

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

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

ТЕМА РОБОТИ:

**Модернізація електроприводу відцентрового насоса водовідливної
установки шахти «Покровська» АТ «Кривбасзалізрудком»**

Виконав: студент групи ЕЕМ-22ск

Артур СКОРОПАДЕНКО

Керівник випускної роботи _____ д.е.н., проф. Тетяна БЕРІДЗЕ

Нормо контролер _____ д.е.н., проф. Тетяна БЕРІДЗЕ

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

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

Кривий Рір 2025 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

СКОРОПАДЕНКО Артур Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Модернізація електроприводу відцентрового насоса
водовідливної установки шахти «Покровська» АТ «Кривбасзалізрудком»

1. Термін подання студентом роботи: 16 червня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є модернізація
електроприводу відцентрового насоса водовідливної установки шахти
«Покровська» АТ «Кривбасзалізрудком».
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I.
Водовідливні установки залізрудної шахти; II. Система керування
електроприводом насоса; III. Моделювання динамічних режимів роботи
електропривода насоса.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) I. СХЕМА ВОДОВІДЛИВНИХ УСТАНОВОК; II. ЗОВНІШНІЙ
ВИГЛЯД НАСОСУ; III. ХАРАКТЕРИСТИКА НАСОСІВ ЦНС - 300; IV.
СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ; V. СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА
ФУНКЦІОНАЛЬНА СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ; VI.
СТРУКТУРНА СХЕМА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАСОСНИМ АГРЕГАТОМ;
VII. ПЕРЕХІДНІ ПРОЦЕСИ.-

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Тетяна БЕРІДЗЕ		
II	Тетяна БЕРІДЗЕ		
III	Тетяна БЕРІДЗЕ		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Характеристика водовідливної установки	15.05.25
2	Система електроприводу насоса	17.05.25
3	Вибір електричного двигуна насоса	19.05.25
4	Вибір перетворювача	21.05.25
5	Статичні характеристики електроприводу насоса	24.05.25
6	Вибір системи керування	26.05.25
7	Вибір елементів системи керування	31.05.25
8	Мікропроцесорна система керування	04.05.25
9	Структура моделі системи керування	10.06.25
10	Моделювання динамічних режимів роботи	14.06.25

Дата видання завдання 12.05.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Артур СКОРОПАДЕНКО
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Тетяна БЕРІДЗЕ
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Модернізація електроприводу відцентрового насоса водовідливної установки шахти «Покровська» АТ «Кривбасзалізрудком»»

41 с., 9 рис., 20 літературних джерел

У першому розділі було наведено опис насосної установки а також надано характеристики та представлено зовнішній вигляд а також кінематична схема електроприводу. На основі даних щодо продуктивності насосної установки а також місця розташування обладнанням було сформовано вимоги до електроприводу насосного агрегату. Як перспективну було розглянуто систему перетворювач частоти асинхронний двигун та обрано за базову систему регулювання параметрів насосної установки. Також було розраховано потужність асинхронного двигуна а за схемою заміщення розраховано статичні характеристики електроприводу насосної установки. Енергетичні характеристики системи регульованого електроприводу насосної установки з використанням перетворювача частоти що живить асинхронний двигун показали високу ефективність такого впровадження.

У другому розділі було проаналізовано режими роботи насосної установки та сформовано вимоги до системи керування. Було обрано перетворювач частоти для живлення асинхронної електричної машини та розраховано контури керування параметрів насосної установки. За базову обрана двоконтурна система регулюванням з підлеглими блоками керування у кожному з відокремлених контурів. Система керування була налаштована таким чином щоб здійснювати розрахунки струмів напруги та поточкозчеплення асинхронної машини. Для забезпечення роботи системи керування було розраховано датчики струму та напруги, обрано

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-01	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мікропроцесорний пристрій для здійснення розрахунків та визначенням сигналів завдання до перетворювача частоти. Також було розроблено принципову схему електроприводу насосного агрегату з асинхронним двигуном та перетворювачем частоти.

У третьому розділі були досліджені динамічні процеси у розімкненій та замкненій системі регулювання. Слід зазначити що розімкнена система регулювання не задовольняла вимогам завдання до електроприводу насосного агрегату. Система замкненого регулювання з налаштованими регуляторами струмів потокозчеплення та частоти обертання має більш гнучкі динамічні показники та більш жорсткі статичні характеристики. По отриманим графікам перехідних процесів у динамічних режимах роботи насосної установки можна бачити що при правильному налаштуванні контурів регулювання система частотного регульованого асинхронного електроприводу насосного агрегату забезпечує стійкість у перехідних режимах та майже абсолютно жорсткість статичних характеристик.

ШАХТА, ВОДОВІДЛИВНА УСТАНОВКА, ВІДЦЕНТРОВИЙ НАСОС,
ЕЛЕКТРОПРИВОД, МОДЕРНІЗАЦІЯ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-01	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Водовідливні установки залізорудної шахти	9
1.1. Характеристика водовідливної установки.....	9
1.2. Система електроприводу насоса.....	14
1.3. Вибір електричного двигуна насоса.....	16
1.4. Вибір перетворювача	18
1.5. Статичні характеристики електроприводу насоса.....	23
Розділ 2. Система керування електроприводом насоса	25
2.1. Вибір системи керування	25
2.2. Вибір елементів системи керування.....	28
2.3. Мікропроцесорна система керування	29
2.4. Структура системи керування електроприводом насоса	30
Розділ 3. Моделювання динамічних режимів роботи електропривода насоса	32
3.1. Структура моделі системи керування електроприводом насоса	32
3.2. Моделювання динамічних режимів роботи електропривода насоса....	34
3.3. Показники якості системи керування електроприводом насоса.....	36
Висновки	37

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-01	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Підприємства залізорудної галузі є важливою складовою економіки країни. На їх долю приходить великий обсяг внутрішнього валового продукту. Від ефективності витрат ресурсів на цих підприємствах залежатиме можливість їх подальшого розвитку та потенціал зростання.

За своєю структурою залізорудні підприємства є енергоємними споживачами електричної енергії. Важливими складовими такого розподілу є підйомні установки, системи вентиляції та водовідведення. Системи водопостачання та водовідведення займають вагомую частину у структурі сучасних видобувних підприємств. Особливо це стосується підприємств підземного видобутку.

Неможливість проведення технологічного процесу видобутку без необхідного забезпечення роботи водовідливних установок висуває особливі вимоги щодо неперервності цього процесу. Тому важливим для сучасних гірничодобувних підприємств важливим є підтримка неперервності процесу водовідведення, до того ж як при видобутку корисних копалин, так й, навіть, коли видобуток корисних копалин відсутній.

Системи водовідведення гірничих видобувних підприємств підземного способу видобутку складаються з головних водовідливних установок, які оснащені насосними агрегатами. Регулювання продуктивності насосних агрегатів залежатиме від притоку воду у шахту. Цей процес є мінливим і складно піддається аналізу. Можна розрізняти добові притоки води у шахту, а також перетоки рідини між окремими горизонтами.

Тому важливим для ефективності роботи системи водовідведення є можливість забезпечити своєчасне відкачування води та недопустимість переповнення її резервуарів. Для виконання цього завдання важливим є резервування необхідної потужності для виконання перелічених операцій.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-01	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основним напрямком розвитку систем водопостачання та водовідведення є удосконалення обладнання у напрямку його регульованості та можливості досягнення технологічних параметрів шляхом впровадження енергоефективних програм керування водовідливними установками.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-01	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Водовідливні установки залізорудної шахти

1.1. Характеристика водовідливної установки

Для забезпечення роботи систем водовідведення залізорудних шахт використовуються відцентрові насоси. У якості провідного двигуна зазвичай використовується асинхронні коротко замкнені двигуни.

Електропривод насосних установок водовідведення залізорудних шахт зазвичай відрізняється своєю потужністю.

Також відцентрові насосні установки широко використовуються у структурах комунального, нафтопереробного та видобувного виробництва.

Відцентрові насоси відрізняються своєю простотою та невибагливістю до умов експлуатації. Переважна більшість таких систем оснащена системами нерегульованого електроприводу, що спричиняє підвищений рівень енергоспоживання при зміні продуктивності насосних агрегатів, що у свою чергу спричиняє зниження ефективності використання їх електроприводу.

При застосуванні системи нерегульованого електроприводу зміна параметрів роботи та характеристик насосних установок виконується регулювальними можливостями заслінок насосного агрегату та магістрального трубопроводу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1	Лім.	Лист	Листів
Розробив	Скоропадєнко АІ						9	16
Перевірив	Берідзе Т.М.							
Реценз.						КНУ ЕЕМ-22ск		
Н. Контр.	Берідзе Т.М.							
Затвердив	Пересунько І.І.							

Регулювання продуктивності насосної станції виконується зміною кількості працюючих насосних агрегатів. Слід зазначити, що таке застосування керованості завдяки умовам технологічної лінії призводить до суттєвих втрат електричної енергії, оскільки приводні електричні двигуни насосних агрегатів будуть суттєво не дозавантажені, а деяких з них, взагалі, працювати "у холосту".

Підземні водоносні горизонти родовищ корисних копалин містять запаси води осадового типу. Концентрація твердих часток у подібній рідині є не дуже значна, тому щільність осадового силою не відрізняється від природньої густини. Щодо об'єму особового слою, то тут можна зазначити, що на глибинах видобутку що складають 600 м та глибше природній водообмін практично відсутній. Циркуляція водних мас відбувається безпосередньо у середині горизонтів. Переміщення рідини між горизонтами відбувається тільки за рахунок роботи системи водовідливу. Слід зазначити, що це твердження не стосується навколо ствольної течії. Завданням роботи системи водовідливу є відкачування також й цих водних мас.

Отже, як можна бачити, відкачування води на поверхню є трудомістким та енергомістким завданням, оскільки за добу до шахти може надходити до 8000 м³ рідини. Коефіцієнт заповнено ті шахти рідиною становить у межах допуску від 0,6 до 0,7 м³/т. Слід також відзначити, що значна мінералізація шахтних вод призводить до наявності агресивно діючої речовини, що спричиняє додаткові труднощі при обслуговуванні.

Для забезпечення відкачування води з нижніх водоносних горизонтів на шахтах використовується ступенева система водовідливу. Так для зменшення одиничної потужності насосних агрегатів використовують головні та допоміжні водовідливних установки у межах водоносних горизонтів та проміжні структури між ними.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Головні водовідливних установки шахти зазвичай містять від трьох до чотирьох насосних агрегатів. Кожен з насосів має володіти продуктивністю, здатною забезпечити працездатність на одному агрегаті протягом 20 годин, як мінімум, але при нормальному режимі роботи цю продуктивність розподіляють між двома насосними агрегатами, з умовою забезпечення 10 годинного робочого циклу.

Отже, ємність водозабірників систем головного водовідливу шахти має забезпечити 20 годинне заповнення притоку рідини.

Допоміжні водовідливних насосні установки також оснащені двома або чотирма насосними агрегатами. Ввімкнення їх у роботу залежить від притоку води.

Наведемо схему водовідливних установок.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

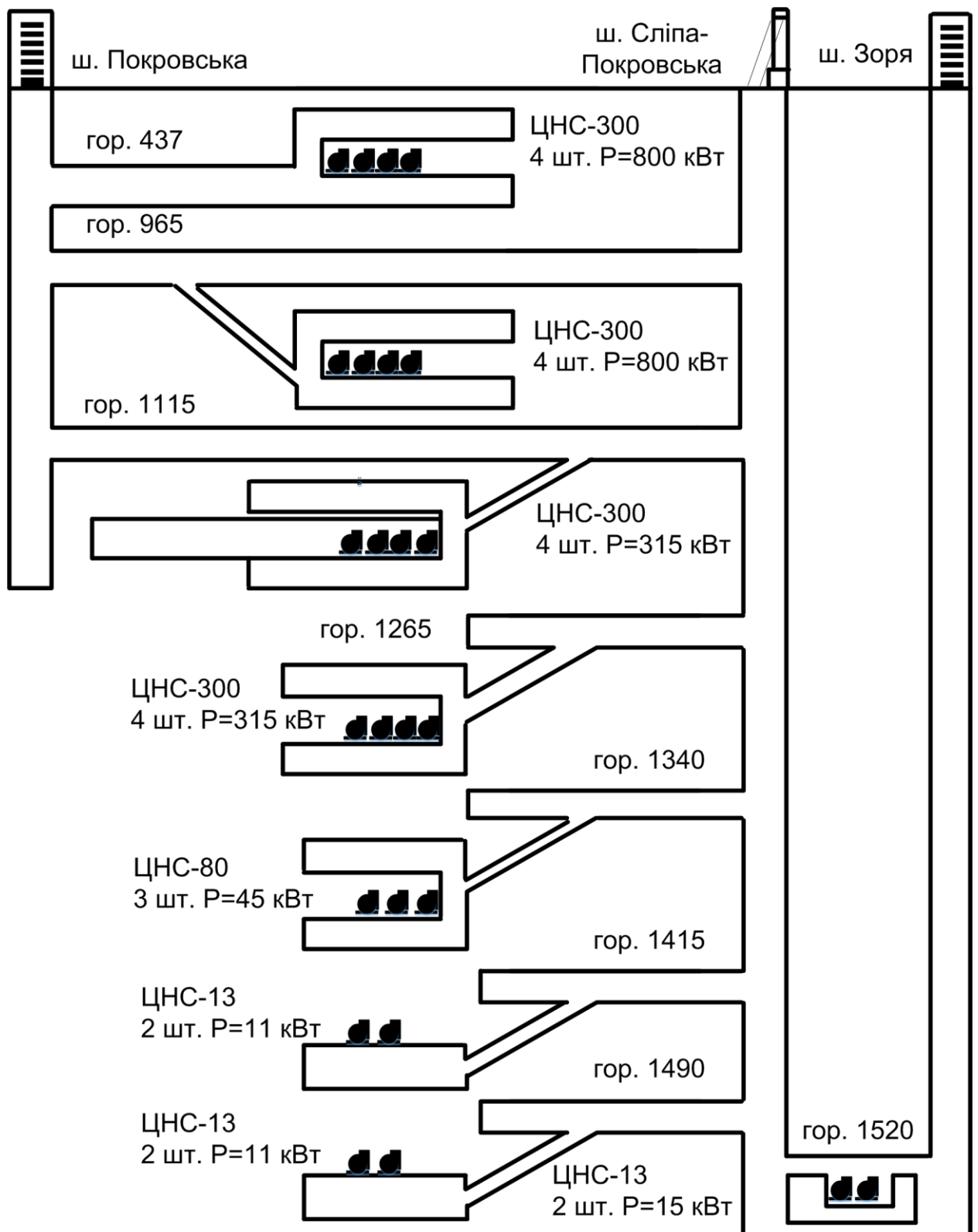


Рисунок 1.1 - Схема водовідливних установок шахти «Покровська»

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Також приведемо характеристики насосного агрегату.

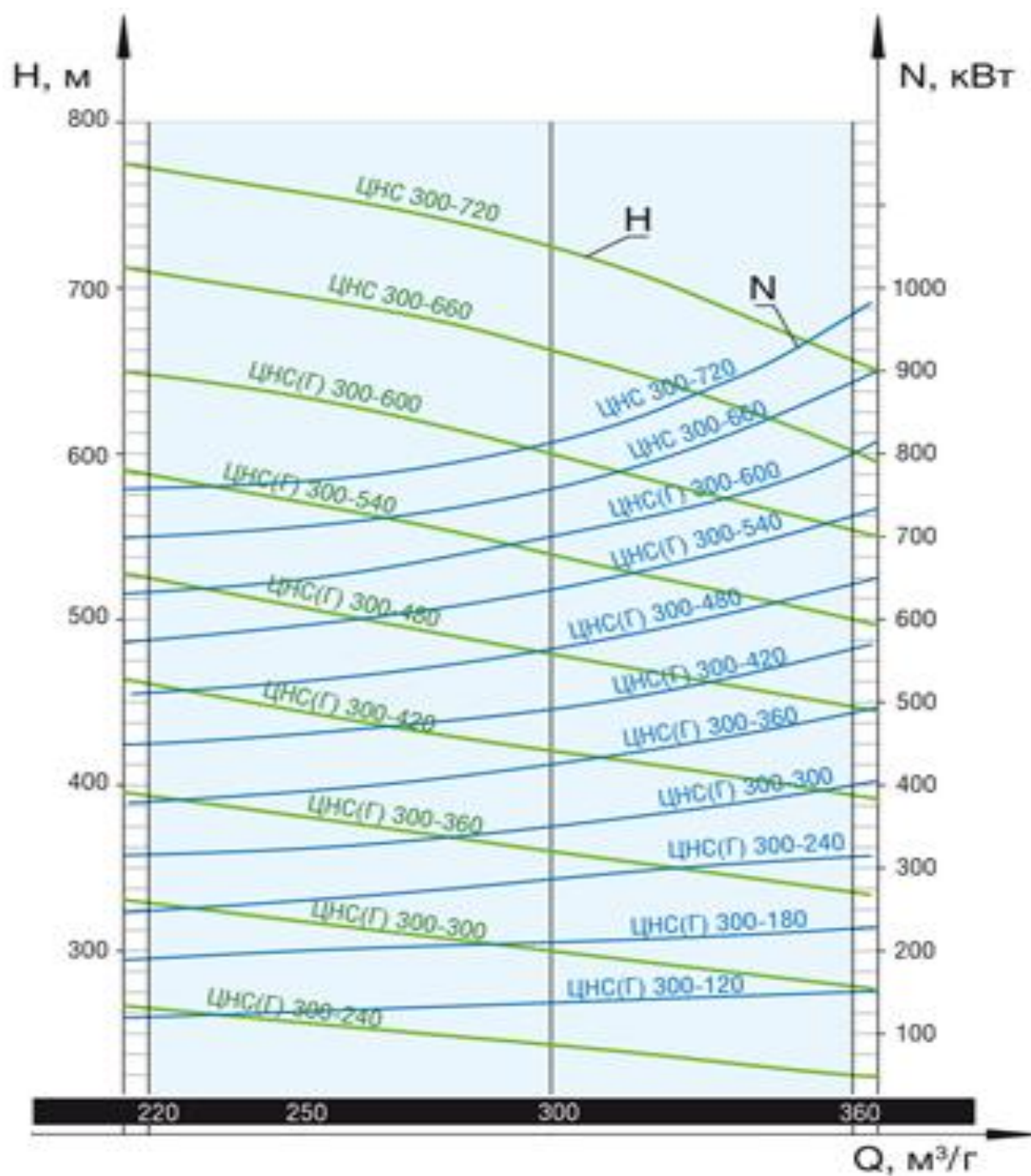


Рисунок 1.2 - Характеристики насосних агрегатів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10

Арк.

13

1.2. Система електроприводу насоса

Якщо циркуляційні насоси можуть працювати на мережевий трубопровід без статичного навантаження, то відцентрові насоси працюють на мережевий трубопровід з протитиском, та мають завжди близько 20% статичного навантаження. При цьому якщо насосну установку оснащено нерегульованим електроприводом, то регулювання параметрів продуктивності виконується лише завдяки дроселюванню.

Отже, виходячи з максимальної продуктивності насосного агрегату виконується регулювання його характеристик на зменшення від номінальних, що призводить до необхідності знижувати ефективність їх використання, оскільки споживання електричної енергії при такому способі регулювання залишається на рівні номінальних витрат.

Особливості роботи системи водовідведення висуває наступні вимоги до його системи електроприводу:

- відсутність реверсування;
- зазвичай це електропривод у безредукторному виконанні;
- тривалий режим роботи електроприводу;
- низький статичний пусковий опір;
- визначений діапазон регулювання частоти обертання 1:3.

Найбільш сприятливою системою, що задовольнить розглянуті потреби, виходячи з вже наявного обладнання з використанням асинхронних двигунів, є система "перетворювач частоти - асинхронний двигун". Завдяки застосуванню системи регульованого асинхронного електроприводу виникає можливість змінювати продуктивність насосного агрегату змінюючи частоту

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обертання його лопатей, при цьому споживання електричної енергії буде пропорційним заданій продуктивності.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Вибір електричного двигуна насоса

Для ефективної роботи насосних установок важливим є правильний вибір потужності привідного двигуна. Потужність може залежати від таких чинників як продуктивність насосної установки напір та частота обертання валу. Продуктивність насосної установки можуть залежати від кількості споживачів та положення запірної арматури. Відповідно до режиму роботи можуть змінюватись у доволі широких діапазонах продуктивність напір або тиск та частота обертання. Цими величинами буде обумовлений момент спротиву на валу відцентрового насосу. Експлуатаційною характеристикою відцентрового насосу є залежність продуктивності від тиску а також залежність ККД від продуктивності у залежності від частоти обертання валу.

Теоретичний розрахунок напірної характеристики доволі складний тому на практиці використовують вже готові показники. Так наприклад взявши за робочу частоту обертання номінальне її значення можна визначити напірну характеристику для насосної установки. За напірною характеристикою визначається потужність електричного двигуна який приводить до руху вал насосу.

Слід зазначити що режим роботи насосної установки є неперервний тому для більш правильного вибору електричного двигуна необхідно застосувати коефіцієнт запасу за споживаною потужністю.

У якості привідного електричного двигуна насосної установки вибираємо асинхронний короткозамкнений двигун.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.1 – Характеристика двигуна насосу

Найменування	Літерне позначення	Значення	Одиниця виміру
1.Потужність	P_n	500	кВт
2.Напруга живлення	U	6	кВ
3.Швидкість обертання	n_n	742.9	об/хв.
4.КПД	η	0.952	
5.Коефіцієнт потужності	$\cos \varphi_{ном}$	0.8	
6.Кратність пускового струму	$\frac{I_n}{I_{ном}}$	6	
7.Кратність пускового моменту	$\frac{M_n}{M_{ном}}$	1.0	
8.Кратність максимального моменту	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	2.2	
9.Момент інерції	J	58	$кг \cdot м^2$
10.Число пар полюсів	P	4	
11 .Номинальний струм статора	$I_{ном}$	63.2	А
12.Номинальне ковзання	$S_{ном}$	0.0095	

1.4. Вибір перетворювача

Для регулювання параметрів асинхронного короткозамкненого двигуна який ми обрали у минулому розділі оберемо перетворювальний пристрій який буде здійснювати регулювання характеристика асинхронного двигуна.

Запишемо деякі вирази за якими буде здійснюватись регулювання частотою обертання асинхронного двигуна.

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1 (s-1)}{p} \quad (1.1)$$

За допомогою перетворювачам можна змінювати частоту живлення асинхронної машини що призводить до зміни частоти її обертання. Таким чином здійснюється регулювання асинхронним двигуном, але при цьому важливим є не тільки зміна частоти живлення асинхронної машини але і дотримання умови щодо зміни амплітудного значення напруги.

Оскільки при незмінній напрузі та зміні частоти живлення магнітний потік асинхронної машини буде дорівнювати обернено пропорційному значенню частоти живлення. Тобто при зміні частоти магнітний потік асинхронної машини також буде змінюватись. Така залежність спричинятиме різьку зміну моменту асинхронної машини, що призведе до неможливості забезпечити належне статичне перевантаження. Тому при живленні асинхронної машини від частотного перетворювача дотримуються певних правил.

Отже для ефективного керування асинхронною електричною машиною при живленні її від перетворювача частоти необхідно зі зміною напруги живлення також змінювати й частоту живлення асинхронної машини. При дотриманні цього правила можна забезпечити великий діапазон зміни частоти

обертання асинхронної машини та доволі велику зміну продуктивності насосної установки.

Проведемо розрахунки та оберемо перетворювач частоти для живлення асинхронного електричного двигуна приводу відцентрового насосу.

$$U_{дн} \geq U_n, I_{дн} \geq I_n, P_{дн} \geq P_n, \quad (1.2)$$

Для живлення електричного приводу відцентрового насосу обираємо високовольтний перетворювач частоти серії ВПЧА. Цей перетворювач живить машину змінного струму номінальною напругою живлення 6 кВ, забезпечуючи її зниження вниз від номінальних параметрів, а також зміною частоти напруги живлення.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2 – Характеристика перетворювача ВПЧА-I-06/48-УХЛ.4

Параметри		Значення
Позначення серії		ВПЧА - високовольний частотно-регульований привод для асинхронного електродвигуна
Вхідна напруга силового ланцюга		3-х фазне 6000В (можливе відхилення без зниження параметрів -20% +15%)
Частота живлячої мережі, Гц		45~55
Діапазон регулювання частоти, Гц		0,1-120
Точність підтримки частоти, Гц		±0,01
Час пуску / останову, сек.		10 от 1600 (параметр, що настраюється)
Перевантажувальна здатність		120% протягом 60 сек., 150% протягом 1 сек.
Вихідна напруга силового		3-х фазне 6000 В
Коефіцієнт потужності		96% і більш при швидкості близької до номінальної
Аналоговий вхід		Два канала, 0~10V/4~20mA (на вибір)
Аналоговий вихід		Два канала, 0~10V/4~20mA (на вибір)
Дискретні сигнали вхід/вихід		24 на вході/16 на виході
Протоколи передачі даних		RS485
Органи управління		Промисловий комп'ютер з сенсорним екраном (Touch Screen)
Конструкція	Ступінь захисту	IP30
	Виконання	шафове, двостороннього обслуговування кабельне підведення знизу
	Охолодження	примусове вбудованими вентиляторами
Умови експлуатації	Температура експлуатації	від 0° до +40°
	Температура зберігання і транспортування	від -40° до +70°
	Вологість макс.	90% без конденсації)
	Висота над рівнем моря макс.	не більше 1000 м
	Вібрація макс.	0,5g з частотою 10-50 Гц
	Установка	УХЛ 4 – Кліматичне виконання і категорія розміщення -(для помірно-холодного клімату в закритому опалювальному приміщенні з температурою навколишнього повітря +1?C – +40?C)

За конструкцією перетворювачі серії ВПЧА складаються з окремих силових частин які налічують трансформатори високої напруги силові блоки та блоки управління. Складовими силових блоків є транзисторні ключі. Силові блоки трансформатори та прилади керування розташовані у спеціальних відокремлених шафах. Також перетворювач частоти містить блокувальні системи та запобіжники. При формуванні вихідної напруги використовуються три групи силових блоків по кожній групі на кожну з фаз електричної машини. Перемикання між фазними групами силових блоків виконується у відповідності до амплітуди напруги живлення. Частота комутації силових блоків буде залежати від заданої частоти напруги живлення. Таким чином загальна схема перетворювача частоти серії ВПЧА складається з 15 окремих силових блоків у розрахунку по 5 силових блоків на кожну з фаз електричної машини.

Складемо принципову схему перетворювача частоти серії ВПЧА.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

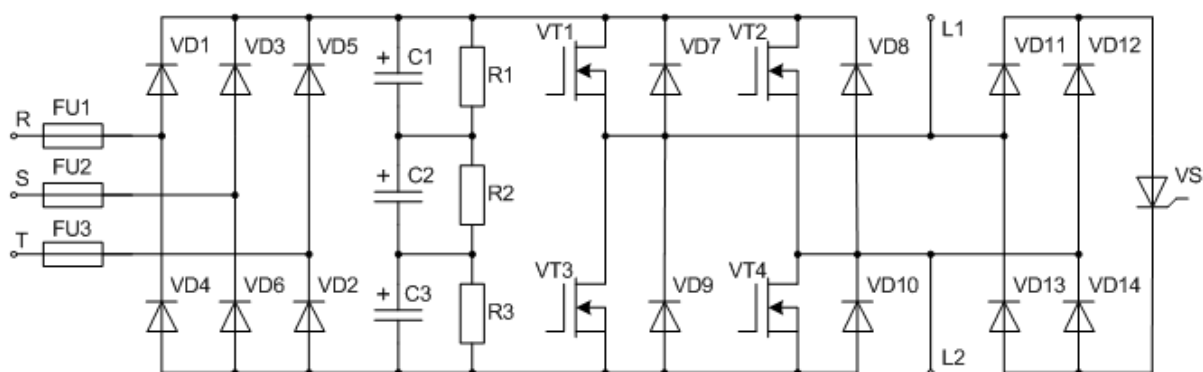


Рисунок 1.3 – Принципова схема перетворювача частоти серії ВПЧА

Сигнал керування надходить на блок транзисторів VT1 – VT-4. Таким чином у силовому блоці формується фазна напруга а використання методу векторного керування дозволяє забезпечити необхідні параметри амплітуди та частоти живлення. У разі виникнення режимів що призводять до перенапруги на силовому блоці використовується функція байпас яка дозволяє збросити залишки надмірної електричної енергії та захистити силовий блок. Також у перетворювачі серії ВПЧА виконується широтно-імпульсне регулювання керуючих сигналів. Такий підхід дозволяє визначити амплітуду напруги живлення відповідно до пульсацій у фазних блоках.

До переваг перетворювача частоти серії ВПЧА можна віднести відсутність вихідного фільтру а також велику перевантажувальну здатність за струмом та моментом.

1.5. Статичні характеристики електроприводу насоса

Електромеханічний та механічні характеристики системи перетворювач частоти асинхронний двигун зручно виконувати за допомогою представлення фази асинхронної машини відповідною схемою заміщення.

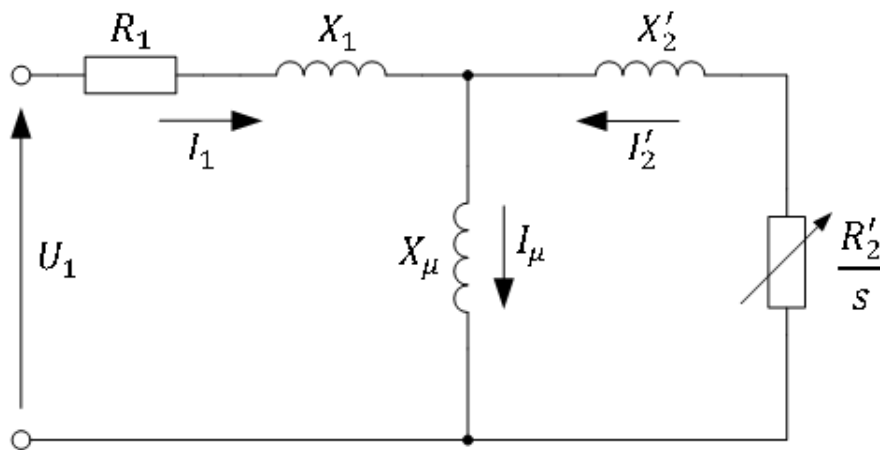


Рис. 1.4 - Схема заміщення

Статичні характеристики у системі перетворювач частоти асинхронний двигун будуюмо для декількох значень частоти напруги живлення відповідно до закону регулювання частоти та амплітуди напруги.

$$M = \frac{3 \cdot (U_{\phi, ном} \cdot \sqrt{f^*})^2 \cdot \frac{R_2' \cdot \omega_0 \cdot f^*}{\omega_0 \cdot f^* - \omega}}{\omega_0 \cdot f^* \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2' \cdot \omega_0 \cdot f^*}{\omega_0 \cdot f^* - \omega} \right)^2 + (X_{\Sigma} \cdot f^*)^2 \right]}$$

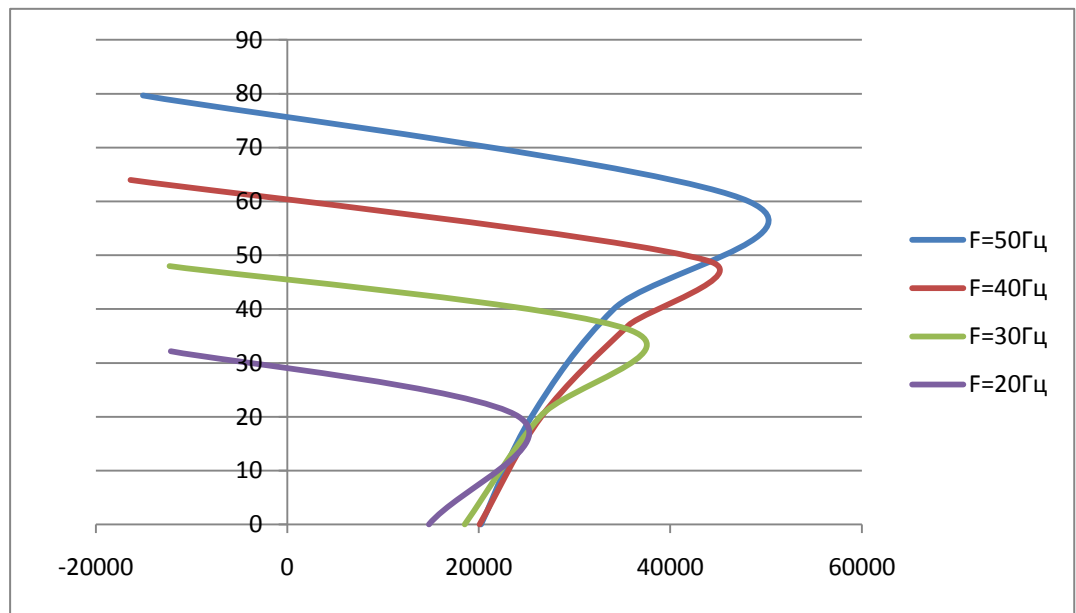


Рисунок 1.4 – Статичні характеристики

Також для номінальної частоти живлення розрахуємо статизм розімкненої системи.

$$\Delta = \frac{\beta_n}{D_\alpha} = 0,0095 \cdot 5 = 0,0475 \quad (1.3)$$

$$\Delta\% = \Delta \cdot 100 = 0,0475 \cdot 100 = 4,75\% \quad (1.4)$$

Де β_n - жорсткість;

$$D_\alpha = \frac{f_n}{f_1} \text{ - діапазон регулювання.}$$

Розділ 2. Система керування електроприводом насоса

2.1. Вибір системи керування

У перетворювачі частоти серії ВПЧ а використовується принцип векторного керування що застосовує адаптивне порівняння моделі електричної машини зі спеціальним мікропроцесорним пристроєм.

Такий підхід забезпечує глибоке регулювання та підтримує високу динаміку електричного приводу.

У перетворювачі частоти серії ВПЧА використовується принцип управління за вектором потокозчеплення ротора електричної машини.

Розглянемо більш детально принципову схему перетворювача частоти.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив	Скоропадєнко АІ				Розділ 2	Літ.	Лист	Листів
Перевірів	Берідзе Т.М.						25	7
Реценз.						КНУ ЕЕМ-22ск		
Н. Контр.	Берідзе Т.М.							
Затвердив	Пересунько І.І.							

Розглянемо детальніше систему бездатчикового керування асинхронною машиною.

Можна бачити що у системі використовується зворотний зв'язок за струмом електричної машини, а також компенсаційні зворотні зв'язки. У системі реалізовано регулятор потокозчеплення та струму, що дає можливість синтезувати регулятор частоти обертання у заданих параметрах. Якщо регулятори струму та потокозчеплення доцільно обирати пропорційно інтегральними, то для регулятора частоти обертання можна скористатись лише пропорційною складовою.

Таким чином розглянута система забезпечує стабілізацію магнітного потоку електричної машини що у свою чергу призводить до необхідного значення статизму у замкненій системі за моментом та частотою обертання.

Отже для керування асинхронним двигуном необхідно мати інформацію про миттєві значення визначених величин напруги та струму а також просторове положення вектору потокозчеплення.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Вибір елементів системи керування

Система регульованого електроприводу за принципом векторного керування асинхронним двигуном містить два незалежні канали керування. Один з каналів використовується для визначення магнітного потоку електричної машини, інший канал забезпечує обчислення електромагнітного моменту. Кожен з розглянутих каналів керування розбудовується за принципом підлеглого регулювання. Таким чином вибір та налаштування регуляторів у кожному з контурів керування проводиться за окремими розрахунками. Передатна функція замкненої системи керування складатиметься з визначених каналів регулювання розглянутих параметрів.

$$W_{PC1} = \frac{1}{2T_{\mu}P} \cdot \frac{1}{W_{\kappa 1}} \cdot \frac{1}{K_{\pi} \cdot K_{OC}}; \quad (2.1)$$

$$W_{\pi} = \frac{K_{\pi}}{T_{\mu}P + 1}; \quad (2.2)$$

$$W_{PC2} = \frac{R_1'(T_1'P + 1)}{2T_{\mu}K_{\pi}K_{OC}}; \quad (2.3)$$

2.3. Мікропроцесорна система керування

Розглянемо алгоритми керування перетворювачем частоти що живить асинхронний електричний двигун.

Для обчислення параметрів системи керування використовується мікроконтролер який забезпечує швидку обробку отриманих даних та здійснює передавання інформації за каналами зв'язку.

Для обробки інформації з датчиків використовуються цифро-аналогові перетворювачі сигналів.

Представимо програму та алгоритм роботи перетворювача частоти.

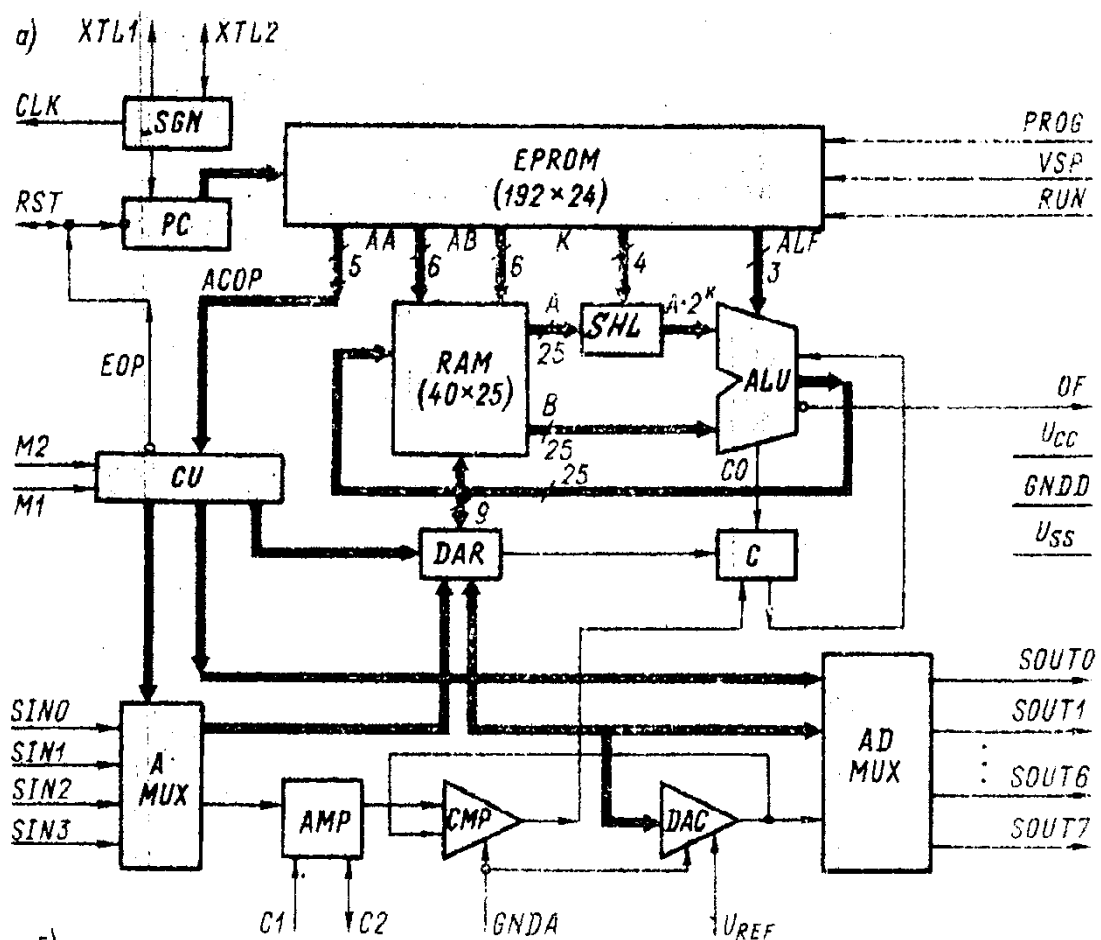


Рис. 2.2 – Програма та алгоритм роботи перетворювача частоти

2.4. Структура системи керування електроприводом насоса

Автоматизована система керування насосною установкою передбачає у своєму комплексі наявність пристроїв контролю та управління системою водовідведення.

Для узгодження режимів роботи насосної установки з іншими складовими системи водовідведенням використовується диспетчерський пульт який встановлюється у приміщенні головного диспетчеру. Таке компонування забезпечує трирівневу структуру системи керування що відповідає наявності верхнього та нижнього керуючого впливу. При цьому на верхньому рівні відбувається збір та обробка інформації а також формуванням керуючих завдань які відправляються на нижні рівні системи регулювання. На більш низьких рівнях відбувається формування керуючих впливів та передача відповідних сигналів зворотних зв'язків.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

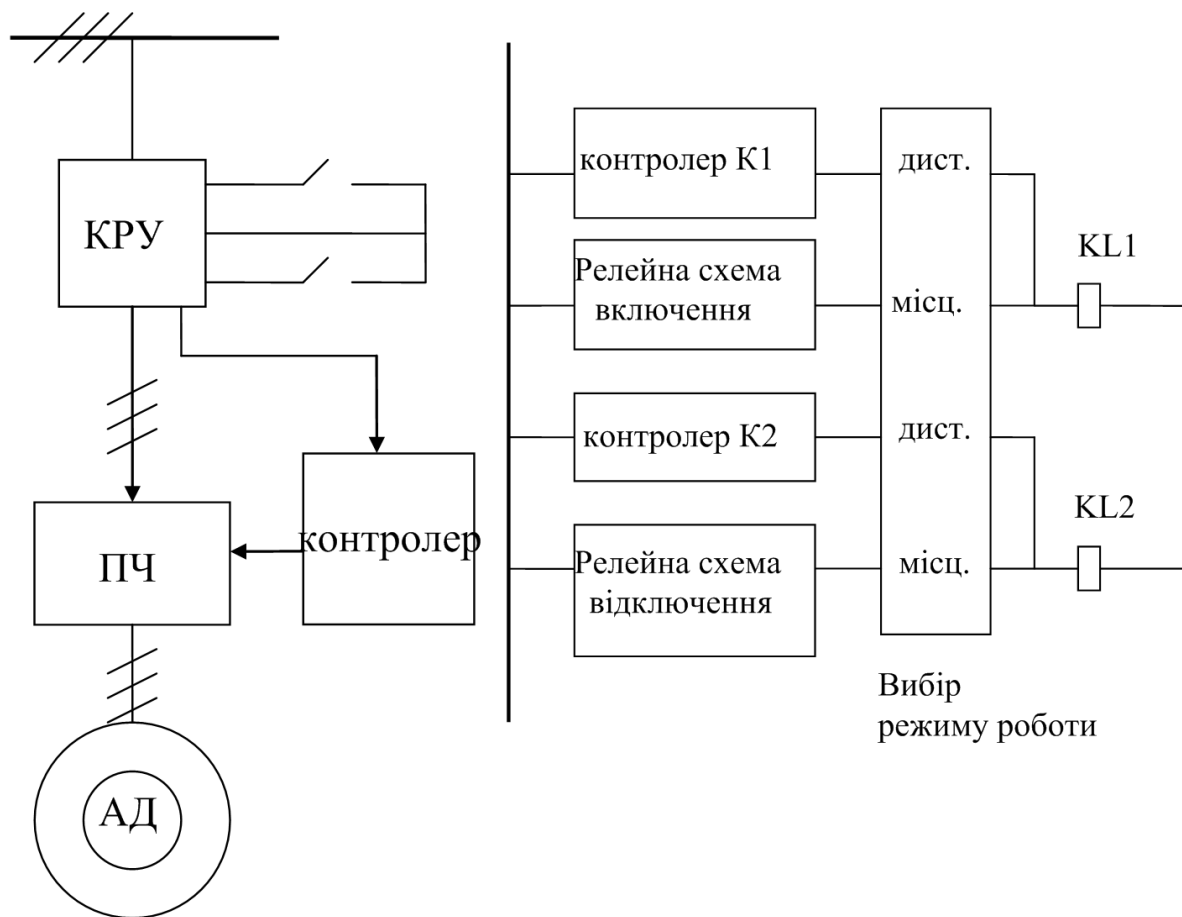


Рис. 2.3 – Структура системи керування електроприводом насоса

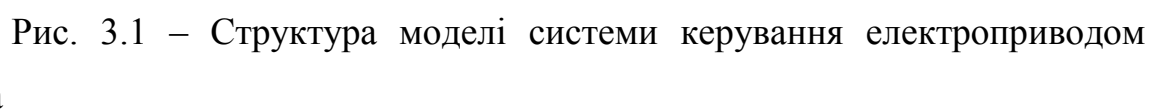
Розділ 3. Моделювання динамічних режимів роботи електропривода насоса

3.1. Структура моделі системи керування електроприводом насоса

Розглянемо структуру моделі асинхронного двигуна який керується частотним перетворювачем. Система керування орієнтована за потокозчепленням ротора електричної машини. Причому враховується коефіцієнт насичення сталі електричної машини та залишковий магнітний потік.

Структура складається з постійних та змінних блоків регуляторів та зворотних зв'язків що пов'язують систему з структурою верхнього рівня керування. У структурі синтезовано регулятори струмів частоти обертання та магнітного потоку. Контури частоти обертання та магнітного потоку містять блоки зворотних зв'язків побудовані за принципом підлеглого регулювання.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Розділ 3	Літ.	Лист	Листів
Розробив	Скоропадєнко АІ						32	5
Перевірів	Берідзе Т.М.							
Реценз.						КНУ ЕЕМ-22ск		
Н. Контр.	Берідзе Т.М.							
Затвердив	Пересунько І.І.							



ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10

3.2. Моделювання динамічних режимів роботи електропривода насоса

Розглянемо перехідні процеси у регульованому електроприводі з перетворювачем частоти та асинхронною машиною. Оскільки структурна схема моделі орієнтована за магнітним потоком ротору електричної машини то розглянуті у попередніх розділах рівняння можна спростити до аналогічних рівнянь машини постійного струму. Отже регулювання у представлений моделі буде здійснюватись за визначенням коефіцієнту магнітного потоку.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

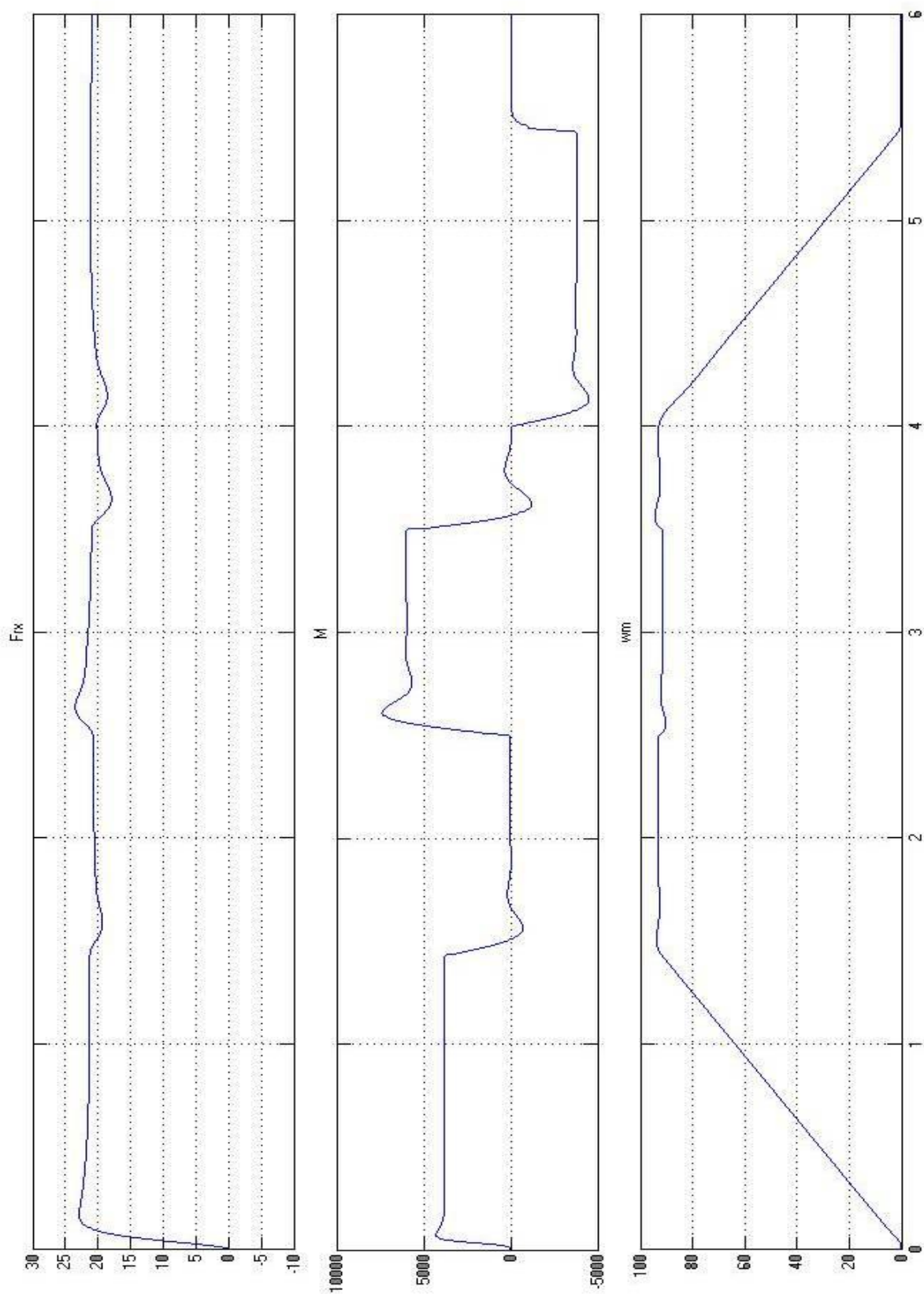


Рис. 3.2 – Моделювання динамічних режимів роботи електропривода насоса

3.3. Показники якості системи керування електроприводом насоса

Моделювання перехідних процесів у асинхронному електроприводі дозволяє здійснити дослідження якості режимів роботи електричної машини. Так можна бачити що перехідні процеси у контурі швидкості при пуску мають швидкоплинний характер.

При регулюванні моменту асинхронного двигуна відбувається накидання навантаження але як можна бачити з наведених осцилограм як струм так і момент асинхронної машини не досягають своїх критичних значень. Також слід зазначити що статизм у замкненій системі не перевищує заданих показників.

$$\Delta\% = \frac{\omega_0 - \omega_1}{\omega_0} = 0,0516\% \quad (3.1)$$

Якщо $D=5$, то статизм:

$$\Delta_{\%} = \Delta\% \cdot D = 0,0516 \cdot 5 \approx 0,26\% \quad (3.2)$$

Висновки

У першому розділі було наведено опис насосної установки а також надано характеристики та представлено зовнішній вигляд а також кінематична схема електроприводу.

На основі даних щодо продуктивності насосної установки а також місця розташування обладнанням було сформовано вимоги до електроприводу насосного агрегату.

Як перспективну було розглянуто систему перетворювач частоти асинхронний двигун та обрано за базову систему регулювання параметрів насосної установки.

Також було розраховано потужність асинхронного двигуна а за схемою заміщення розраховано статичні характеристики електроприводу насосної установки.

Енергетичні характеристики системи регульованого електроприводу насосної установки з використанням перетворювача частоти що живить асинхронний двигун показали високу ефективність такого впровадження.

У другому розділі було проаналізовано режими роботи насосної установки та сформовано вимоги до системи керування.

Було обрано перетворювач частоти для живлення асинхронної електричної машини та розраховано контури керування параметрів насосної установки.

За базову обрана двоконтурна система регулюванням з підлеглими блоками керування у кожному з відокремлених контурів.

Система керування була налаштована таким чином щоб здійснювати розрахунки струмів напруги та потокозчеплення асинхронної машини.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-10	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для забезпечення роботи системи керування було розраховано датчики струму та напруги, обрано мікропроцесорний пристрій для здійснення розрахунків та визначенням сигналів завдання до перетворювача частоти.

Також було розроблено принципову схему електроприводу насосного агрегату з асинхронним двигуном та перетворювачем частоти.

У третьому розділі були досліджені динамічні процеси у розімкненій та замкненій системі регулювання.

Слід зазначити що розімкнена система регулювання не задовольняла вимогам завдання до електроприводу насосного агрегату.

Система замкненого регулювання з налаштованими регуляторами струмів потокозчеплення та частоти обертання має більш гнучкі динамічні показники та більш жорсткі статичні характеристики.

По отриманим графікам перехідних процесів у динамічних режимах роботи насосної установки можна бачити що при правильному налаштуванні контурів регулювання система частотного регульованого асинхронного електроприводу насосного агрегату забезпечує стійкість у перехідних режимах та майже абсолютно жорсткість статичних характеристик.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.250-01	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		