

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

«Електромеханічне обладнання головної водовідливної установки кар'єру №3
ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг»

Виконав:

студент групи ЕЕМ-21-1 _____ О.О. Наріщенко

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

Нормоконтролер _____ к.т.н., доц. О.В. Ільченко

Декан ЕТФ _____ к.т.н., доц. В.О. Федотов

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

Кривий Ріг

2025 р.

Реферат

__сторінок, __таблиць, __рисуноків, __джерел літератури.

Тема кваліфікаційної роботи: «Електромеханічне обладнання головної водовідливної установки кар'єру №3 ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг».

В першому розділі роботи виконано розрахунок водовідливної системи кар'єру, який проведений з метою визначення потрібної подачі та напору насосів, діаметрів трубопроводів, коефіцієнтів гідравлічного тертя в системі, встановлення витратної характеристики трубопровідної мережі. Зроблено вибір за каталогом відцентрового насосу, дана його технічна характеристика, наведено опис його складових частин. Для привода насосу за потрібною потужністю та частотою обертання обрано асинхронний короткозамкнений високовольтний двигун, наведені його каталожні дані, показані габаритні та приєднувальні розміри.

Другий розділ роботи включає опис системи регулювання швидкості приводного двигуна насосу на основі частотного перетворювача. Зроблено вибір закону частотного керування електроприводом. Складена схема заміщення асинхронного двигуна, розраховані її параметри. Представлені залежності для моменту, струму та коефіцієнту корисної дії двигуна були використані для побудови статичних механічних і швидкісних характеристик системи електропривода при частотному керуванні.

На основі потужності приводного двигуна обрано комплектний привод змінного струму, що включає частотний перетворювач, систему керування ним та систему мікроконтролерної діагностики. Представлена його технічна характеристика. Так як водовідливна установка є високоенергетичним об'єктом з широким спектром ресурсів економії електроенергії, розглянуті шляхи підвищення її енергоефективності.

Робота містить розрахунок системи електропостачання водовідливної установки, що включає: розрахунок сумарних електричних навантажень, вибір силових трансформаторів, визначення струмів короткого замикання, розрахунок та вибір кабельних ліній високої напруги, вибір вимірювальних трансформаторів струму та напруги, вибір комплектного розподільного пристрою для підключення головної водовідливної установки, вибір силового вимикача для підключення привода насосу. Також зроблено розрахунок основного обладнання електропостачання низької напруги. Усе обладнання перевірено на стійкість ударним струмам короткого замикання та термічну стійкість.

Ключові слова: частотний електропривод, насосна установка, асинхронний двигун.

					КНУ.РБ.141.25.248с.08.Р			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Нарищенко О.О.			Реферат	Літ.	Арк.	Аркуші
Перевір.		Ільчен						
Реценз.						гр. ЕЕМ-21-1		
Н. Контр.		Ільчен						
Затверд.		Перес						

ЗМІСТ

					КНУ.РБ.141.25.248с.08.3М			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Зміст			
Розроб.		Нарищенко О.О.						
Перевір.		Ільчен						
Реценз.								
Н. Контр.		Ільчен						
Затверд.		Перес			гр. ЕЕМ-21-1			
					Літ.	Арк.	Аркушів	

Вступ	7
РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБ'ЄКТУ ТА ЙОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ	9
1.1 Загальні відомості про виробництво і технологічний об'єкт	10
1.2 Розрахунок водовідливної системи	12
1.3 Визначення відцентрового насоса та приводного електродвигуна	14
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТЕХНОЛОГІЧНОГО МЕХАНІЗМУ	20
2.1 Регулювання швидкості двигуна насоса	21
2.2 Закон керування електроприводом	22
2.3 Розрахунок параметрів схеми заміщення електропривода	23
2.4 Побудова статичних характеристик системи ПЧ-АД	26
2.5 Енергетичні характеристики системи електропривода при частотному регулюванні	28
2.6 Частотний перетворювач живлення асинхронного привода	29
2.7 Засоби підвищення енергоефективності у водовідливній установці	34
РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ	38
3.1 Навантаження електростанції живлення водовідливної установки	39
3.2 Розрахунок параметрів та вибір трансформаторів	39
3.3 Струми короткого замикання в мережі живлення насосів	41
3.4 Параметри кабельної лінії напругою 6 кВ	43
3.5 Вимірювальний трансформатор напруги	44
3.6 Вимірювальний трансформатор струму	45
3.7 Вибір розподільного пристрою	46
3.8 Розрахунок та вибір силового вимикача	48
3.9 Розрахунок обладнання зі сторони низької напруги	49
ВИСНОВКИ	51
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	53

					Зміст	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

					КНУ.РБ.141.25.248с.08.ВС			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Нарищенко О.О.			Вступ	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Ільчен						
Реценз.						гр. ЕЕМ-21-1		
Н. Контр.		Ільчен						
Затверд.		Перес						

Видобуток корисних копалин як підземним, так і відкритим методом супроводжується значними обсягами притоку ґрунтових вод. З огляду на це, вкрай важливо реалізувати комплекс складних заходів для запобігання їх проникненню у кар'єрні виробітки. Частка витрат, спрямованих на дренажні роботи, може сягати 10-15% від загальних капіталовкладень у гірничі проєкти. Під час осушення родовищ, метою цих заходів є завчасне зменшення об'єму надходжень та тиску води, а також забезпечення її контрольованого відведення за межі кар'єрного поля. Для виведення води з кар'єру створюються складні водовідливні системи, безперебійне функціонування яких гарантує безпечне розроблення родовищ та створює оптимальні умови для праці. Розбіжність між потужністю водовідливного обладнання та об'ємами притоку води зазвичай призводить до затоплення робочої зони кар'єру. Подібні інциденти часто є наслідком невірної підбору обладнання водовідливної системи без належного врахування прогнозованих обсягів водних притоків. Отже, розробка або оновлення водовідливної системи для кар'єру є критично важливим практичним завданням.

					Вступ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО
ОБ’ЄКТУ ТА ЙОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ

					КНУ.РБ.141.25.248с.08.Р1			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Характеристика технологічного об’єкту та електромеханічного обла-	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Нарищенко О.О.						
Перевір.		Ільчен						
Реценз.								
Н. Контр.		Ільчен				гр. ЕЕМ-21-1		
Затверд.		Перес						

1.1 Загальні відомості про виробництво і технологічний об'єкт

Кар'єр №3 на "АрселорМіттал Кривий Ріг" є одним з основних об'єктів гірничодобувного виробництва підприємства, що відіграє ключову роль у забезпеченні сировинної бази. Ось його коротка характеристика:

- **Призначення:** кар'єр №3 призначений для відкритого видобутку залізної руди, зокрема залізистих кварцитів. Також під час видобутку корисної копалини вилучаються значні обсяги окислених кварцитів, які складаються для подальшого використання.
- **Розташування:** розробляє запаси Валявкінського родовища.
- **Запаси:** кар'єр №3 має значні балансові запаси залізної руди в межах свого контуру (до 322,7 млн тонн), а також позабалансові запаси.
- **Глибина:** гірничі роботи ведуться на різних горизонтах, з уступами висотою 12 м (від денної поверхні до +30 м) і 15 м (нижче цієї відмітки до дна кар'єру). Середня глибина кар'єрів Кривбасу може сягати до 400 м.
- **Динаміка робіт:** основні видобувні роботи зосереджені на нижніх горизонтах, а також на сході, півдні та півночі кар'єру. Активно відбувається просування гірничих робіт по східному борту, формуючи кінцеві контури кар'єру по окислених кварцитах.
- **Технології:** для підвищення ефективності видобутку та зменшення втрат руди розглядаються можливості застосування технологій попереднього збагачення, зокрема, комплекси обладнання з крутопохилими конвеєрами.
- **Екологічний аспект:** планується будівництво нових відвалів (наприклад, "Степовий-2") для складування окисленої руди, що також передбачає заходи з рекультивації та мінімізації впливу на довкілля.

Таким чином, кар'єр №3 є стратегічно важливим об'єктом для "АрселорМіттал Кривий Ріг", забезпечуючи значну частину сировини для металургійного виробництва.

Головна водовідливна установка (ГВУ) кар'єру №3 на "АрселорМіттал Кривий Ріг" є критично важливим елементом для забезпечення безперебійної та безпечної роботи кар'єру. Її основна функція – відкачування ґрунтових та атмосферних вод, що надходять у кар'єрну виїмку, на поверхню або в спеціальні водозбірники. Можна виділити деякі загальні аспекти [1-3]:

1. **Призначення:** забезпечення осушення кар'єру. Це дозволяє підтримувати сухі умови для роботи гірничого обладнання,

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечувати стійкість бортів кар'єру та запобігати затопленню нижніх горизонтів.

2. Склад обладнання: головна водовідливна установка зазвичай складається з:

- Насосних агрегатів: Це можуть бути потужні відцентрові насоси, часто багатоступінчасті, розраховані на великий напір (висоту підйому води) і значну продуктивність (об'єм води, що перекачується за одиницю часу). З огляду на глибину кар'єрів Кривбасу (до 400 м), насоси повинні бути дуже потужними.
- Електродвигунів: Для приводу насосів використовуються високовольтні асинхронні електродвигуни великої потужності.
- Системи трубопроводів: Мережа труб для транспортування води від насосів до місця скидання.
- Запірної арматури: Засувки, клапани для регулювання потоку води.
- Системи автоматизації та керування: Для моніторингу роботи, контролю рівня води, керування насосами, захисту від аварійних ситуацій. Сучасні системи часто включають частотні перетворювачі для регулювання продуктивності та енергозбереження.
- Дренажних систем: Водозбірні зумпфи та канали всередині кар'єру, що направляють воду до місця забору насосами.

3. Режим роботи: водовідливні установки працюють у безперервному або повторно-короткочасному режимі, залежно від інтенсивності притоку води (пори року, опадів, рівня ґрунтових вод).

4. Енергоспоживання: це дуже енергоємні об'єкти, оскільки перекачування великих обсягів води з великих глибин вимагає значних витрат електроенергії. Модернізація систем електроприводу, зокрема з використанням частотних перетворювачів, спрямована на оптимізацію цього споживання.

5. Вимоги до надійності: через критичну важливість для роботи кар'єру, до водовідливних установок висуваються високі вимоги щодо надійності та безперебійності роботи. Зазвичай передбачається резервування насосів та джерел живлення.

6. Модернізація: зважаючи на вік багатьох гірничодобувних підприємств в Україні, системи водовідливу часто модернізуються. Це включає заміну старих насосів на більш ефективні, впровадження регульованих електроприводів (наприклад, з високовольтними перетворювачами частоти), автоматизацію та диспетчеризацію.

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загалом, головна водовідливна установка кар'єру №3 "АрселорМіттал Кривий Ріг" є комплексом високопродуктивного насосного та електричного обладнання, що забезпечує життєво важливу функцію осушення кар'єру для ефективного видобутку залізної руди.

1.2 Розрахунок водовідливної системи

Проектування водовідливної установки починається з визначення максимально можливого добового притоку води в кар'єрі, який в даному випадку становить $Q=1300$ м³/добу.

Мінімально необхідна подача насосної установки — це відкачування цього добового обсягу води протягом 20 годин. Якщо насоси працюють паралельно, мінімально необхідна подача одного насоса розраховується [2]:

$$Q_{\min} = \frac{24 \cdot Q}{20 \cdot n_{\text{нас}}} = \frac{24 \cdot 1300}{20 \cdot 6} = 260 \text{ м}^3/\text{год} \quad (1.1)$$

де $n_{\text{нас}}$ — кількість насосів в роботі.

Відповідно до норм проектування водовідливних систем [1], окрім постійно діючих насосів, необхідно передбачити один додатковий насос для резервування та ще один для заміни під час поточного ремонту. Таким чином, загальна кількість насосів сягає 8 штук.

Орієнтовний напір, який має забезпечувати насосна установка, визначається геодезичною висотою підняття води. Наразі головна водовідливна установка працює на горизонті -210 метрів, а вода перекачується на відмітку +65 метрів. Отже, необхідна висота підйому складає 275 метрів. Потрібний напір насосу:

$$H' = \frac{H_{\Gamma}}{\eta_{\text{тр}}} = \frac{275}{0,9} = 305 \text{ м} \quad (1.2)$$

Діаметр трубопроводу на ділянці підйому

$$d_{\text{н}} = \sqrt{\frac{4Q}{3600v_{\text{н}}\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 260}{3600 \cdot 2,0 \cdot 3,14}} = 0,21 \text{ м} \quad (1.3)$$

де $v_{\text{н}}$ — оптимальна швидкість води за економічною доцільністю.

Беручи до уваги зменшення діаметру в процесі експлуатації, обираємо стандартну трубу $d_{\text{н}} = 350$ мм зі стінками 5 мм.

Швидкість води на ділянці всмоктування повинна біти у межах 1,5 – 2,25 м/с, тому приймаємо $v_{\text{вс}} = 1,75$ м/с.

Діаметр трубопроводу на ділянці всмоктування:

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$d_{\text{вс}} = 0,0188 \sqrt{\frac{Q}{v_{\text{вс}}}} = 0,0188 \cdot \sqrt{\frac{260}{1,75}} = 0,229 \text{ м} \quad (1.4)$$

Приймаємо трубу $d_{\text{вс}} = 270$ мм з товщиною стінки 4 мм.

Довжина напірної частини трубопроводу:

$$L_{\text{н}} = \frac{H_{\text{г}}}{\sin(\alpha)} + l_1 + l_2 = \frac{275}{\sin(35^\circ)} + 30 + 23 = 533 \text{ м} \quad (1.5)$$

де α – уклон трубопроводу; l_1 – довжина трубопроводу в межах насосної станції; l_2 – довжина трубопроводу на поверхні.

Коефіцієнт гідравлічного тертя для трубопроводу у напірній ділянці:

$$\lambda_{\text{н}} = \frac{0,0195}{\sqrt[3]{d_{\text{н}}}} = \frac{0,0195}{\sqrt[3]{0,35}} = 0,028 \quad (1.6)$$

Коефіцієнт гідравлічного тертя для трубопроводу у всмоктувальній ділянці:

$$\lambda_{\text{вс}} = \frac{0,0195}{\sqrt[3]{d_{\text{вс}}}} = \frac{0,0195}{\sqrt[3]{0,27}} = 0,03 \quad (1.7)$$

Еквівалентна довжина прямолінійного трубопроводу, яка враховує місцеві опори в напірній системі, становить:

$$l_{\text{е}}^{\text{н}} = \frac{\sum \xi_{\text{н}} \cdot d_{\text{н}}}{\lambda_{\text{н}}} = \frac{1,0 \cdot 1 \cdot 0,35 + 0,18 \cdot 3 \cdot 0,35 + 0,24 \cdot 1 \cdot 0,35}{0,028} = 22,63 \text{ м} \quad (1.8)$$

де $\xi_{\text{н}}$ – коефіцієнти місцевих опорів трубопроводу в частині всмоктування, позначені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Опори напірної частини трубопроводу

Арматура	Кількість	$\xi_{\text{н}}$
Вихід	1	1,0
Поворотне коліно з заокругленням	3	0,18
Засувка	1	0,24

Приведена довжина прямолінійного трубопроводу, що враховує місцеві опори на ділянці всмоктування:

$$l_{\text{е}}^{\text{вс}} = \frac{\sum \xi_{\text{вс}} \cdot d_{\text{вс}}}{\lambda_{\text{вс}}} = \frac{1,0 \cdot 1 \cdot 0,27 + 0,18 \cdot 6 \cdot 0,27 + 0,24 \cdot 1 \cdot 0,27}{0,03} = 20,88 \text{ м} \quad (1.9)$$

де $\xi_{\text{вс}}$ – коефіцієнти місцевих опорів трубопроводу в напірній частині, позначені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Опори частини всмоктування трубопроводу

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Арматура	Кількість	$\xi_{\text{вс}}$
Вихід	1	1,0
Поворотне коліно з заокругленням	6	0,18
Засувка	1	0,24

Коефіцієнти характеристики відповідно напірної частини трубопроводу і частини всмоктування:

$$K^2_{\text{н}} = \frac{\pi^2 d_{\text{н}}^5 g}{8\lambda_{\text{н}}} = \frac{3,14^2 \cdot 0,35^5 \cdot 9,8}{8 \cdot 0,028} = 2,27 \quad (1.10)$$

$$K^2_{\text{вс}} = \frac{\pi^2 d_{\text{вс}}^5 g}{8\lambda_{\text{вс}}} = \frac{3,14^2 \cdot 0,27^5 \cdot 9,8}{8 \cdot 0,03} = 0,57 \quad (1.11)$$

Витратна характеристика трубопроводу розраховується наступним чином:

$$\begin{aligned} H(Q) &= H_{\text{г}} + \left(\frac{L_{\text{н}} + l_{\text{е}}^{\text{н}}}{K^2_{\text{н}}} + \frac{L_{\text{вс}} + l_{\text{е}}^{\text{вс}}}{K^2_{\text{вс}}} \right) \frac{Q^2}{3600} = \\ &= 275 + \left(\frac{533 + 22,63}{2,27} + \frac{25 + 20,88}{0,57} \right) \cdot \frac{Q^2}{3600 \cdot 10^3} = \\ &= 275 + 0,0001Q^2 \end{aligned} \quad (1.12)$$

1.3 Визначення відцентрового насоса та приводного електродвигуна

Згідно з проведеними розрахунками, необхідні робочі параметри насоса становлять:

- Продуктивність (Q): 260 м³/год
- Висота підйому води (H): 305 м

Враховуючи постійне поглиблення кар'єру, що вимагає збільшення напору, обираємо зі списку багатоступінчастих секційних відцентрових насосів модель ЦНС 300-480. Основні експлуатаційні характеристики цього насоса наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Паспортні дані насоса ЦНС 300-480

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Подача номінальна, м ³ /год	300
Напір, м	480
Кількість секцій	8
Коефіцієнт корисної дії насосу (агрегату), %	70(66)
Середній інтервал роботи на відмову, год	3200
Середній ресурс роботи, год	5000
Середній термін служби, років	9
Максимальна потужність споживання, кВт	560
Частота обертання, об/хв	1475
Допустимий кавітаційний запас, м	4,5
Маса насосного агрегату, кг	5900
Габаритні розміри, мм	3625×1370×1565

Вибраний насос призначений для роботи з водою, що відповідає наступним критеріям. Водневий показник (рН) води має бути в межах 7-8,5. Вміст механічних домішок не повинен перевищувати 0,2% за масою, з твердими частинками розміром до 0,2 мм та мікротвердістю не більше 1,47 ГПа. Температура рідини, що перекачується, не повинна перевищувати 45°C. Максимальний тиск на вході в насос становить 0,3 МПа. Щодо змащування, норма витрат мастильних матеріалів на одну підшипникову камеру має бути від 160 до 220 грамів.

На рисунку 1.1 представлено поперечний переріз насоса типу **ЦНС 300** з позначенням його складових частин:

- 2 – Підшипник
- 3 – Задній кронштейн
- 4 – Втулка сальника
- 5 – Гайка ротора
- 6 – Набивка наскрізного плетіння
- 7 – Кільце розвантаження
- 8 – Втулка завантаження
- 9 – Дистанційна втулка
- 10 – Нагнітальна кришка
- 11 – Ущільнювальне кільце
- 12 – Корпус направляючого апарату
- 13 – Робоче колесо
- 14 – Вал

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 15, 36 – Направляючий апарат
- 16 – Робоче колесо першої ступені
- 16а – Кільце ущільнення
- 17 – Кран спускний
- 18 – Кришка всмоктування
- 19 – Стяжна шпилька
- 20 – Гайка
- 21 – Втулка гідрозатвора
- 23 – Передній кронштейн
- 24 – Втулка
- 25 – Муфта
- 26 – Передня кришка
- 27 – Кришка підшипника
- 28 – Втулка
- 29 – Відбійне кільце
- 30 – Кільце
- 31 – Кожух валу
- 32 – Кільце направляючого апарату
- 33 – Кільце ущільнення
- 34 – Гуомове кільце
- 35 – Робоче колесо
- 37 – Гуомове кільце
- 38 – Кільце
- 39 – Регулювальне кільце
- 40 – Гуомове кільце
- 42 – Диск з кільцем розвантаження
- 43 – Манжета
- 44 – Втулка підшипника
- 45 – Запобіжна шайба
- 46 – Кругла гайка
- 47 – Глуха кришка
- 48 – Болт
- 49 – Розвантажувальна трубка з фланцем.

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

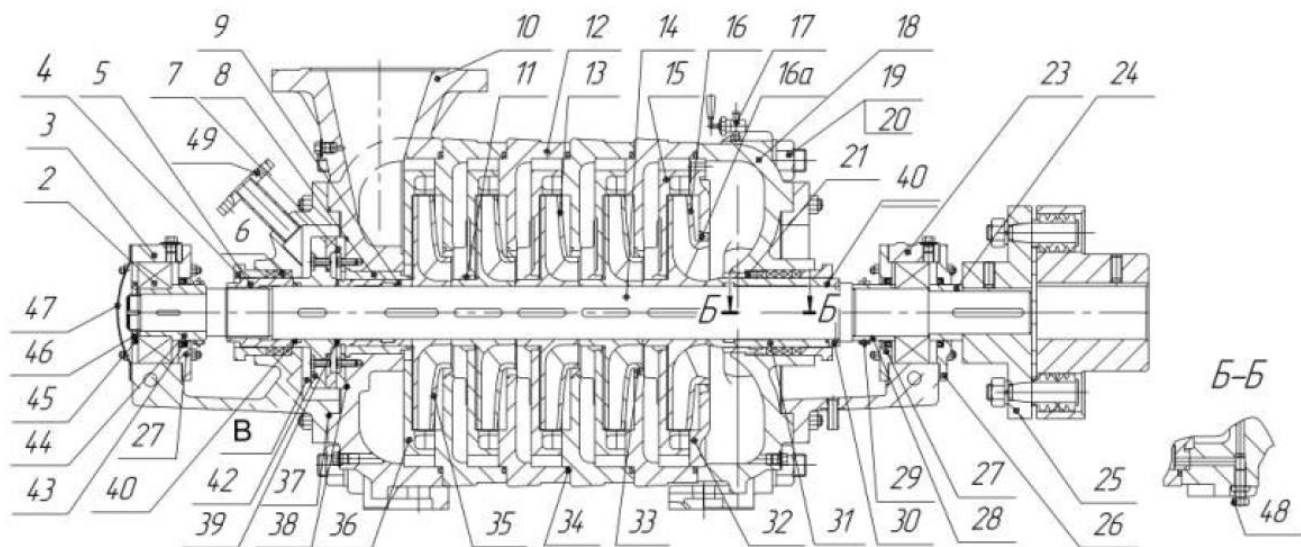


Рисунок 1.1 – Зображення насосу в поперечному перетині

Витратна характеристика насосу ЦНС 300-480 показана на сімействі характеристик насосів марки ЦНС серії 300 на рисунку 1.2 [3].

					Розділ 1	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

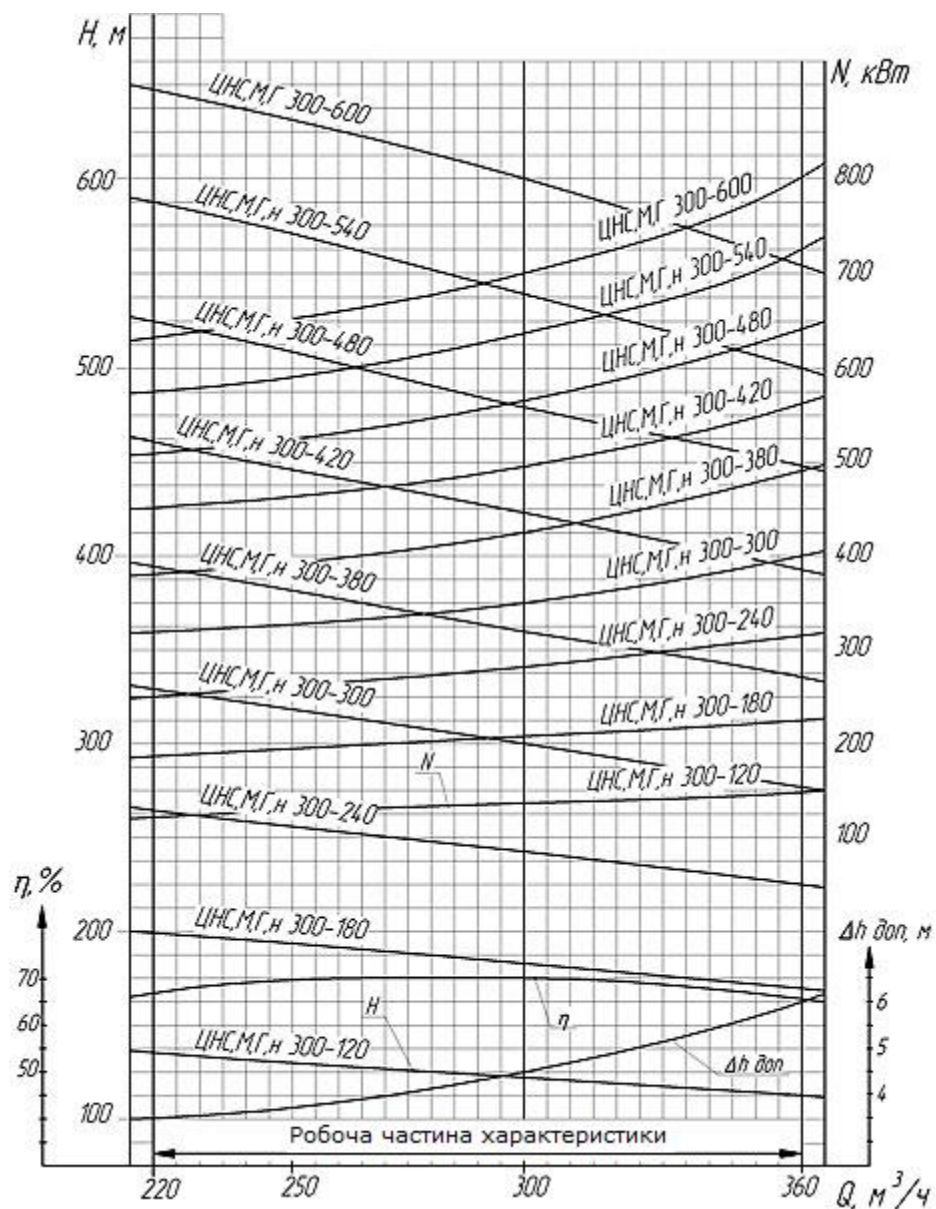


Рисунок 1.2 – Характеристики відцентрових насосів марки ЦНС 300

Розрахункова потужність приводу двигуна насоса згідно параметрів в номінальному режимі роботи:

$$P_{\text{дв}} = \frac{1,1 \cdot g \cdot \rho \cdot Q_{\text{нас}} \cdot H_{\Gamma}}{3600 \cdot \eta_{\text{нас}}} = \frac{1,1 \cdot 9,8 \cdot 1000 \cdot 300 \cdot 480}{3600 \cdot 0,7} = 616000 \text{ Вт} \quad (1.13)$$

Зважаючи на необхідну потужність на валу насоса та потрібну швидкість обертання його коліс, обираємо приводний асинхронний двигун з короткозамкненим ротором типу ВАО2-560М4 потужністю 630 кВт.

Базові розміри двигуна ВАО2-560М4 приведені на рисунку 1.3 та в таблиці 1.4.

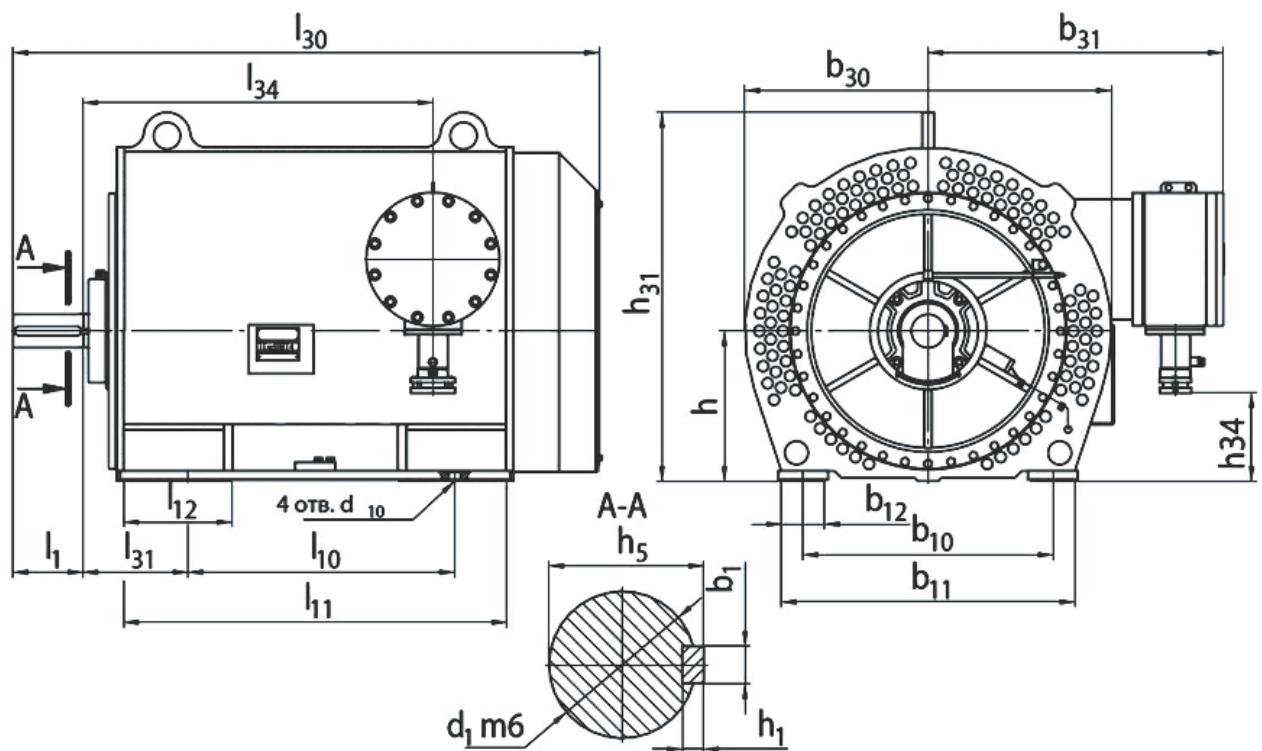


Рисунок 1.3 – Габаритні та приєднувальні розміри приводного двигуна насоса

Таблиця 1.4 – Розміри двигуна ВАО2-560М4

l_{31} , мм	d_1 , мм	d_{10} , мм	l_1 , мм	l_{10} , мм	l_{30} , мм	h , мм	h_5 , мм	h_{31} , мм	b_1 , мм	b_{10} , мм	b_{31} , мм	b_{32} , мм	m , кг
355	110	42	210	710	1745	560	117	1240	32	950	840	560	3350

Технічні характеристики приводного двигуна за паспортними даними наведено в таблиці 1.5.

На рисунку 1.4 представлені габаритні та приєднувальні розміри насосного агрегату в зібраному вигляді.

Таблиця 1.5 – Паспортні данні приводного двигуна ВАО2-560М4

<u>Тип</u>	асинхронний, короткозамкнений
Потужність номінальна на валу, кВт	630
Напруга живлення, В	6000
Номінальна частота обертання, об/хв.	1475
ККД, %	95,5
Коефіцієнт потужності	0,9
$I_{\text{ном}}/I_{\text{пуск}}$	6,5

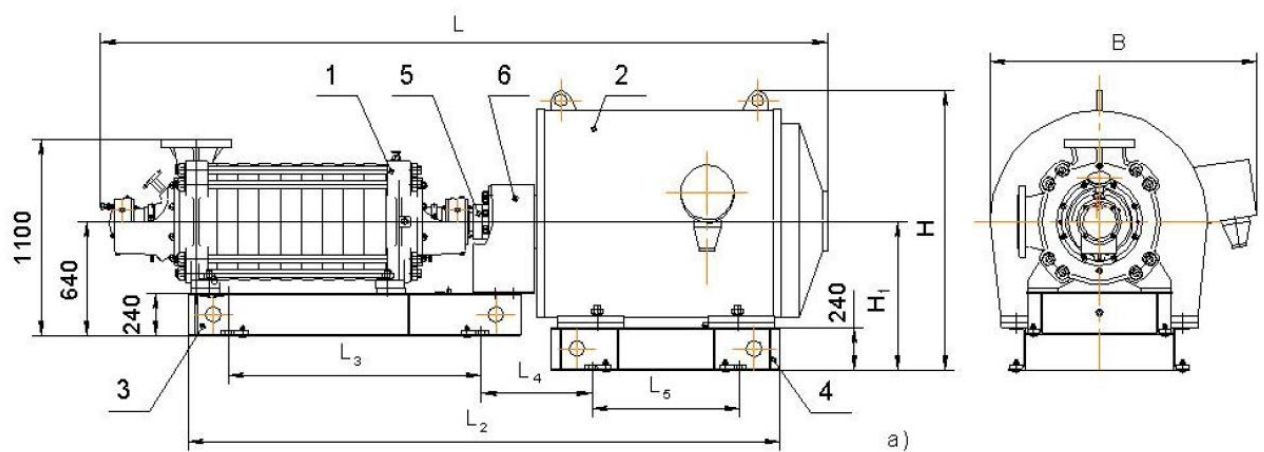


Рисунок 1.4 – Насосний агрегат в зборі: 1 – насос, 2 – електродвигун, 3 – рама, 4 – рама електродвигуна; 5 – муфта, 6 – кожух огорожі муфти

Таблиця 1.6 містить значення габаритних та приєднувальних розмірів насоса в зборі з приводним двигуном.

Таблиця 1.6 – Габаритні та приєднувальні розміри насосного агрегату

L_2 , мм	L_3 , мм	L_4 , мм	L_5 , мм	B_1 , мм	H_1 , мм	L , мм	B , мм	H , мм
3150	1340	610	740	950	830	3860	1420	1520

РОЗДІЛ 2

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА
ТЕХНОЛОГІЧНОГО МЕХАНІЗМУ

					КНУ.РБ.141.25.248с.08.Р2							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Аналіз системи електропривода технологічного				Літ.		Арк.	Аркушів
Розроб.		Нарищенко О.О.										
Перевір.		Ільчен										
Реценз.									гр. ЕЕМ-21-1			
Н. Контр.		Ільчен										
Затверд.		Перес										

2.1 Регулювання швидкості двигуна насоса

На сучасному етапі метод керування асинхронними машинами широко застосовується по всьому світу. Він розглядається не лише як засіб енергозбереження, а й для вдосконалення управління технологічними процесами. Асинхронні двигуни відрізняються широкою розповсюдженістю, надійністю, відносно доступною ціною та відмінними експлуатаційними якостями. Проте, системи регулювання швидкості їх обертання мали складну електронну систему зміни частоти напруги, що обмежувало їхнє поширення раніше.

Швидкий розвиток ринку частотних перетворювачів для асинхронних двигунів став можливим завдяки появі нової компонентної бази – силових модулів на базі IGBT. Ці модулі розраховані на струми до кількох кілоампер, напругу до кількох кіловольт та мають частоту комутації 30 кГц і вище [4].

Існують два основні види частотних перетворювачів: з безпосереднім зв'язком та з проміжним ланцюгом постійного струму. У першому випадку вихідна напруга синусоїдальної форми створюється з фрагментів синусоїд вхідної напруги. При цьому найбільше значення вихідної частоти не може дорівнювати частоті електромережі. Частота на виході таких перетворювачів зазвичай коливається в діапазоні від 0 до 25-33 Гц. Найбільш популярними стали частотні перетворювачі з проміжним контуром постійного струму, виконані на основі інверторів напруги.

Вимоги до електричного приводу залежать від діапазону необхідних швидкостей та виду навантаження. У цьому випадку навантаженням для двигуна є відцентровий насос, що має змінну механічну характеристику. Для нього момент навантаження збільшується зі зростанням швидкості обертання. Механічна характеристика насоса може бути описана рівнянням квадратичної параболи, а це означає, що споживана потужність пропорційна кубу швидкості обертання. З цього випливає, що навіть незначне зниження швидкості електропривода може дати значний приріст потужності, тому економія електроенергії є основною перевагою використання керованого електропривода для насоса. Теоретично, зменшення швидкості на 10% дає 30% економії потужності.

Залежно від співвідношення вихідної напруги та частоти, перетворювач забезпечує різні режими керування електродвигуном. Для регулювання електроприводів насосів застосовується квадратична залежність напруги та частоти. Цей режим дозволено використовувати для керування двигунами, що підключені паралельно. Проте, для підвищення якості управління приводом необхідно застосовувати інші, більш досконалі методи. До них належать метод керування потокозчепленням (Flux Current Control – FCC) та метод бездатчикового векторного керування (Sensorless Vector Control – SVC). Обидва підходи базуються на використанні адаптивної моделі електродвигуна, яка створюється за допомогою

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

спеціального обчислювального пристрою, що є частиною системи керування перетворювачем.

Найбільш точне та ефективне керування забезпечує режим векторного керування без датчика зворотного зв'язку за швидкістю (SVC). При цьому реалізується роздільне керування амплітудою та фазою статорного струму, тобто його вектором. Визначення поточного кута положення ротора відбувається за допомогою математичної адаптивної моделі двигуна. При цьому керуюча система повинна з високою точністю вимірювати значення вихідних струмів та напруг, виконувати розрахунок параметрів двигуна (опір статора, значення індуктивності розсіювання тощо), точно моделювати теплові характеристики двигуна в різних режимах його роботи, а також здійснювати великий обсяг обчислень з дуже високою швидкістю. Останнє досягається завдяки використанню спеціалізованих інтегральних схем ASIC у складі системи керування перетворювачем.

Застосування частотного регулювання приводів [5] дозволяє суттєво зменшити експлуатаційні витрати, пов'язані з обслуговуванням агрегатів та систем. Наприклад, зниження перепаду тиску між всмоктувальним і напірним патрубками насосного агрегату збільшує термін служби сальникових ущільнень, практично виключає гідроудари та забезпечує стабільність тиску в трубопроводах мереж, а також мінімізує витрати на обслуговування. Практичний досвід використання частотних перетворювачів для керування насосами доводить доцільність не просто підключення перетворювача для керування агрегатом, а створення спеціалізованих систем управління технологічним процесом. Саме такий підхід дозволяє досягти економічного ефекту не лише за рахунок зниження споживаної з мережі електричної потужності, а й суттєвого зменшення експлуатаційних витрат, поліпшення умов праці та збільшення терміну служби обладнання. Створення систем з частотно-регульованими приводами, де керування частотою здійснюється разом з контролем цілого комплексу різних технологічних параметрів, дозволяє знизити не тільки споживання електроенергії, а й забезпечує економію енергоресурсів усієї системи.

2.2 Закон керування електроприводом

Характеристики електроприводу в системі "перетворювач частоти – асинхронний двигун" значною мірою визначаються законом зміни напруги під час регулювання частоти живлення. Основний закон регулювання має наступний узагальнений вигляд:

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\frac{U_1}{U_{1H}} = \frac{f_1}{f_{1H}} \sqrt{\frac{M_c}{M_H}} \quad (2.1)$$

Базовий закон регулювання:

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const} . \quad (2.2)$$

Оскільки навантаженням електроприводу є насос, для якого характерна залежність $M_c = f(\omega)$, що означає зростання статичного моменту навантаження зі збільшенням частоти обертання:

$$M_c = M_H \left(\frac{\omega}{\omega_H} \right)^2, \quad (2.3)$$

З урахуванням рекомендацій, найбільш оптимальним у цьому випадку є такий закон частотного регулювання:

$$\frac{U_1}{f_1^2} = \text{const} . \quad (2.4)$$

Для розрахунку механічних характеристик як вихідні дані приймаємо параметри асинхронного двигуна при номінальній частоті живлення $f_H = 50$ Гц.

2.3 Розрахунок параметрів схеми заміщення електропривода

Розрахунок статичних характеристик асинхронного привода виконується на основі схеми заміщення (рисунок 2.1). Використана схема заміщення складена з рядом допущень, що дозволяють спростити розрахунки.

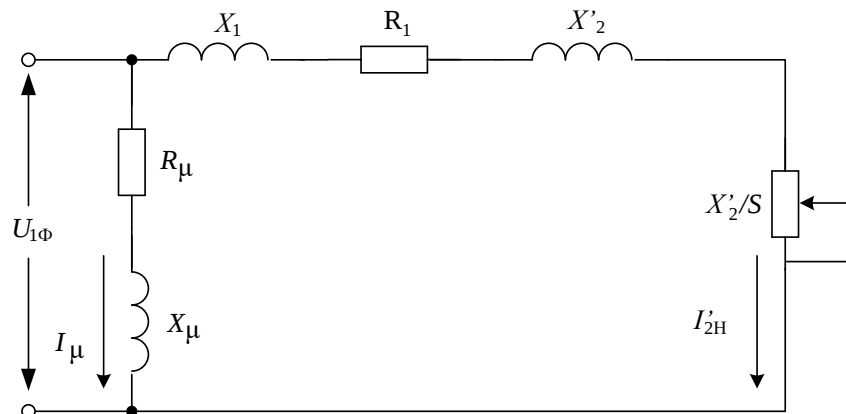


Рисунок 2.1 – Схема заміщення асинхронного двигуна

Номінальний струм двигуна:

$$I_H = \frac{P_H}{\sqrt{3} U_H \eta_H \cos \varphi_H} = \frac{630000}{\sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 0,955 \cdot 0,9} = 70,53 \text{ A} \quad (2.5)$$

де P_H – потужність двигуна; U_H – номінальна напруга лінійна; η_H – номінальний ККД; $\cos \varphi_H$ – коефіцієнт потужності.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Номинальний момент на валу двигуна:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{30 P_H}{\pi n_H} = \frac{30 \cdot 630000}{3,14 \cdot 1475} = 4079 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.6)$$

де ω_H – номінальна частота обертання двигуна, рад/с; n_H – швидкість двигуна в номінальному режимі роботи, об/хв.

Ковзання двигуна:

$$s_H = \frac{n_c - n_H}{n_c} = \frac{1500 - 1475}{1500} = 0,017 \quad (2.7)$$

Коефіцієнт потужності під час пуску двигуна:

$$\begin{aligned} \cos \varphi_H &= \cos \varphi_H \left[\mu \frac{\eta}{(1 - s_H) i_H} + v i_H (1 - \eta) \right] = \\ &= 0,9 \cdot \left[1,1 \cdot \frac{0,955}{(1 - 0,017) \cdot 6,5} + 0,33 \cdot 6,5 \cdot (1 - 0,9) \right] = 0,235 \end{aligned} \quad (2.8)$$

де i_H - кратність пускового струму; v – втрати потужності у статорі, як частина від загальних втрат двигуна у номінальному режимі, що у даному випадку становить 0,33; η – ККД двигуна.

Повний опір асинхронного двигуна:

$$Z_{K3} = \frac{U_H}{\sqrt{3} I_H i_H} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 70,53 \cdot 6,5} = 7,56 \text{ Ом} \quad (2.9)$$

Приведений активний опір ротора двигуна:

$$R_2' = \frac{M_H Z_{K3}^2}{K} = \frac{4079 \cdot 7,56^2}{2,33 \cdot 10^5} = 0,99 \text{ Ом} \quad (2.10)$$

де:

$$K = \frac{30 U_H^2}{\pi n_H} = \frac{30 \cdot 6000^2}{3,14 \cdot 1475} = 2,33 \cdot 10^5 \quad (2.11)$$

Активний опір статора асинхронного двигуна:

$$R_1 = Z_{K3} \cos \varphi_H - R_2' = 7,56 \cdot 0,235 - 0,99 = 0,78 \text{ Ом} \quad (2.12)$$

Індуктивний повний опір:

$$X_{K3} = Z_{K3} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H} = 7,56 \cdot \sqrt{1 - 0,235^2} = 7,35 \text{ Ом} \quad (2.13)$$

Активний повний опір двигуна:

$$R_{K3} = \sqrt{Z_{K3}^2 - X_{K3}^2} = \sqrt{7,56^2 - 7,35^2} = 1,78 \text{ Ом} \quad (2.14)$$

Загальний активний опір двигуна та перетворювача:

$$R_e = 2 R_{K3} + \frac{m}{2\pi} X_{K3} = 2 \cdot 1,78 + \frac{2}{2 \cdot 3,14} \cdot 7,35 = 5,89 \text{ Ом} \quad (2.15)$$

Сумарна індуктивність двигуна та перетворювача:

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$L_e = \frac{2X_{кз}}{\omega_H} = \frac{2 \cdot 7,35}{154,46} = 0,095 \text{ Гн} \quad (2.16)$$

Електромагнітна стала часу системи електропривода:

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{0,095}{5,89} = 0,016 \text{ с} \quad (2.17)$$

Стала часу ротора двигуна:

$$T_2 = \frac{L_2}{R_2} = \frac{2}{0,99} = 2,002 \text{ с} \quad (2.18)$$

Індуктивний опір кола намагнічування двигуна:

$$x_m = \frac{U_H}{\sqrt{3}I_{xx}} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 29} = 119,45 \text{ Ом} \quad (2.19)$$

Коефіцієнт ротора двигуна:

$$K_2 = \frac{L_m}{L_2} = \frac{0,77}{2,0} = 0,387 \quad (2.20)$$

де L_m – індуктивність контура намагнічування:

$$L_m = \frac{x_m}{\omega_c} = \frac{119,45}{314} = 0,77 \text{ Гн} \quad (2.21)$$

де I_{xx} – струм холостого ходу, який диктується намагнічуванням; ω_c – частота мережі живлення, рад/с.

Число пар полюсів:

$$p = \frac{60 f}{n_0} = \frac{60 \cdot 50}{1500} = 2 \quad (2.22)$$

де f – частота мережі живлення, Гц; n_0 – синхронна швидкість двигуна, об/хв.

Потокозчеплення двигуна у номінальному режимі:

$$\psi_{2H} = \frac{U_H - I_H R_1}{\omega_0} = \frac{6000 - 70,53 \cdot 0,78}{154,9} = 38,36 \quad (2.23)$$

Коефіцієнт моменту двигуна рівний:

$$k\Phi = \frac{3}{2} p K_2 \psi_{2H} = \frac{3}{2} \cdot 2 \cdot 0,387 \cdot 38,36 = 44,5 \quad (2.24)$$

Коефіцієнт передачі перетворювача визначається як відношення номінальної вихідної напруги перетворювача U_{Π} до номінальної напруги керування U_K :

$$k_{\Pi} = \frac{U_{\Pi}}{U_K} = \frac{6000}{10} = 600 \quad (2.25)$$

Стала часу перетворювача: $T_{\Pi} = 0,01 \text{ с}$.

Електромеханічна стала часу:

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T_m = \frac{J_{\Sigma} R_e}{(k\Phi)^2} = \frac{0,1 \cdot 5,89}{(44,5)^2} = 2,97 \cdot 10^{-4} \text{ с} \quad (2.26)$$

де J_{Σ} – сумарний момент інерції всіх механічних частин електроприводу разом з механізмом.

Коефіцієнт датчику струму:

$$k_{дс} = \frac{U_K}{I_{\max}} = \frac{U_K}{i_{\Pi} I_H} = \frac{10}{6,5 \cdot 70,53} = 0,022 \quad (2.27)$$

де $I_{\max}$ – максимальний струм двигуна.

Коефіцієнт датчика швидкості розраховуємо за наступним відношенням:

$$k_{дш} = \frac{U_K}{\omega_{\max}} = \frac{10}{154,9} = 0,065 \quad (2.28)$$

де $\omega_{\max}$ – максимальна кутова частота обертання ротора двигуна, яка рівна синхронній.

Коефіцієнт датчика потокозчеплення:

$$k_{дп} = \frac{U_K}{\Psi_{2H}} = \frac{10}{38,36} = 0,261 \quad (2.29)$$

2.4 Побудова статичних характеристик системи ПЧ-АД

Статична швидкісна характеристика системи привода ПЧ-АД розраховується наступним чином:

$$I_2'(s) = \frac{U_{\Phi}}{\sqrt{\left[\left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + (X_{кз} \cdot f^*)^2 \right]}} \quad (2.30)$$

де s – ковзання двигуна за фактичної швидкості ω , яке розраховується відповідно до виразу:

$$s(\omega) = \frac{\omega_0 \cdot f^* - \omega}{\omega_0 \cdot f^*} \quad (2.31)$$

f^* – частота живлення статорної обмотки двигуна у відносних одиницях. Визначається як відношення фактичної частоти живлення до стандартної промислової частоти:

$$f^* = \frac{f_1}{f_c} = \frac{f_1}{50} \quad (2.32)$$

Таким чином отриманий вираз для рівняння швидкісної характеристики:

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_2'(\omega) = \frac{U_\phi}{\sqrt{\left[\left(R_1 + \frac{R_2' \cdot \omega_0 \cdot f^*}{\omega_0 \cdot f^* - \omega} \right)^2 + (X_{кз} \cdot f^*)^2 \right]}} \quad (2.33)$$

Відповідно до наведеного виразу будуюмо статичні швидкісні характеристики для значень частоти живлення асинхронного двигуна 10, 20, 30, 40, 50 Гц. Графіки характеристик показані на рисунку 2.2.

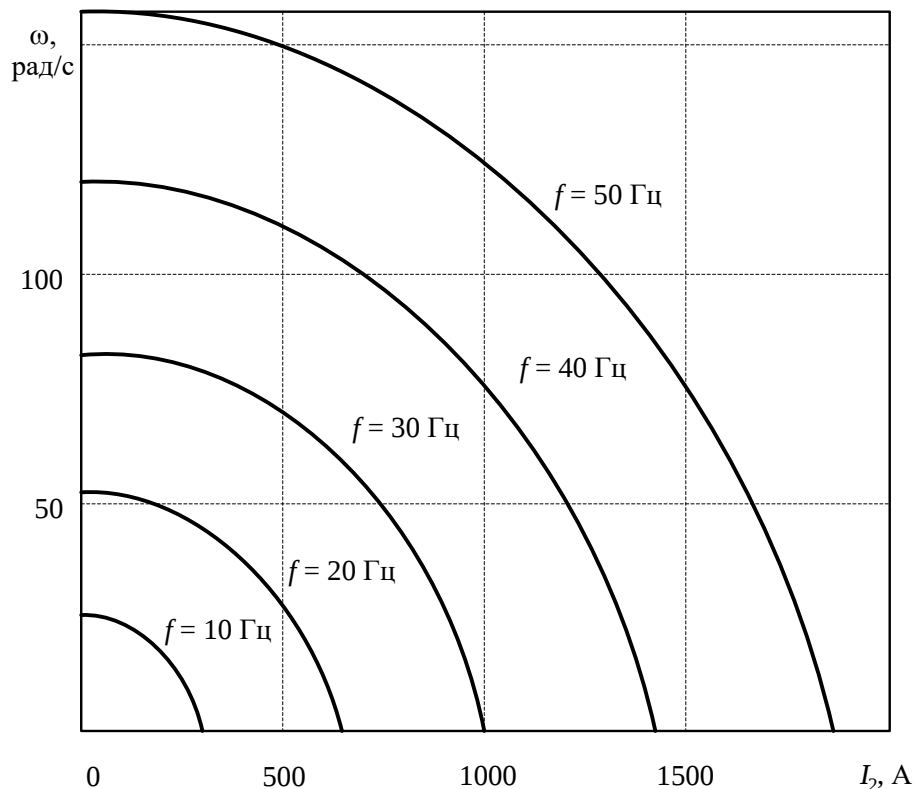


Рисунок 2.2 – Швидкісні характеристики для ряду частот живлення
Механічні характеристики асинхронного двигуна у випадку частотного регулювання розраховуються за таким виразом:

$$M = \frac{3 \cdot (U_{\phi, \text{ном}} \cdot \sqrt{f^*})^2 \cdot \frac{R_2' \cdot \omega_0 \cdot f^*}{\omega_0 \cdot f^* - \omega}}{\omega_0 \cdot f^* \cdot \left[\left(R_1 + \frac{R_2' \cdot \omega_0 \cdot f^*}{\omega_0 \cdot f^* - \omega} \right)^2 + (X_{кз} \cdot f^*)^2 \right]} \quad (2.34)$$

В результаті побудовані механічні характеристики для ряду значень частоти живлення, а саме 10, 20, 30, 40, 50 Гц. Отримані характеристики показані на рисунку 2.3

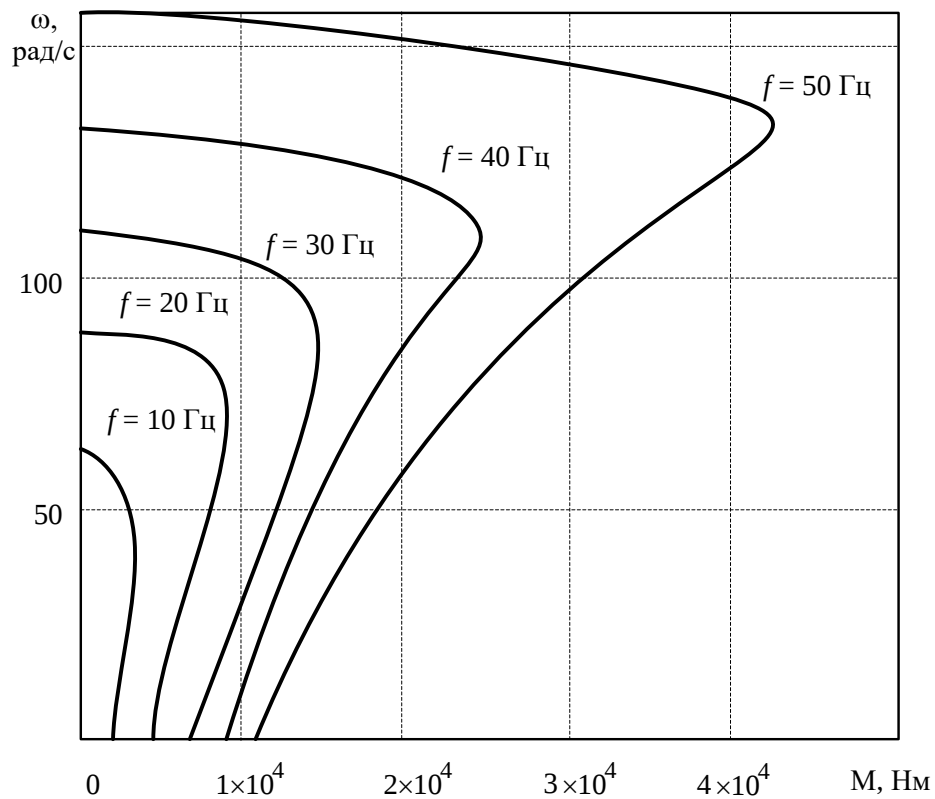


Рисунок 2.3 – Механічні характеристики для ряду частот живлення

2.5 Енергетичні характеристики системи електропривода при частотному регулюванні

Постійні втрати потужності розраховуються відповідно до формули:

$$\Delta P_{\text{пост}} = \Delta P_{\text{мех.н}} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_{\text{н}}} \right)^2 = k_{\text{мех}} \cdot P_{\text{н}} \cdot \frac{1-s(f)}{1-s_{\text{н}}} = k_{\text{мех}} P_{\text{н}} \frac{1 - \frac{\omega_0 \cdot f^* - \omega}{\omega_0 \cdot f^*}}{1-s_{\text{н}}} \quad (2.35)$$

де $k_{\text{мех}}$ – механічні втрати, що приймаються на рівні 0,015.

Змінні втрати потужності:

$$\Delta P_{\text{змін}} = M_{\text{н}} \cdot \frac{\omega_0 f^* - \omega}{\omega_0 f^*} \cdot \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right) + 3 \cdot I_1^2 \cdot R_1 \quad (2.36)$$

Загальні втрати потужності є сумою постійних та змінних втрат:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{\text{пост}} + \Delta P_{\text{змін}} \quad (2.37)$$

Коефіцієнт корисної дії розраховується наступним чином:

$$\eta = \frac{M\omega}{M\omega + \Delta P_{\Sigma}} 100, \% \quad (2.38)$$

На рисунку 2.4 показані залежності ККД від кутової частоти обертання при різній частоті живлення двигуна.

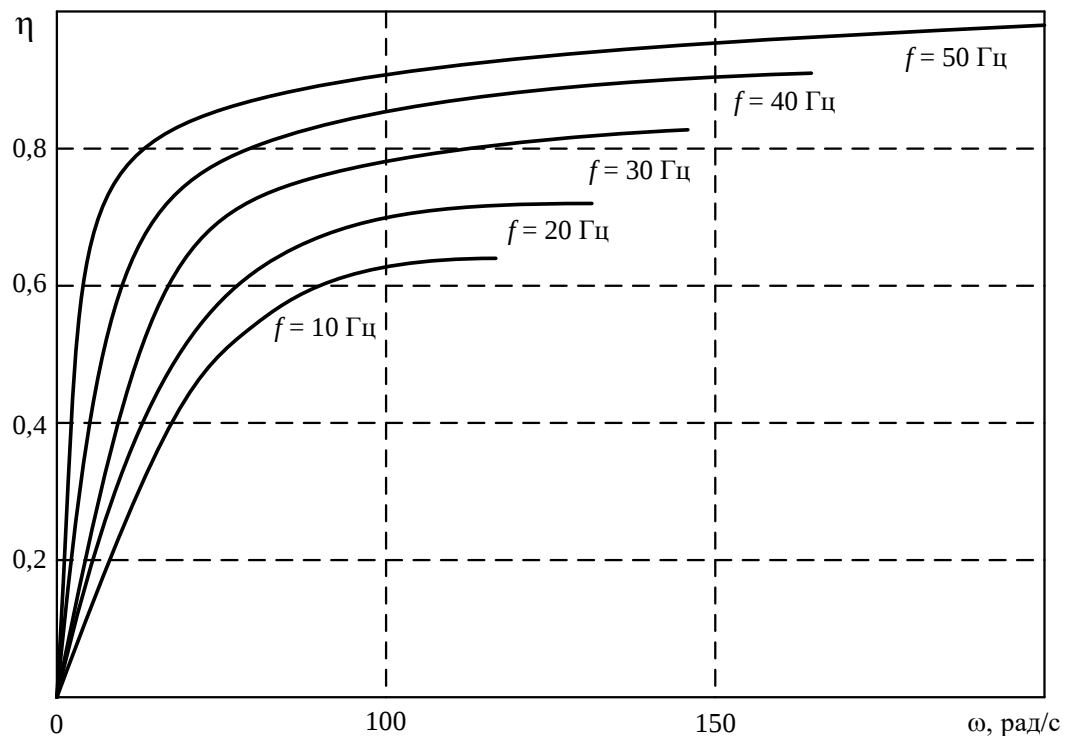


Рисунок 2.4 –Графіки ККД для різної частоти живлення двигуна

2.6 Частотний перетворювач живлення асинхронного привода

Вибір комплектного електроприводу змінного струму здійснюється за основними вимогами: номінальна активна потужність асинхронного двигуна $P_n=630$ кВт, номінальна напруга живлення $U_n=6000$ В. Спираючись на зазначені вимоги, обираємо високовольтний привід змінного струму серії ABS-DRIVE-A06/80.

ABS-DRIVE – це лінійка високовольтних перетворювачів частоти, призначених для регулювання швидкості як асинхронних, так і синхронних електродвигунів змінного струму. Перетворювачі частоти ABS-DRIVE відповідають вимогам стандарту IEEE 519 1992 щодо гармонійного перетворення струму та напруги, навіть якщо потужність джерела не перевищує номінальну потужність приводу. Приводи цієї серії також захищають інше обладнання (наприклад, комп'ютери, телефони та освітлювальні прилади) від гармонійних спотворень.

У складі частотно-регульованого приводу з високовольтними асинхронними та синхронними електродвигунами перетворювач ABS-DRIVE забезпечує необхідні режими роботи технологічного обладнання. Це виключає надмірне споживання двигуном електроенергії з мережі та її подальше

розсіювання у передачі. Також знижуються втрати у двигуні при зменшенні його навантаження. Привід ABS-DRIVE запобігає "перехресним спотворенням", що виникають внаслідок взаємодії з іншими перетворювачами частоти, підключеними до тієї ж мережі електропостачання.

порівняно з приводом з низьким коефіцієнтом електричної потужності (30%). Завдяки використанню багатообмоточного вхідного трансформатора, а також структурі силової схеми з багатьма секціями, споживаний перетворювачем частоти струм має практично синусоїдальну форму, що забезпечує відповідність показників якості. При цьому коефіцієнт електричної потужності перевищує 95% у всьому швидкісному діапазоні без використання зовнішніх конденсаторів для підвищення коефіцієнта електричної потужності. Це також сприяє стабілізації напруги. Крім того, не відбувається перевантаження за реактивною потужністю ліній, вимикачів та трансформаторів.

При роботі на низькій швидкості привід серії ABS-DRIVE забезпечує високу ефективність завдяки тому, що у всьому швидкісному діапазоні підтримується стабільно високий коефіцієнт електричної потужності з використанням стандартних асинхронних двигунів. При розробці серії приводів з частотним регулюванням ABS-DRIVE закладено синусоїдальну характеристику вихідного струму без використання зовнішніх вихідних фільтрів. Це забезпечує низький ступінь спотворення приводом синусоїди вихідної напруги, завдяки чому знижується шум роботи двигуна. Крім того, немає необхідності деформувати двигуни; привід можна підключити до нового або наявного двигуна з експлуатаційним коефіцієнтом 1,0.

Привід ABS-DRIVE запобігає виникненню шкідливих гармонік, що викликають надмірне нагрівання двигуна. Пульсації електромагнітного моменту при роботі приводу також відсутні (навіть на малій швидкості), що знижує навантаження на механічне обладнання. Значення градієнта напруги у звичайному режимі dU/dt також знижені до мінімуму. Перетворювач частоти складається з інтегрованого вхідного трансформатора, секції силових комірок та секції мікроконтролерного обладнання (рисунок 1.5).

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.5 – Зображення перетворювача частоти типу ABS-DRIVE-A

Основні переваги комплектного перетворювача частоти ABS-DRIVE:

- багаторівнева схема формування вихідної напруги, що забезпечує синусоїдальну форму вихідного струму при повній відсутності вищих гармонік;
- відсутність необхідності установки вихідних фільтрів електродвигуна для поліпшення форми вихідного струму;
- інтегрований силовий багатообмоточний трансформатор у складі єдиного щита й новітня схема побудови перетворювальної частини забезпечує синусоїдальну форму струму споживання та повну відсутність впливу на мережу живлення вищих гармонік;
- невисока вартість;
- довжина кабелю підключення електродвигуна допустима до 1000 м, що дає можливість зручного розташування обладнання.
- вбудована функція роботи на групу насосів з підхопленням резервних насосів і їх переводом на роботу від мережі 6 (10) кВ (функція Multipump);
- функція автоматичного шунтування (функція Bypass) перетворювача частоти при спрацьовуванні захистів, що викликають його відключення, і переключення електродвигуна на пряму роботу від мережі 6 кВ;
- наявність у базовій комплектації: вбудованого багатофункціонального пульта керування; окремої світлової й

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

звукової сигналізації на дверцятах щита; докладного меню; відладочного програмного забезпечення.

- висока надійність роботи, тому що навіть у випадку відмови декількох силових комірок продовжиться регулювання електродвигуна зі зниженням вихідної потужності до планового ремонту перетворювача;
- система захистів і система самодіагностики несправностей;
- вбудований багатофункціональний ПД-регулятор, що забезпечує ефективне автоматичне регулювання технологічного параметру (напору та витрати);
- можливість комплектування й погодженої роботи широкої гами додаткового обладнання: (місцеві й дистанційні пульти операторів, високовольтні електродвигуни, комірки КРП, технологічне устаткування т.д.).

Вбудована в модуль керування перетворювачем система захисту та контролю значно підвищує надійність приводу, забезпечуючи наступні можливості:

- Захист від перегріву випрямляча, інвертора та вузла скидання енергії, у тому числі при зникненні примусової вентиляції.
- Струмний захист від перевантаження за часом.
- Захист від перегріву двигуна (за наявності вбудованого термодатчика).
- Максимальний струмний захист.
- Захист від надмірного підвищення й зниження напруги мережі
- Захист від перенапруг
- Захист від відкриття дверцят щита
- Захист при відмові силової секції з одночасним її шунтуванням; зниженням вихідної потужності та збереженням регулювання електродвигуна.
- Захист від коротких замикань всередині та на виході перетворювача частоти.
- Захист від зникнення напруги мережі, у тому числі від обриву фази.

Основні технічні характеристики частотного перетворювача серії ABS-DRIVE-A06/80 наведені в таблиці 1.7.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.7 – Паспортні характеристики привода серії ABS-DRIVE-A06/80

Найменування параметра	Значення
Напруга живлення, кВ	6,0
Частота живильної мережі, Гц	50
Номінальна потужність двигуна, кВт	630
Номінальний вихідний струм, А	80
Номінальна вихідна напруга перетворювача, кВ	6,0
Габаритні розміри:	
ширина, мм	3900
висота, мм	2480
глибина, мм	1200
Вага, кг	4000
Коефіцієнт потужності (при роботі під навантаженням не менш, ніж 20% від номінальної)	0,95
ККД під повним навантаженням	> 0,96
Діапазон зміни вихідної частоти, Гц	від 0,5 до 120
Дискретність вихідної частоти, Гц	0,01
Перевантажувальна здатність	120% від номінального струму впродовж 1 хв.
Вхідні типові сигнали	4 канали (0...10 В, 4...20 мА)
Вихідні типові сигнали	2 канали (0...10 В, 4...20 мА)
Час розгону/гальмування, с	від 0,1 до 3000
Умови навколишнього середовища для роботи, °С	від 0 до +40
Умови навколишнього середовища для зберігання й транспортування, °С	від -40 до +70
Спосіб охолодження	повітряне, водне (замкнутий контур охолодження)
Допустима вологість	< 90%, без конденсації
Ступінь захисту корпусу	IP21
Протоколи зв'язку з АСУТП верхнього рівня	Modbus RTU, Profibus DP, Device Net, Ethernet і т.д.

Принципова схема перетворювача зображена на рисунку 1.6.

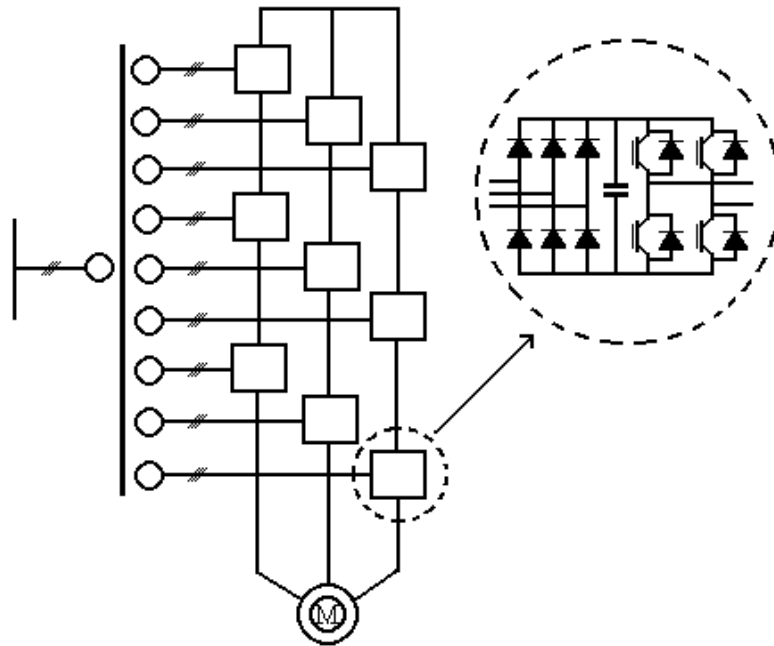


Рисунок 1.6 – Принципова схема перетворювача

2.7 Засоби підвищення енергоефективності у водовідливній установці

Функціонування системи водовідливу тісно переплітається із загальною динамікою переміщення рідин. Поширеною причиною неекономічності роботи насосного обладнання є розбіжність між його робочими показниками (тиском і обсягом подачі) та вимогами трубопровідної мережі. За певних обставин це може спричинити не лише фінансово невигідні, а й потенційно шкідливі режими експлуатації як для самих насосів, так і для всієї системи трубопроводів.

Для досягнення економічних та безпечних умов функціонування насосних комплексів першочергово необхідно грамотно підібрати компоненти насосного парку, знайти найбільш ефективні комбінації різних типів насосів та усунути неузгодженості між параметрами насосної установки та мережі шляхом оптимізації розмірів робочих коліс та швидкості їхнього обертання. Призначений насос повинен використовуватися виключно в тих умовах, для яких він був спроектований, тобто перекачувати рідину згідно з паспортними специфікаціями. В іншому випадку його ефективність неминуче знизиться, а термін служби скоротиться [6-7].

Кар'єрні стічні води зазвичай містять певний рівень забруднень та дрібних абразивних частинок. Експлуатація насосного агрегату в таких умовах прискорює знос його проточної частини, зменшує коефіцієнт корисної дії (ККД), збільшує витрати електричної енергії та ускладнює подальше обслуговування. У випадках, коли фізико-хімічні властивості рідини

відрізняються від ідеальних, слід вживати спеціальних заходів для забезпечення прийнятних умов функціонування насоса. Наприклад, для забруднених стічних вод доцільно збільшити зазори в проточній частині насоса.

Модернізація сальникових ущільнень та підшипникових вузлів передбачає подачу очищеної води з технічного водопроводу до цих елементів. Це забезпечує охолодження та змащування лігнофолевих і гумових підшипників, а також формування гідравлічних бар'єрів у сальникових з'єднаннях. Важливими аспектами енергозбереження для насосних установок є постійний контроль за станом обладнання та своєчасне усунення будь-яких ознак зносу.

Під час експлуатації насосів, внаслідок поступового зносу, зазори між ущільнювальними кільцями та робочими колесами збільшуються, що призводить до зростання рециркуляції рідини з напірної секції насоса до всмоктувальної. Стан підшипникових вузлів також має критичне значення. Надмірно малі зазори в підшипниках спричиняють підвищені втрати на тертя, що, у свою чергу, призводить до невиправданого зростання споживання електроенергії. Великі зазори викликають вібрації та, відповідно, передчасний вихід обладнання з ладу. Змащування підшипникових механізмів повинно виконуватися відповідними до рекомендацій виробника речовинами. Підшипники кочення змащуються моторними маслами необхідної марки, тоді як гумові та лігнофолеві – чистою водою.

Хоча перевірка стану рухомих компонентів насоса можлива лише під час планових ремонтів та профілактичних інспекцій, поточний стан насосних агрегатів під час їхньої експлуатації можна оцінити за показниками контрольно-вимірювальних приладів: манометрів, витратомірів, амперметрів, ватметрів, лічильників електроенергії. Збільшення показників амперметрів та ватметрів при незмінній подачі свідчить про погіршення стану насосного агрегату. Несправні зворотні клапани, засувки, затвори та інше механічне обладнання, що може перебувати в проміжному положенні, здатне створювати додатковий гідравлічний опір. У такому випадку спостерігається зростання напору насоса та одночасне зменшення його продуктивності.

Однією з головних вимог до енергоефективної роботи насосного комплексу є експлуатація насосів у режимах, що відповідають їхнім паспортним характеристикам. Відхилення робочих параметрів насоса від номінальних значень призводить до зниження ККД і, як наслідок, до надмірного споживання електроенергії. Операційні показники насоса мають знаходитися в межах номінальної зони, рекомендованої в каталозі. При зниженні подачі може виникнути явище помпажу, а при її збільшенні – кавітації. Визначальний вплив на режим роботи насоса мають гідравлічні

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

опори всієї системи. Ефективна взаємодія насоса та трубопровідної мережі можлива, якщо продуктивність насоса відповідає витратам у мережі, а напір насоса компенсує втрати напору в мережі та статичну висоту підйому рідини. Вибір насоса з "запасом" по напору та подачі без застосування спеціальних заходів призводить до невиправданих витрат електроенергії. Важливим аспектом функціонування насоса також є його механічна характеристика, яка визначає енергетичні показники приводного механізму.

Найбільш ефективними методами регулювання робочих характеристик відцентрових насосів є ті, що базуються на зміні частоти обертання їхніх робочих коліс. Гідравлічні втрати в насосі при ідентичній подачі не залежать від частоти обертання. Це означає, що при її зміні напірні характеристики насоса залишаються подібними, лише зміщуючись по вертикалі в координатах Q і H , а також на графіку спільної роботи насоса та трубопроводу. У сучасних насосних установках зміна частоти обертання робочих коліс реалізується за допомогою регульованого електроприводу.

За критерієм енергетичних характеристик регульовані електроприводи поділяються на три основні категорії:

- Приводи з втратами, пов'язаними з ковзанням (до них належать електродвигуни з реостатами в ланцюзі ротора, а також приводи з гідравлічними та електромагнітними муфтами тощо).
- Приводи з функцією рекуперації енергії ковзання (це електричні, електромеханічні та асинхронно-вентильні каскади).
- Приводи, що працюють без значних втрат енергії ковзання (такі як частотні перетворювачі, вентильні двигуни, багатошвидкісні двигуни).

У першій категорії приводів максимальний рівень втрат енергії ковзання не перевищує 15% від номінальної потужності насосного агрегату. Цим втратам відповідають частоти обертання в діапазоні 65-80% від номінальної, що збігається з діапазоном швидкісного регулювання насосів. Приводи другої категорії з рекуперацією дозволяють повертати енергію ковзання назад до електричної мережі. При цьому певні втрати виникають у доволі складній каскадній системі. Сучасні каскадні схеми демонструють ККД на рівні 0,9-0,95%.

Крім втрат, пов'язаних з ковзанням, у приводах насосів також мають місце втрати на вентиляцію, тертя в підшипниках, сальниках та інші, які складають від 1% до 3% від номінальних втрат. Застосування багатошвидкісних асинхронних двигунів передбачає ступінчасту зміну частоти обертання, оскільки регулювання частоти здійснюється шляхом зміни кількості пар полюсів. Це не завжди є зручним у практичному застосуванні. Позитивним аспектом цього методу є зменшення надмірного напору, що сприяє більш економічному режиму роботи насосної установки.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електроприводи третьої категорії на практиці представлені переважно частотно-регульованими асинхронними приводами. Втрати в цих приводах можуть бути зумовлені головним чином двома факторами: втратами енергії безпосередньо в частотних перетворювачах, а також зниженням ККД двигунів через відхилення форми струму від ідеальної синусоїди. Сучасні частотні перетворювачі досягають ККД на рівні 97-99% завдяки застосуванню високоефективних силових ключів (таких як IGBT, IGCT, MOSFET). Потужні мікроконтролерні системи керування частотними приводами забезпечують формування синусоїдального вихідного струму з мінімальними спотвореннями його форми. Отже, комплектні приводи змінного струму, засновані на частотних перетворювачах, на сьогодні є найбільш перспективними та енергоефективними рішеннями для регулювання робочих параметрів насосних установок.

					Розділ 2	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

					КНУ.РБ.141.25.248с.08.РЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата								
Розроб.		Нарищенко О.О.				Літ.		Арк.		Аркушів		
Перевір.		Ільчен										
Реценз.					Електропостачання		гр. ЕЕМ-21-1					
Н. Контр.		Ільчен										
Затверд.		Перес										

3.1 Навантаження електропідстанції живлення водовідливної установки

Живлення головного водовідливного комплексу кар'єру №3 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» забезпечується підстанцією №150 (6 кВ), яка має подвійну секцію. На основі її однолінійної схеми електропостачання формується перелік головних споживачів електричної енергії, чий номінальні потужності зазначені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Список споживачів електроенергії на водовідливній установці

Найменування споживачів	Кількість	Номінальна потужність споживача $P_{ном}$, кВт	Повна потужність споживача S , кВА	Коефіцієнт попиту $K_{п}$	Коефіцієнт потужності $\cos\varphi$	Коефіцієнт реактивної потужності $\tan\varphi$	Сумарна активна потужність ΣP	Сумарна реактивна потужність ΣQ	Сумарна потужність споживача $\Sigma S_{ном}$, кВА
Насос системи водовідливу №1-8	8	630	700	0,9	0,9	0,48	4536	2420	5040
Трансформатор ТМ 25/6-0,4	2	25	25	0,8	1	-	40	-	40
Трансформатор ОМП 10/6-0,23	2	10	10	0,8	1	-	16	-	16
Сума:		5110	5774				4592	2420	5096

Зважаючи на коефіцієнт попиту, розрахункові значення встановлених активної, реактивної та повної потужності становлять відповідно:

$$P_{вст} = \sum P_{ном} K_{п} = 4592 \text{ кВт} \quad (3.1)$$

$$Q_{вст} = \sum Q_{ном} K_{п} = 2420 \text{ кВАр} \quad (3.2)$$

$$S_{вст} = \sqrt{P_{вст}^2 + Q_{вст}^2} = \sqrt{4592^2 + 2420^2} = 5096 \text{ кВА} \quad (3.3)$$

3.2 Розрахунок параметрів та вибір трансформаторів

Оскільки відмова водовідливної установки як важливого технологічного об'єкта загрожує затопленням нижніх кар'єрних горизонтів, рекомендується [8] застосувати схему з двома силовими трансформаторами для її живлення.

Виходячи з коефіцієнта завантаження одного силового трансформатора, який приймаємо як $\beta = 0,6$, потужність, необхідна для кожного трансформатора, розраховується наступним чином:

$$S_{\text{тр}} = \frac{S_{\text{вст}}}{2 \cdot \beta} = \frac{5096}{2 \cdot 0,6} = 4246 \text{ кВА} \quad (3.4)$$

Орієнтуючись на розраховане значення потрібної потужності та враховуючи перспективу збільшення потужності споживання, можна прийняти до встановлення два трансформатори типу ТМН-6300/35-6 потужністю по 6300 кВА. Паспортні дані вказаного трансформатора представлені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Паспортні параметри трансформатора напругою 35/6 кВ.

Номінальна потужність $S_{\text{ном}}$	6300 кВА
Втрати потужності холостого ходу $P_{\text{хх}}$	8 кВт
Втрати потужності короткого замикання $P_{\text{кз}}$	46,5 кВт
Напруга короткого замикання $U_{\text{кз}}$	7,5 %
Струм холостого ходу $I_{\text{хх}}$	0,6 %
Напруга високої сторони $U_{\text{вн}}$	35 кВ
Напруга низької сторони $U_{\text{нн}}$	6 кВ

Водовідливна станція має внутрішні потреби в електроенергії напругою 0,4 кВ. З цією метою обираємо масляний трансформатор типу ТМ-25/6-0,4. Його паспортні характеристики представлені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Паспортні параметри трансформатора напругою 6/0,4 кВ.

Номинальна потужність $S_{\text{ном}}$	25 кВА
Втрати потужності холостого ходу $P_{\text{хх}}$	0,13 кВт
Втрати потужності короткого замикання $P_{\text{кз}}$	0,6 кВт
Напруга короткого замикання $U_{\text{кз}}$	4,5 %
Струм холостого ходу $I_{\text{хх}}$	3,2 %
Напруга високої сторони $U_{\text{вн}}$	6 кВ
Напруга низької сторони $U_{\text{нн}}$	0,4 кВ

3.3 Струми короткого замикання в мережі живлення насосів

Процес розрахунку струмів короткого замикання починається з графічного представлення однолінійної схеми живлення від шин підстанції до точки короткого замикання [9], де потрібно визначити його величину (рис. 3.1). Об'єктом розрахунку є ланка електропостачання електроприводу одного з насосів водовідливної установки.

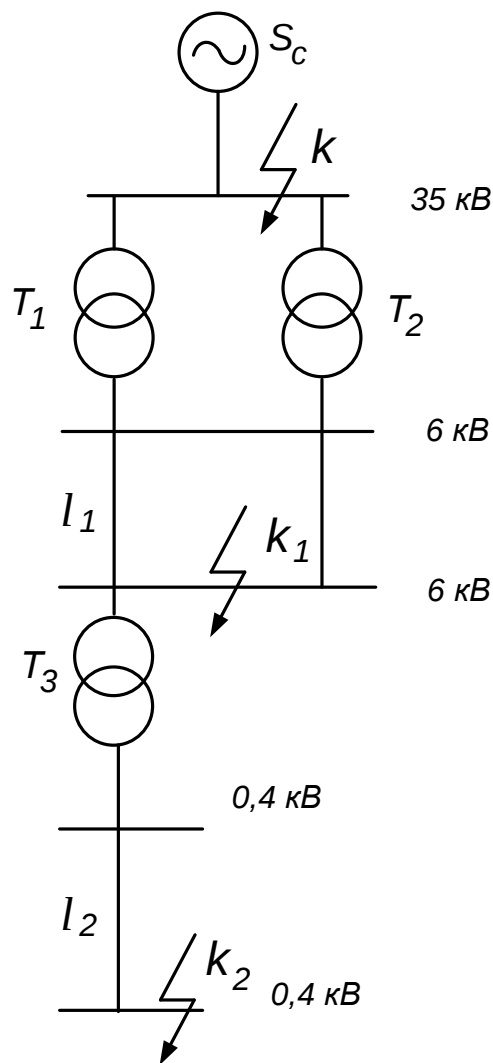


Рисунок 3.1 – Схема розрахунку струмів к.з.

Струм короткого замикання між трьома фазами на шинах підстанції:

$$I_k = \frac{S_6}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ВН}}} = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 35} = 1,65 \text{ кА.} \quad (3.5)$$

де S_6 – базова потужність системи, МВА.

Реактивний опір лінії електропостачання:

$$X_c = \frac{1,05 \cdot U_{\text{ВН}}}{\sqrt{3} \cdot I_k} = \frac{1,05 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 1,65} = 2,2 \text{ Ом.} \quad (3.6)$$

Розраховується опір силового трансформатора напругою 35/6 кВ зі сторони обмотки 35 кВ:

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot U_{\text{ВН}}^2}{100 \cdot S_{\text{трном}}} = \frac{7,5 \cdot 35^2}{100 \cdot 6,3} = 14,5 \text{ Ом.} \quad (3.7)$$

де $S_{\text{трном}}$ – повна потужність силового трансформатора, МВА.

Два трансформатори працюють паралельно, тому сумарний їх опір становить:

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$X'_{\text{тр}} = \frac{X_{\text{тр}}}{2} = \frac{14,5}{2} = 7,25 \text{ Ом.} \quad (3.8)$$

Опір ланки кабельної лінії від підстанції до двигуна насоса:

$$X_1 = X_{01} \cdot l_1 = 0,2 \cdot 0,6 = 0,12 \text{ Ом} \quad (3.9)$$

де X_{01} – питомий опір кабелю напругою 6 кВ, Ом/км.

Живлення водовідливної станції забезпечується двома кабельними лініями, кожна з яких містить по два кабелі. Отже, сумарний опір кабельної ділянки, що простягається від шин підстанції до точки живлення приводу, розраховується як:

$$X'_1 = \frac{X_1}{4} = \frac{0,12}{4} = 0,03 \text{ Ом} \quad (3.10)$$

Опір кабелю від трансформатора власних потреб (0,4 кВ) до освітлювальних елементів:

$$X_2 = X_{02} \cdot l_2 = 0,5 \cdot 0,06 = 0,03 \text{ Ом} \quad (3.11)$$

де X_{02} – питомий опір кабелю напругою 0,4 кВ, Ом/км.

Сумарний опір ділянки лінії до точки к.з. K_1 :

$$X_{K1} = (X_c + X'_{\text{тр}}) \frac{U_{\text{НН}}^2}{U_{\text{ВН}}^2} + X'_1 = (2,2 + 7,25) \cdot \frac{6^2}{35^2} + 0,03 = 0,31 \text{ Ом} \quad (3.12)$$

Розраховується опір трансформатора власних потреб напругою 6/0,4 кВ зі сторони обмотки 6 кВ:

$$X_{\text{тр}} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot U_{\text{ВН}}^2}{100 \cdot S_{\text{тр}}} = \frac{4,5 \cdot 6^2}{100 \cdot 0,025} = 64,8 \text{ Ом} \quad (3.13)$$

Сумарний опір до точки к.з. K_2 :

$$X_{K2} = (X_{K1} + X_{\text{тр}}) \frac{U_{\text{НН}}^2}{U_{\text{ВН}}^2} + X_2 = (0,31 + 64,8) \frac{0,4^2}{6^2} + 0,03 = 0,32 \text{ Ом} \quad (3.14)$$

Струм короткого замикання у точці K_1 між трьома фазами та його ударні значення розраховуються наступним чином:

$$I_{K1} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{ВН}}}{\sqrt{3} \cdot X_{K1}} = \frac{1,05 \cdot 6}{\sqrt{3} \cdot 0,31} = 11,73 \text{ кА} \quad (3.15)$$

$$i_{y1} = 2,55 \cdot I_{K1} = 2,55 \cdot 11,73 = 29,91 \text{ кА} \quad (3.16)$$

$$I_{y1} = 1,52 \cdot I_{K1} = 1,52 \cdot 11,73 = 17,82 \text{ кА} \quad (3.17)$$

Струм короткого замикання у точці K_2 між трьома фазами та його ударні значення розраховуються наступним чином:

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{K2} = \frac{1,05 \cdot U_{\text{нн}}}{\sqrt{3} \cdot X_{K2}} = \frac{1,05 \cdot 0,4}{\sqrt{3} \cdot 0,32} = 0,76 \text{ кА} \quad (3.18)$$

$$i_{y2} = 2,55 \cdot I_{K2} = 2,55 \cdot 0,76 = 1,94 \text{ кА} \quad (3.19)$$

$$I_{y2} = 1,52 \cdot I_{K2} = 1,52 \cdot 0,76 = 1,16 \text{ кА} \quad (3.20)$$

Повна потужність в точках к.з:

$$S_{K1} = \sqrt{3} \cdot I_{K1} \cdot U_{\text{нн}} = \sqrt{3} \cdot 11,73 \cdot 6 = 121,9 \text{ МВА} \quad (3.21)$$

$$S_{K2} = \sqrt{3} \cdot I_{K2} \cdot U_{\text{нн}} = \sqrt{3} \cdot 0,76 \cdot 0,4 = 0,53 \text{ МВА} \quad (3.22)$$

3.4 Параметри кабельної лінії напругою 6 кВ

Розрахунковий струм лінії живлення визначається струмом навантаження [10]:

$$I_{\text{розр}} = \frac{\sum P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{630 \cdot 8}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 0,955} = 564,25 \text{ А} \quad (3.23)$$

де $\sum P_{\text{н}}$ – загальна встановлена потужність насів станції головного водовідливу.

При цьому враховуємо приймаємо поправочний коефіцієнт $k_2 = 0,9$ на температуру повітря $+18^\circ\text{C}$:

$$I'_{\text{розр}} = \frac{I_{\text{розр}}}{k_2} = \frac{564,25}{0,9} = 626,94 \text{ А} \quad (3.24)$$

Для живлення станції водовідливу приймаємо схему постачання з паралельними кабельними лініями в кількості 4 штуки, то струм одного кабелю становить:

$$I''_{\text{розр}} = \frac{I'_{\text{розр}}}{4} = \frac{626,94}{4} = 156,74 \text{ А} \quad (3.25)$$

Розрахунковий струм дає можливість обрати за умовою нагріву кабель типу ААШВ 3х95 з алюмінію, допустимий струм якого становить:

$$I_{\text{доп}} = 218 \text{ А} > I''_{\text{розр}} = 156,74 \text{ А} \quad (3.26)$$

Економічна щільність струму диктує мінімально необхідну площу перетину кабелю:

$$S_{\text{ещ}} = \frac{I''_{\text{розр}}}{i_{\text{ещ}}} = \frac{156,74}{2} = 78,37 \text{ мм}^2 \quad (3.27)$$

Враховуючи, що вимоги економічної щільності не передбачають збільшення поперечного перерізу кабелю, раніше підібраний кабель ААШВ 3х95 є цілком прийнятним для поточних умов.

Для гарантування термічної стійкості кабелю під час короткого замикання необхідний мінімальний переріз визначається як:

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{\min} = \frac{I_{\infty} \cdot \sqrt{t_n}}{c} = \frac{11730 \cdot \sqrt{0,5}}{88} = 94,25 \text{ мм}^2 \quad (3.28)$$

де I_{∞} – усталене значення струму к.з., А; t_n – приведений час протікання струму к.з., що знаходиться у проміжку $t_n = 0,25-1,2$ с.

Перетин 95 мм² кабелю ААШВ 3х95, який був раніше обраний, забезпечує достатню термічну стійкість під час короткого замикання.

Втрати напруги в кабелі:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} \cdot I''_{\text{розр}} \cdot \cos \varphi \cdot l_1 \cdot Z_0}{U_{\text{н}}} =$$

$$= \frac{\sqrt{3} \cdot 156,74 \cdot 0,9 \cdot 0,6 \cdot 0,32}{6000} \cdot 100\% = 0,78\% \quad (3.29)$$

де Z_0 – повний опір 1 км кабелю відповідно до каталогу, Ом/км.

Так як $\Delta U = 0,78\% < 5\%$, то можна зробити висновок, що кабель ААШВ 3х95 остаточно задовольняє поставленим вимогам.

3.5 Вимірювальний трансформатор напруги

Вибираючи трансформатор напруги, ключовим критерієм є номінальна напруга первинної обмотки, яка для даного випадку становить 6 кВ. Додатково слід враховувати:

- навантаження на вторинну обмотку;
- особливості конструкції трансформатора;
- клас точності;
- схему з'єднання обмоток.

Для встановлення обираємо трансформатор типу НТМК-6У4 (рис. 3.2) з такими характеристиками:

- Номінальна потужність для класу точності 0,5 дорівнює $S_{\text{ном}}=75$ ВА;
- Номінальна напруга вторинної обмотки $U_{2\text{н}}=100$ В;
- Номінальна напруга первинної обмотки $U_{1\text{н}}=6000$ В;
- Максимальна потужність $S_{\text{макс}}=640$ ВА;
- Схема з'єднання обмоток: Y/Y_н-0.

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.2 – Вимірювальний трансформатор напруги

До вторинної обмотки цього трансформатора напруги підключаються такі контрольно-вимірювальні прилади:

- ватметр;
- лічильник реактивної енергії;
- лічильник електричної енергії;
- фазометр;
- реле напруги.

3.6 Вимірювальний трансформатор струму

Процес вибору трансформатора струму передбачає оцінку номінального струму, класу точності та конструктивного виконання. Після попереднього відбору обов'язковою є перевірка обраного трансформатора струму на динамічну та термічну стійкість до струмів короткого замикання, які можуть виникнути в системі у місці його інсталяції в аварійних умовах. Розрахунковий номінальний струм встановлюється наступним чином:

$$I_{\text{розр}} = \frac{\sum P_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{630 \cdot 8}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 0,955} = 564,25 \text{ А} \quad (3.30)$$

Відповідно до визначеного струмового значення, серед стандартних високовольтних трифазних трансформаторів струму перевагу надано моделі ТЛКІ-6УЗ, що характеризується найближчим більшим номінальним струмом. Даний трансформатор застосовується в промислових мережах 6 кВ для цілей вимірювання струму, живлення пристроїв релейного захисту, а також для тестування систем максимального струмового захисту. Технічні параметри обраного трансформатора приведені в таблиці 3.2.

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

З електродинамічною стійкістю 51 кА, обраний трансформатор задовольняє вимогам до ударних струмів короткого замикання ($i_{y1} = 29,91$ кА).

Перевіряємо термічну стійкість обраного трансформатора струму до фактичного струму короткого замикання:

$$I_{K1}^2 t_{\phi} = 11,73 \cdot 1,1 = 151,35 \text{ кА}^2\text{с} \quad (3.31)$$

Термічна стійкість трансформатора:

$$I_t^2 t_t = 20 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2\text{с} \quad (3.32)$$

Таблиця 3.2 – Довідкові данні трансформатора ТЛКІ-6УЗ

Номинальна напруга, кВ	6,0
Максимальна робоча напруга, кВ	7,2
Номинальна частота мережі, Гц	50
Номинальний струм первинної обмотки, А	600
Номинальний струм вторинної обмотки, А	5
Номинальна потужність навантаження, ВА	30
Коефіцієнт потужності навантаження	0,8
Номинальний клас точності	0,5
Випробувальна напруга первинної обмотки, кВ	32
Випробувальна напруга вторинної обмотки, кВ	3
Опір ізоляції первинної обмотки, МОм	> 50
Опір ізоляції вторинної обмотки, МОм	> 1000
Струм електродинамічної стійкості, кА	51
Односекундний струм термічної стійкості, кА	20
Відносна вологість середовища, %	< 98

Можна зробити висновок, що обраний трансформатор струму відповідає умовам термічної витривалості.

3.7 Вибір розподільного пристрою

Вибір комплектного розподільного пристрою є необхідним для підключення електростанції, що живить головний водовідливний комплекс. Основними параметрами для вибору комплектного розподільного пристрою (КРП) слугують розрахункове значення номінального струму, номінальна напруга та опірність до струмів короткого замикання. Для визначення розрахункового струму ми виходимо з припущення повної потужності двигунів водовідливної установки:

$$I_{\text{розр}} = \frac{\sum P_n}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi \cdot \eta} = \frac{630 \cdot 8}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 0,9 \cdot 0,955} = 564,25 \text{ А} \quad (3.33)$$

До встановлення прийнято комплектний розподільний пристрій серії КРУ2-10. Даний пристрій призначений для інтеграції в електричні установки трифазного змінного струму з напругою 6 кВ, які функціонують у конфігураціях з ізольованою нейтраллю або з нейтраллю, заземленою через дугогасний реактор. Загальний вигляд КРП типу КРУ2-10 ілюструє рисунок 3.3.



Рисунок 3.3 – Розподільний пристрій КРУ2-10

Серед характерних рис розподільного пристрою КРУ2-10 можна виділити наступні:

- внутрішній простір організовано у відсіки, призначені для релейного обладнання, збірних шин, верхніх роз'ємних контактів, трансформаторів струму та висувного елемента.
- захист від внутрішніх електричних дуг забезпечується наявністю розвантажувального клапана та спеціального вимикача.
- переміщення висувного елемента відбувається за допомогою механічних засобів.
- система оснащена комплексом блокувань, що гарантують безпеку персоналу, який здійснює обслуговування.
- пристрій дозволяє інтеграцію широкого спектру комутаційних апаратів та мікропроцесорних систем захисту.

Паспортні характеристики та основні параметри КРУ2-10 наведені в таблиці 3.3.

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3 – Характеристики та основні параметри КРУ2-10

Найменування параметру	Значення
Номінальна напруга (лінійна), кВ	6,0
Максимальна робоча напруга, кВ	7,2
Номінальний струм головних кіл шафи КРП, А	630
Номінальний струм струмопровода, А	630
Номінальний струм збірних шин, А	630
Номінальний струм відключення вимикача, кА	20
Електродинамічна стійкість струму короткого замикання, кА	51
Термічна стійкість струму короткого замикання впродовж періоду 3 с, кА	20
Діапазон робочих температур, °С	від -5 до +40
Ступінь захисту	IP20
Максимальна кількість кабелів в шафі	4
Тип кабельних роз'ємів	КВЕд-10
Максимальний перетин кабелів високої напруги, мм ²	3×240
Тип застосовуваних мікропроцесорних захистів	SEPAM, SPAC, MICOM, Cіріус, Опіон, ТЕМП, Siprotec
Тип роз'єднувача	штепсельний, силовий типу РВР-10/4000
Тип силових трансформаторів	ТСКС-40
Тип високовольтних запобіжників	ПК1-6, ПК1-10; ПК2-6, ПК2-10;
Габаритні розміри шафи (Ш×Г×В)	750×1300×2150

3.8 Розрахунок та вибір силового вимикача

Підключення підстанції, яка живить центральний водовідливний комплекс, вимагає ретельного підбору силового вимикача. Ключовими критеріями для цього процесу є його номінальна робоча напруга, здатність пропускати визначений номінальний струм, а також рівень динамічної та теплової стійкості до струмів короткого замикання. Важливо, щоб номінальний струм вимикача перевищував обчислений номінальний струм

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

водовідливної станції, який становить 564,25 А. На початковому етапі обираємо вакуумний високовольний вимикач типу ВБТЕ-М-10-20, технічні параметри якого приведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Параметри автоматичного вимикача ВБТЕ-М-10-20

Номинальна напруга, кВ	10
Номинальний струм, А	630
Номинальний струм відключення, кА	20
Час відключення власний/повний, с	0,03/0,04
Власний час включення, с	0,1
Струм споживання електромагніту включення, А	50
Струм споживання електромагніту відключення, А	2,0
Комутаційний ресурс циклів відключення при номінальному струмі	50000
Номинальна напруга живлення кіл керування, В	220
Привод	електромагнітний
Розташування валу	нижнє
Кліматичне виконання	У2
Габарити, мм	612×550×738
Маса, кг	106
Строк служби, років	25

Вимикач ВБТЕ-М-10-20, який було обрано, призначений для комутації електричних кіл трифазного змінного струму з частотою 50 Гц при номінальній напрузі 6-10 кВ, як у звичайних, так і в аварійних умовах. Вакуумний тип цього вимикача забезпечує його компактність, простоту експлуатації та технічного обслуговування, відсутність викидів, швидке відключення, великий комутаційний термін служби, а також високу стійкість до електромагнітних впливів та вібрацій. Наступний етап — перевірка термічної стійкості вибраного вимикача до струмів короткого замикання:

$$I_t^2 t_t = 20 \cdot 2 = 400 \text{ кА}^2\text{с} \quad (3.34)$$

Для умов необхідної термічної стійкості 151,35 кА²с, можна зробити висновок, що обраний вимикач відповідає поставленим умовам.

3.9 Розрахунок обладнання зі сторони низької напруги

Для задоволення власних потреб низькою напругою 0,4 кВ встановлено трансформатор номінальною потужністю 25 кВА. Отже, номінальний розрахунковий струм становить:

					Розділ 3	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$I_{\text{розр}} = \frac{S_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = \frac{25}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 36,08 \text{ А} \quad (3.35)$$

Спрацювання захисту від перевантаження виконується при значенні струму:

$$I_{\text{спр}} = 1,25I_{\text{розр}} = 1,25 \cdot 36,08 = 45 \text{ А} \quad (3.36)$$

За наведеними розрахунками обираємо триполюсний автоматичний вимикач серії Easyrack типу EZC100 (рис. 3.4) виробника Schneider Electric з паспортними характеристиками відповідно до каталогу, що наведені в таблиці 3.5.



Рисунок 3.4 – Автоматичний вимикач EZC100

Таблиця 3.5 – Паспортні характеристики вимикача типу EZC100

Номінальний струм, А	40
Кількість полюсів	3
Номінальна напруга ізоляції, В	690
Частота струму, Гц	50/60
Номінальна робоча напруга, В	250
Максимальний струм відключення, кА	25
Ресурс механічний, циклів	8500
Ресурс електричний, циклів	1500

ВИСНОВКИ

					КНУ.РБ.141.25.248с.08.В			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Нарищенко О.О.			Висновки			
Перевір.		Ільчен						
Реценз.								
Н. Контр.		Ільчен						
Затверд.		Перес						
					Літ.	Арк.	Аркушів	
					гр. ЕЕМ-21-1			

У межах даної роботи успішно вирішено важливе практичне завдання: переоснащення системи електроприводу кар'єрної водовідливної установки. Для досягнення поставленої мети асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором було оснащено високовольтним перетворювачем частоти з ланкою постійного струму.

Результатом стала регульована асинхронна система приводу насоса, що має низку значних переваг:

- Плавний пуск: забезпечує відсутність гідравлічних ударів під час перехідних режимів роботи.
- Гнучке регулювання: дозволяє змінювати продуктивність і напір насоса завдяки регулюванню частоти обертання його коліс.
- Висока енергоефективність: пропонує метод регулювання практично без втрат електроенергії.
- Контроль і діагностика: наявність супутнього обладнання для моніторингу та поточної діагностики системи електроприводу.

Таким чином, розрахунки, виконані в роботі, підтверджують обґрунтованість прийнятих рішень та ефективність проведеної модернізації.

					Висновки	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

					КНУ.РБ.141.25.248с.08.Л			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Нарищенко О.О.			Список використаних джерел	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Ільчен						
Реценз.						гр. ЕЕМ-21-1		
Н. Контр.		Ільчен						
Затверд.		Перес						

1. Бизов В.Ф. Основи технології гірничого виробництва. Том IV Виробничі процеси. Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком «Гірництво» Кривий Ріг: Мінерал. 2000. - 247 с., з іл.
2. Несвітайло М.В., Шустов О.О. Гідромеханізація, осушення та водовідлив у кар'єрах. Методичні рекомендації. — Дніпро: Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» (НТУ "ДП"), 2018. — 19 с.
3. Холоменюк М.В. Водовідливні та вентиляторні установки: підручник/ М.В. Холоменюк. – Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2022. – 320 с
4. Практикум за теорії електропривода: Навчальний посібник / В.В. Каневський, В.Ю. Захаров, А.П. Сінолицький, Ю.Г. Осадчук, Т.В. Величко/За заг. ред. В.В. Каневського. - Кривий Ріг: Видавничий центр КТУ, 2008.-124 с., з іл
5. Зеленов А.Б. Теорія електропривода. Луганськ: Ноулідж, 2010, с. 670.
6. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник.- К: Кондор, 2005 - 408с.
7. Разумний Ю.Т. Ефективне використання електроенергії та палива: Навчальний посібник / Ю.Т. Разумний, А.В. Рухлов, В.М. Прокуда, Н.Ю. Рухлова; м-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д: [НГУ], 2014. – 223 с.
8. Коваленко О. І., Коваленко Л. Р. Основи електропостачання. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. 237 с.
9. Шкрабець Ф.П., Плєшков П.Г. Основи електропостачання. Навчальний посібник. – Кіровоград: РВЛ КНТУ, 2010, - 408 с.
10. Козирський В.В. Основи електропостачання: підруч. / Козирський В.В., Волошин С.М., – К.: Компрінт, 2021. – 497с.

					Список використаних джерел	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		