоги.
14. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). – К.: Енергоатом, 2020. – 560 с.