

Міністерство освіти і науки України
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ВИПУСКНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Студент

Затолокін В.О.

Група

ЕЕМ-22-2

2026

Міністерство освіти і науки України
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Електротехнічний факультет

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 141

«ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»
НА ТЕМУ:

«МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ГОЛОВНОЇ
ВОДОВІДЛИВНОЇ УСТАНОВКИ ШАХТИ "ЮВІЛЕЙНА" ПрАТ "СУХА
БАЛКА"»

Виконав: : здобувач вищої освіти групи ЕЕМ-22-2 Владислав ЗАТОЛОКІН

Керівник кваліфікаційної роботи _____ к.т.н., доц. Олександр Ільченко

Нормоконтролер _____ к.т.н., доц. Олександр Ільченко

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

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

Кривий Ріг
2026 р.

ЗАЯВА
щодо самостійності виконання кваліфікаційної роботи

Я, Затолокін Владислав Олександрович, здобувач вищої освіти за першим (бакалаврським) рівнем за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка заявляю, що моя кваліфікаційна робота, яка подана до екзаменаційної комісії для публічного захисту, виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше кваліфікаційних робіт, кандидатських і докторських дисертацій мають відповідні посилання.

Я ознайомлений з діючим Положенням про академічну доброчесність у Криворізькому національному університеті. Згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску письмової роботи до захисту та застосування дисциплінарних заходів.

10 червня 2026 р.

(підпис)

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Затолокін Владислав Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ГОЛОВНОЇ ВОДОВІДЛИВНОЇ УСТАНОВКИ ШАХТИ "ЮВІЛЕЙНА" ПрАТ "СУХА БАЛКА"»

2. Строк подання студентом роботи 10 червня 2026 р.

3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи

Мета роботи: Підвищення надійності, енергоефективності та безпеки функціонування головної водовідливної установки шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка» шляхом модернізації її електромеханічної системи, впровадження сучасного енергоефективного насосного обладнання, автоматизованого керування та засобів технічної діагностики.

Завдання роботи: Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Виконати аналіз існуючого стану електромеханічного обладнання та системи автоматизації головного водовідливу шахти «Ювілейна».

2. Провести розрахунок і обґрунтувати вибір нового вискоєфективного насосного агрегату, що відповідає сучасним вимогам енергозбереження.

3. Розрахувати і підібрати потужність приводного електродвигуна для оновленої насосної установки.

4. Розробити схему автоматизації водовідливної установки з впровадженням сучасних засобів контролю параметрів, захисту та дистанційного керування.

5. Оцінити техніко-економічну ефективність запропонованих рішень щодо модернізації та розрахувати термін окупності капітальних вкладень.

6. Опрацювати питання охорони праці, промислової безпеки та екології при експлуатації оновленого електромеханічного комплексу.

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

- Аналіз існуючого стану водовідливу шахти «Ювілейна».
- Розрахунок і вибір нового енергоефективного насоса та приводного електродвигуна.
- Розробка мікропроцесорної системи автоматизованого керування, захисту та діагностики.
- Оцінка техніко-економічної ефективності модернізації та розрахунок терміну окупності.
- Розробка заходів з охорони праці та промислової безпеки.

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

- Схема технологічна водовідливної установки — розташування нових насосів, трубопроводів, засувки та водозбірників у камері підземного водовідливу.
- Насосний агрегат. Загальний вид — креслення вибраного енергоефективного насоса в зборі з новим електродвигуном на рамі, з габаритними та установочними розмірами.
- Схема електрична принципова — схема живлення приводного електродвигуна, підключення пускової та захисної апаратури (вакуумного вимикача чи пристрою плавного пуску).

- **Схема функціональна автоматизації** — схема розміщення датчиків (рівня, тиску, температури) та їхнього підключення до контролера для автоматичного керування засівками й агрегатами.

- **Техніко-економічні показники** — плакат із таблицею розрахунку капітальних вкладень, економії електроенергії та терміну окупності модернізації

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Олександр Ільченко		
II	Олександр Ільченко		
III	Олександр Ільченко		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Загальна частина</i>	15.05.26- 20.05.26
2	<i>Спеціальна частина (розрахунково-конструкторська)</i>	21.05.26- 26.05.26.
3	<i>Проектна частина</i>	26.05.26- 28.05.26
4	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	29.05.26- 31.05.26
5	<i>Оформлення презентації</i>	01.06.26- 02.06.26
6	<i>Перевірка на плагіат</i>	03.06.26

Дата видачі завдання 10 травня 2026 р.

Здобувач вищої освіти _____ Владислав Затолокін
(підпис) (Ім'я Прізвище)

Керівник роботи _____ Олександр Ільченко
(підпис) (Ім'я Прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему
«МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ ГОЛОВНОЇ
ВОДОВІДЛИВНОЇ УСТАНОВКИ ШАХТИ "ЮВІЛЕЙНА" ПрАТ "СУХА
БАЛКА"»: 59 с., 9 рис., 11 літературних джерел.

Шифр роботи: *ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:*

Досліджуваний об'єкт - **Технологічний комплекс головного водовідливу шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка».**

У першому розділі: Комплексний аналіз поточного технічного стану головної водовідливної установки шахти «Ювілейна» та обґрунтування необхідності її модернізації.

У другому розділі: Виконання основних інженерних, гідравлічних та конструкторських розрахунків, на основі яких здійснено обґрунтований вибір нового технологічного обладнання водовідливного комплексу.

У третьому розділі: Комплексна розробка та розрахунок систем енергозабезпечення, високовольтного електропривода та мікропроцесорного керування водовідливним комплексом шахти «Ювілейна».

У четвертому розділі: Розробка комплексу організаційних, технічних та екологічних заходів для забезпечення безпечних умов праці під час експлуатації та обслуговування модернізованого водовідливного комплексу, а також мінімізація техногенного впливу на довкілля.

У п'ятому розділі: Техніко-економічне обґрунтування доцільності модернізації головної водовідливної установки, розрахунок необхідних капітальних вкладень, очікуваного зниження експлуатаційних витрат та терміну окупності проєкту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: Головна водовідливна установка, модернізація, шахта «Ювілейна», відцентровий секційний насос (ЦНС), високовольтний асинхронний електродвигун (АДО), частотно-регульований привод (ЧРП),

					<i>ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:</i>			
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата	Реферат	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Затолокін В.						8	59
Перевірив	Ільченко О.							
						ЕЕМ-22-2		
Н. Контр.	Ільченко О.							
Затвердж	Пересулько І							

програмований логічний контролер (ПЛК), автоматизація, електропостачання, енергоефективність, строк окупності.

					<i>ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:</i>			
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив		Затолокін В.			Реферат	Літера	Аркуш	Аркушів
Пеоєвірив		Ільченко О.					9	59
						ЕЕМ-22-2		
Н. Контр.		Ільченко О.						
Затвердж		Пересунько І						

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ	15
1.1. Загальна характеристика шахти та водовідливної установки	15
• 1.2. Опис існуючої схеми керування та аналіз її недоліків.....	21
• 1.3. Обґрунтування наряду модернізації та вибір структури системи...22	22
2. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ.....	24
• 2.1. Розрахунок гідравлічних характеристик та перевірка вибору насоса.....	24
• 2.2. Розрахунок необхідності потужності та перевірка електродвигуна...25	25
• 2.3. Вибір високовольтного перетворювача частоти та принцип його роботи.....	24
• 2.4. Розробка системи автоматизації та вибір засобів контролю водовідливної установки	35
3. ВИБІР КОМУТАЦІЙНОЇ, ЗАХИСТНОЇ АПАРАТУРИ ТА КАБЕЛІВ ЖИВЛЕННЯ.....	37
• 3.1. Розрахунок та вибір високовольтних кабелів.....	37
• 3.2. Вибір високовольтної комутаційної апаратури та захисної апаратури	39
• 3.3. Розрахунок та вибір релейного захисту та автоматики (РЗА)	40
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.....	46
• 4.1. Промислова санітарія та заходи безпеки в камері водовідливу.....	46
• 4.2. Техніка безпеки при експлуатації високовольтного електрообладнання.....	46
• 4.3. Екологічна безпека.....	47

					<i>ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:</i>			
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив		Затолокін В.			Зміст	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Ільченко О.					10	59
						ЕЕМ-22-2		
Н. Контр.		Ільченко О.						
Затвердж		Пересунько І						

5. ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЧРП.....	49
• 5.1. Аналіз балансу потужності та розрахунок річного споживання електроенергії до модернізації.....	49
• 5.2. Розрахунок енергетичних параметрів та електроспоживання після впровадження ЧРП.....	50
• 5.3. Розрахунок кошторису капітальних вкладень у модернізацію	52
• 5.4. Визначення фінансових показників ефективності та терміну окупності.....	54
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДЖЕРЕЛ.....	58

ДОДАТКИ

					<i>ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:</i>			
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив		Затолокін В.			Зміст	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Ільченко О.					11	59
						ЕЕМ-22-2		
Н. Контр.		Ільченко О.						
Затвердж		Пересунько І						

ВСТУП

Актуальність теми. Гірничодобувна промисловість є одним із найбільш енергомістких секторів економіки України. У структурі витрат на видобуток залізорудної сировини значна частка припадає на споживання електричної енергії. Одним із головних споживачів електрики на підземних рудниках є установки головного водовідливу, які працюють у безперервному режимі для забезпечення безпечних умов праці та недопущення затоплення гірничих виробок.

Шахта «Ювілейна» входить до складу Приватного акціонерного товариства «Суша Балка» та є одним із провідних підприємств Криворізького залізорудного басейну з видобутку багатих залізних руд підземним способом. Історія підприємства пов'язана з початком освоєння рудних запасів у північній частині Кривбасу. Шахта забезпечує стабільний видобуток високоякісної залізорудної сировини (із вмістом заліза понад 56–60%), яка постачається на вітчизняні та європейські металургійні комбінати.

Забезпечення безперебійної життєдіяльності підземного рудника на сучасних етапах розробки безпосередньо залежить від ефективності роботи допоміжних технологічних комплексів, серед яких шахтний водовідлив займає критично важливе місце. Зі збільшенням глибини гірничих робіт суттєво ускладнюються гідрогеологічні умови експлуатації, що вимагає підвищеної надійності від електромеханічного обладнання.

Гірничо-геологічні та гідрогеологічні умови шахти характеризуються такими основними параметрами:

• **Глибина ведення гірничих робіт:** На сьогоднішній день основні виробничі потужності шахти зосереджені на глибоких горизонтах, зокрема на відмітках - 980 м, -1420 м та нижче. Збільшення глибини призводить до зростання геостатичного тиску та підвищення природної температури бокових порід.

					<i>ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:</i>			
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата	Вступ	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Затолокін В.						
Пеоєвірів		Ільченко О.					12	59
						ЕЕМ-22-2		
Н. Контр.		Ільченко О.						
Затвердж.		Пересунько І						

• **Характеристика рудного покладу:** Шахта розробляє запаси багатих залізних руд мартитового та гематит-мартитового складу. Родовище представлене серією крутоспадних рудних тіл стовпоподібної та лінзовидної форми. Кут падіння покладів становить 55–70 градусів.

• **Гідрогеологічна обстановка:** Шахтне поле характеризується складним типом обводненості. Основними джерелами надходження води у гірничі виробки є водоносні горизонти тріщинних вод докембрійського фундаменту, а також залив і фільтрація поверхневих вод через зони обвалення.

• **Водоприплив у шахту:** Середньогодинний природний приплив шахтної води є нестабільним і має чітко виражений сезонний характер. У період весняного танення снігів та осінніх затяжних дощів водоприплив збільшується у 1,5–2 рази порівняно з літніми місяцями, що створює пікові навантаження на насосні агрегати водовідливної установки горизонту - 980 м.

• **Хімічний склад шахтних вод:** Шахтна вода на глибоких горизонтах характеризується високим рівнем мінералізації, значним вмістом зважених часток (шламу) та агресивним хімічним складом (зокрема наявністю сульфатів та хлоридів). Це викликає підвищений абразивний та корозійний знос проточної частини насосів ЦНС 300-600, вимагаючи впровадження засобів автоматичного контролю та плавного регулювання режимів роботи приводу.

Сучасна стратегія розвитку ПрАТ «Суха Балка» спрямована на глибоку модернізацію виробництва, зниження собівартості видобутку тонни руди та впровадження енергозберігаючих технологій. Оскільки шахтний водовідлив є споживачем першої категорії надійності електропостачання та споживає значну частку всієї електроенергії рудника, оптимізація його роботи є першочерговим завданням для інженерно-технічного персоналу підприємства.

					<i>ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:</i>			
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата	Вступ	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Затолокін В.						
Пеоєвірів		Ільченко О.					13	59
						ЕЕМ-22-2		
Н. Контр.		Ільченко О.						
Затвердж.		Пересунько І						

Насосні установки шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка» експлуатуються в складних гідрогеологічних умовах на великих глибинах. Традиційні системи електроприводу водовідливу, що базуються на нерегульованих асинхронних або синхронних двигунах, мають низку суттєвих недоліків. До них належать: високі пускові струми, що викликають просідання напруги в мережі, значні механічні удари (гідроудари) в трубопроводах при пуску та зупинці, а також неефективне регулювання продуктивності методом дроселювання (засувками), що призводить до перевитрати енергії.

Модернізація електроприводу насосних установок шляхом впровадження сучасних перетворювачів частоти (ЧП) та засобів автоматизації є актуальним науково-технічним завданням. Це дозволяє забезпечити плавність пускових режимів, оптимізувати енергоспоживання залежно від реального припливу шахтної води, знизити знос механічного обладнання та підвищити загальну надійність системи водовідливу.

Мета роботи: Підвищення енергоефективності, надійності та безпеки роботи головної водовідливної установки шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка» за рахунок модернізації системи електроприводу та автоматизації технологічного процесу.

Об'єкт дослідження: Технологічний комплекс головного водовідливу шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка».

Предмет дослідження: Електропривод, схеми керування та режими роботи насосних агрегатів водовідливної установки.

					<i>ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:</i>			
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата	Вступ	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Затолокін В.					14	59
Пеоєвірив		Ільченко О.						
Н. Контр.		Ільченко О.						
Затвердж.		Пересунько І				ЕЕМ-22-2		

Основні завдання для досягнення мети:

1. Проаналізувати поточний стан електротехнічного комплексу водовідливу шахти «Ювілейна» та виявити його недоліки.
2. Розрахувати та обґрунтувати параметри нового електроприводу (вибір електродвигуна та перетворювача частоти).
3. Розробити принципові електричні схеми керування та захисту модернізованої установки.
4. Запропонувати алгоритм та технічні засоби автоматичного керування рівнем води в зумпфах.
5. Виконати техніко-економічне обґрунтування проєкту та розрахувати термін окупації впровадженого обладнання.
6. Розробити заходи з охорони праці та електробезпеки під час експлуатації оновленого обладнання.

					<i>ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:</i>			
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата	Вступ	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Затолокін В.						
Перевірив		Ільченко О.					15	59
						ЕЕМ-22-2		
Н. Контр.		Ільченко О.						
Затвердж.		Пересунько І						

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ НЕОБХІДНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ

1.1. Загальна характеристика шахти та водовідливної установки

Приватне акціонерне товариство (ПрАТ) «Суха Балка» є одним із провідних підприємств гірничодобувної галузі України, що спеціалізується на видобутку багатих залізняків підземним способом. Шахта «Ювілейна», яка входить до складу підприємства, веде розробку родовища на значних глибинах, що висуває підвищені вимоги до надійності та безпеки систем життєзабезпечення рудника, серед яких водовідлив відіграє критично важливу роль.

Насосна камера головного водовідливу, що підлягає модернізації в межах даного дипломного проєкту, розташована на горизонті - 980 м. Головне завдання цієї установки полягає у безперервному або циклічному відкачуванні припливу шахтних вод з водовідливних зумпфів на поверхню або на проміжні водовідливні горизонти для запобігання затопленню робочих зон та забезпечення нормальних умов праці гірників.

Згідно з технічною документацією підприємства та паспортом обладнання, технологічний комплекс водовідливу горизонту - 980 м укомплектований відцентровими секційними багатоступінчастими насосами типу ЦНС 300-600. Кількість встановлених робочих та резервних агрегатів забезпечує надійність водовідливу навіть у періоди максимального (паводкового) припливу води.

Технічні характеристики та габаритні розміри базового обладнання

Для забезпечення надійної роботи головного водовідливу горизонту - 980 м шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка» використовуються відцентрові секційні багатоступінчасті насоси типу ЦНС 300-600, що комплектуються вибухозахищеними високовольтними асинхронними електродвигунами серії **1BAO-560LA-4У2,5**.

					<i>ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:</i>			
Зм.	Арк..	№ документа	Підпис	Дата	Розділ 1	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Затолокін В.							
Пеоєвірів	Ільченко О.						16	59
						ЕЕМ-22-2		
Н. Контр.	Ільченко О.							
Затвердж.	Пересунько І							

Технічні характеристики та габаритні розміри базового обладнання

Для забезпечення надійної роботи головного водовідливу горизонту - 980 м шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка» використовуються відцентрові секційні багатоступінчасті насоси типу ЦНС 300-600, що комплектуються вибухозахищеними високовольтними асинхронними електродвигунами серії 1BAO-560LA-4У2,5.

На основі заводської технічної документації (Ясногорський насосний завод та паспортні дані ТУ РБ 200294708.024-2001) сформовано зведені технічні та габаритні параметри механічного устаткування.

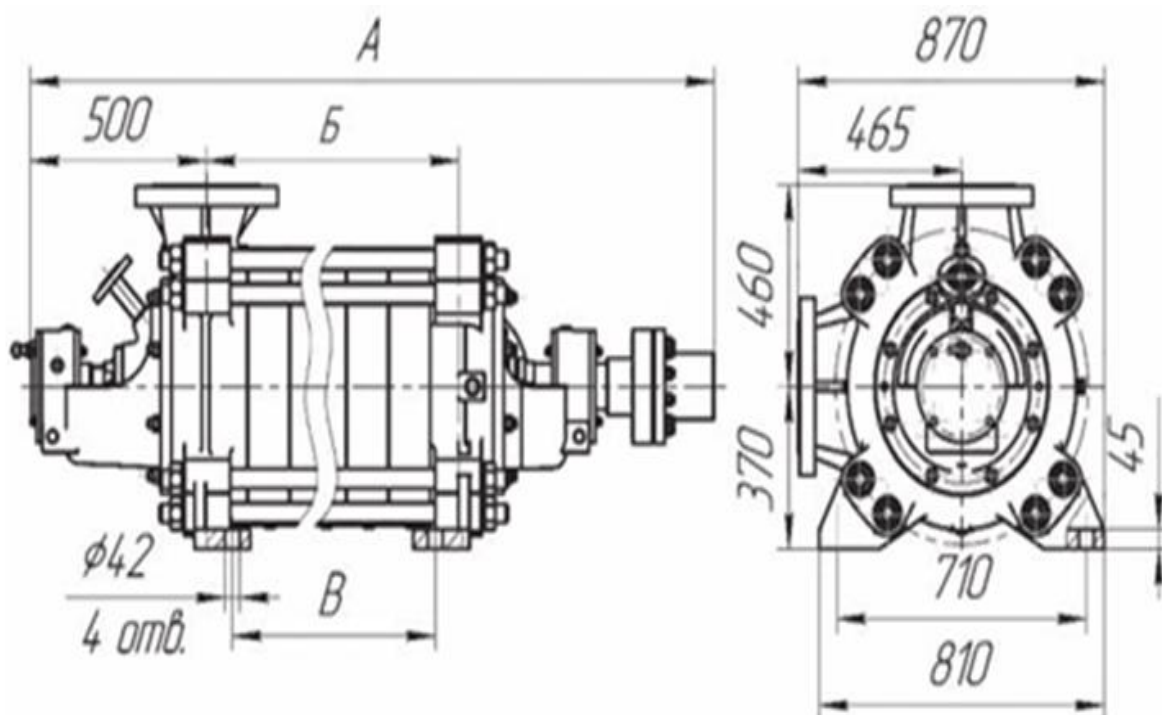
Таблиця 1.1 Технічні параметри насоса ЦНС 300-60

Найменування технічного параметра	Одиниця виміру	Значення параметра
Номінальна подача (продуктивність) $Q_{\text{ном}}$	м ³ /год	300
Номінальний напір насоса $H_{\text{ном}}$	м	600
Фактичний розрахунковий напір системи $H_{\text{розр}}$ (з урахуванням втрат у ставу)	м	511,2
Частота обертання вала (номінальна) n	об/хв	1500
Коефіцієнт корисної дії (ККД) насоса $\eta_{\text{н}}$	%	78
Кількість робочих секцій (ступенів)	шт.	10

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найменування технічного параметра	Одиниця виміру	Значення параметра
Допустимий кавітаційний запас $\Delta h_{\text{доп}}$	м	5,5
Розрахункова потужність на валу насоса в робочій точці $P_{\text{вал}}$	кВт	621,3
Діаметр нагнітального патрубку	мм	200
Діаметр всмоктувального патрубку	мм	250
Максимально допустима температура води, що перекачується	°C	+45

Рисунок 1 - Габаритні креслення насоса ЦНС



					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.2. Характеристики двигуна

Найменування технічного параметра	Позначення	Значення параметра
Тип електродвигуна	—	1BAO-560LA-4У2,5
Номінальна потужність	P_н	800 кВт
Номінальна напруга живлення	U_н	6000 В (6 кВ)
Синхронна частота обертання	n₀	1500 об/хв
Номінальна частота струму мережі	f	50 Гц
Номінальний струм статора (при 6 кВ)	I_н	~90,0 А
Коефіцієнт корисної дії (ККД)	η_н	95,0 % (S0,95S)
Коефіцієнт потужності	cosφ_н	0,90
Кратність максимального моменту	M_{макс} / M_{ном}	2,5
Кратність пускового моменту	M_{пуск} / M_{ном}	1,5
Кратність пускового струму	I_{пуск} / I_{ном}	7,0

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

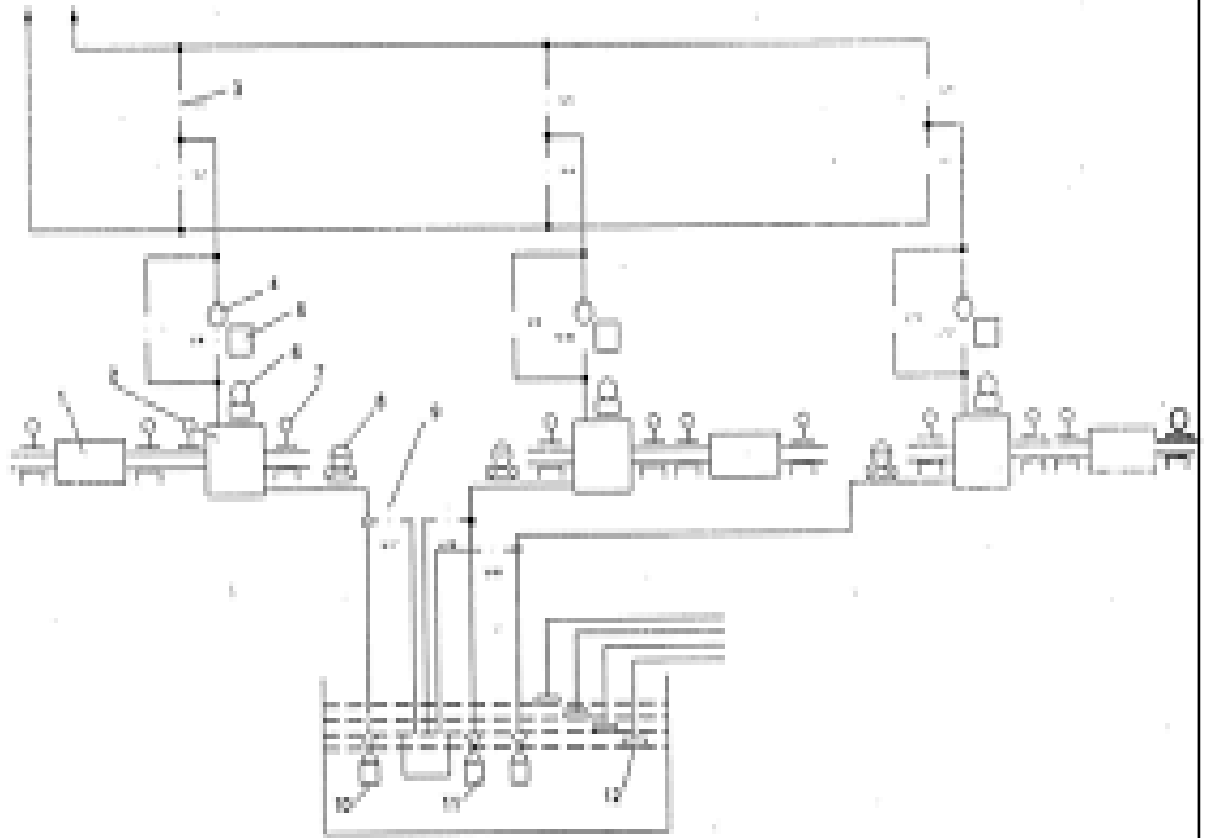
Найменування технічного параметра	Позначення	Значення параметра
Виконання за вибухозахистом	—	PBExdI / 1ExdIIBT4

Рисунок 2 - Структура умовного позначення двигуна



					<i>ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:</i>	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 4 - Технологічна схема водовідливної установки



Умови експлуатації обладнання в підземній насосній камері горизонту - 980 м характеризуються високою вологістю повітря (від 70% до 100%) та температурою навколишнього середовища в межах від +10 °С до +25 °С. Перекачуване середовище — шахтна технічна вода з рівнем мінералізації та наявністю механічних домішок (шламу), що є характерним для залізрудних шахт Кривбасу.

Існуюча схема пуску та роботи електродвигунів 1ВАО-560 потужністю 800 кВт є нерегульованою — підключення до високовольтної мережі 6 кВ здійснюється напряму через високовольтні комірки (вивідні масляні або вакуумні вимикачі). Регулювання подачі води за такої схеми виконується механічним способом — за допомогою засувки (дроселюванням), що супроводжується значними гідравлічними втратами та перевитратою електричної енергії.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Опис існуючої схеми керування та аналіз її недоліків

На сьогоднішній день у насосній камері горизонту - 980 м шахти «Ювілейна» встановлено три насосні агрегати ЦНС 300-600 з електродвигунами 1ВАО-560 (800 кВт, 6 кВ). Схема роботи передбачає, що один насос знаходиться в роботі, один — у гарячому резерві, і один — у плановому ремонті або обслуговуванні.

Існуюча схема електроприводу є нерегульованою. Запуск двигунів здійснюється безпосереднім підключенням до високовольтної мережі 6 кВ (прямий пуск) за допомогою вакуумних вимикачів у розподільчому пункті (РП-6 кВ) насосної камери.

Така технологічна схема має ряд суттєвих недоліків:

Високі пускові струми: При прямому пуску асинхронного двигуна потужністю 800 кВт пусковий струм перевищує номінальний у 6–7 разів. Це викликає значні просідання напруги в підземній кабельній мережі шахти, що негативно впливає на роботу інших споживачів та прискорює старіння ізоляції обмоток самого двигуна.

Гідравлічні удари: При прямому пуску насос миттєво виходить на номінальну частоту обертання (1500 об/хв). Це створює різкий скачок тиску у вертикальному трубопроводі (ставе) висотою майже 1000 метрів. Гідроудари руйнують засувки, зворотні клапани та призводять до зносу стиків трубопроводів.

Неефективне регулювання (дроселювання): Приплив шахтної води в зумпф є нерівномірним протягом доби. Оскільки швидкість обертання насоса постійна, регулювання продуктивності здійснюється «затисканням» вихідної засувки. Це призводить до того, що частина потужності двигуна витрачається на подолання штучного опору засувки, тобто енергія просто втрачається на нагрів води та запірної арматури (низький ККД системи).

1.3. Обґрунтування напрямку модернізації та вибір структури системи

Для усунення зазначених недоліків у даному дипломному проєкті запропоновано модернізацію електроприводу на основі впровадження високовольтного перетворювача частоти (ВПЧ).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Враховуючи високу вартість силового обладнання на напругу 6 кВ, впровадження індивідуального перетворювача для кожного з трьох насосів є економічно недоцільним. Тому прийнято рішення застосувати схему по черзі (каскадного) керування від одного ВПЧ.

При такій структурі система працює за наступним алгоритмом:

Впроваджується один перетворювач частоти потужністю 800 кВт (напруга 6 кВ).

За допомогою системи високовольтих замикачів та контакторів перетворювач частоти може підключатися до будь-якого з трьох двигунів насосів (№1, №2 або №3).

Пуск обраного насоса завжди здійснюється плавно, з контролем частоти від 0 до 50 Гц, що повністю виключає пускові струми та гідроудари в шахтному ставі.

Автоматика (на базі програмованого логічного контролера, ПЛК) відстежує рівень води в зумпфі за допомогою датчиків. Якщо приплив води невеликий, насос працює на зниженій частоті обертання, забезпечуючи максимальну економію електроенергії.

Якщо приплив води перевищує продуктивність одного насоса, ВПЧ плавно розганяє перший насос до номінальної швидкості (50 Гц), переводить його на живлення напряму від мережі 6 кВ (байпас), а сам переключається на плавну розгін другого (резервного) насоса.

Така схема забезпечує 100% резервування, плавний пуск будь-якого агрегату та точну підтримку рівня води в шахті без участі людини за допомогою засувки.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2. РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

2.1. Розрахунок гідравлічних характеристик та перевірка вибору насоса.

Для обґрунтування модернізації та подальшого розрахунку потужності електроприводу необхідно виконати перевірочний розрахунок параметрів водовідливної установки при роботі на трубопровід між горизонтами шахти «Ювілейна».

Вихідні дані згідно з паспортом установки та технічним завданням:

- Номінальна подача насоса: $Q_{\text{ном}} = 300 \text{ м}^3/\text{год} = 0,0833 \text{ м}^3/\text{с}$;
- Геометрична висота підйому води: $H_r = 500 \text{ м}$;
- Орієнтовна довжина трубопроводу з урахуванням місцевих опорів:
 $L = 550 \text{ м}$;
- Прийнятий діаметр шахтного ставу (труби): $D = 0,25 \text{ м}$ (250 мм).

Швидкість руху води в трубопроводі:

$$v = \frac{4 \cdot Q_{\text{ном}}}{\pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 0,0833}{3,14 \cdot 0,25^2} \approx 1,7 \text{ м/с}$$

Швидкість знаходиться в межах рекомендованих значень для головних водовідливів (1,5–2,2 м/с).

Гідравлічні втрати напору в трубопроводі визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$h_{\text{вт}} = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

					<i>ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		Затолокін В,			Розділ 2	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірів</i>		Ільченко О.					25	59
						ЕЕМ-22-2		
<i>Н. Контр.</i>		Ільченко О.						
<i>Затвердж</i>		Пересулько І						

Де λ — коефіцієнт гідравлічного опору (для старих шахтних труб приймається $\lambda = 0,03$;

$$g = 9,81 \text{ м/с}^2$$

$$h_{\text{вт}} = 0,03 \cdot \frac{550}{0,25} \cdot \frac{1,7^2}{2 \cdot 9,81} = 66 \cdot 0,147 \approx 9,7 \text{ м}$$

З урахуванням місцевих опорів (коліна, засувки, зворотні клапани), які складають близько 10-15% від лінійних втрат, повні втрати напору дорівнюють:

$$H_{\text{вт}} = 1,15 \cdot h_{\text{вт}} = 1,15 \cdot 9,7 \approx 11,2 \text{ м}$$

Необхідний повний напор водовідливної установки:

$$H_{\text{необ}} = H_{\text{г}} + H_{\text{вт}} = 500 + 11,2 = 511,2 \text{ м}$$

Оскільки номінальний напор обраного насоса ЦНС 300-600 становить $H_{\text{нас}} = 600 \text{ м}$, умова $H_{\text{нас}} \geq H_{\text{необ}}$ ($600 > 511,2$) виконується. Задвоєння або надлишок напору в існуючій схемі гасився закриттям засувки (дроселюванням), що підтверджує необхідність впровадження ЧРП для зниження обертів двигуна та роботи насоса на реальний напор системи.

2.2. Розрахунок необхідної потужності та перевірка електродвигуна

Для забезпечення надійної роботи головної водовідливної установки необхідно виконати перевірочний розрахунок потужності, яку споживає насос ЦНС 300-600 при роботі на гідравлічну мережу шахти, та порівняти її з номінальною потужністю обраного електродвигуна 1ВАО-560LA-4У2,5.

1. Визначення корисної потужності насосної установки ($P_{\text{к}}$)

Корисна потужність (потужність, яка витрачається безпосередньо на підйом заданого об'єму води на визначену висоту) розраховується за формулою:

$$P_{\text{к}} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{\text{необ}}}{1000}$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де:

- ρ — густина шахтної води (враховуючи наявність шламу та високу мінералізацію, приймаємо $\rho = 1050 \text{ кг/м}^3$;
- g — прискорення вільного падіння $g = 9,81 \text{ м/с}^2$;
- Q — номінальна подача насоса $Q = 300 \text{ м}^3/\text{год} = 0,0833 \text{ м}^3/\text{с}$;
- $H_{\text{необ}}$ — необхідний повний напір установки з урахуванням гідравлічних втрат ($H_{\text{необ}} = 511,2 \text{ м}$).

Підставляємо значення:

$$P_{\text{к}} = \frac{1050 \cdot 9,81 \cdot 0,0833 \cdot 511,2}{1000} \approx 438,4 \text{ кВт}$$

2. Визначення необхідної потужності на валу електродвигуна $P_{\text{вал}}$

Потужність на валу двигуна враховує втрати енергії безпосередньо всередині самого насоса (його гідравлічний та механічний ККД) та втрати у з'єднувальній муфті:

$$P_{\text{вал}} = \frac{P_{\text{к}}}{\eta_{\text{нас}} \cdot \eta_{\text{м}}}$$

де:

- $\eta_{\text{нас}}$ — ККД насоса ЦНС 300-600 (згідно з паспортною характеристикою для номінального режиму $\eta_{\text{нас}} = 0,72$;
- $\eta_{\text{м}}$ — ККД з'єднувальної муфти між валами двигуна та насоса ($\eta_{\text{м}} = 0,98$).

Підставляємо значення:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$P_{\text{вал}} = \frac{438,4}{0,72 \cdot 0,98} = \frac{438,4}{0,7056} \approx 621,3 \text{ кВт}$$

3. Розрахунок необхідної потужності електродвигуна з урахуванням коефіцієнта запасу ($P_{\text{др_необ}}$)

Для підземних водовідливних установок, згідно з правилами безпеки, обов'язково враховується коефіцієнт запасу потужності (k_3), який компенсує можливі коливання густини води, знос проточних частин насоса та нестабільність напруги мережі. Для двигунів потужністю понад 100 кВт приймається $k_3 = 1,15$.

$$P_{\text{др_необ}} = P_{\text{вал}} \cdot k_3 = 621,3 \cdot 1,15 \approx 714,5 \text{ кВт}$$

4. Перевірка обраного електродвигуна за потужністю

Для забезпечення безперебійної роботи без ризику перевантаження та перегріву обмоток, номінальна потужність обраного двигуна ($P_{\text{ном}}$) повинна задовольняти наступну умову:

$$P_{\text{ном}} \geq P_{\text{др_необ}}$$

Порівнюємо значення нашого двигуна **1BAO-560LA-4Y2,5** (800кВт) з необхідною розрахунковою потужністю:

$$800 \text{ кВт} > 714,5 \text{ кВт}$$

Визначимо фактичний коефіцієнт завантаження електродвигуна в номінальному режимі роботи системи:

$$k_{\text{зав}} = \frac{P_{\text{вал}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{621,3}{800} \approx 0,78 \text{ (або 78\%)}$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновок: Перевірочний розрахунок показує, що обраний високовольтний вибухозахищений електродвигун типу **1BAO-560LA-4Y2,5** (потужністю **800 кВт**) повністю задовольняє вимогам водовідливної установки. Двигун працюватиме з оптимальним коефіцієнтом завантаження (78%), що створює необхідний резерв потужності (22%) на випадок підвищення припливу чи забрудненості шахтної води.

2.3. Вибір високовольтного перетворювача частоти та принцип його роботи

Для регулювання продуктивності насосного агрегату ЦНС 300-600 та забезпечення плавного пуску електродвигуна 1BAO-560LA-4Y2,5 (800кВт, 6 кВ, $I_{ном} \sim 90A$) обираємо сучасний високовольтний перетворювач частоти (ВПЧ) на базі багаторівневих інверторів напруги з транзисторами IGBT.

Критерії вибору ВПЧ:

- Номінальна напруга: 6 кВ.
- Номінальна потужність: не менше потужності двигуна (800кВт) з урахуванням запасу за повна потужністю ($\sim 1000кВА$).
- Номінальний вихідний струм: не менше 90А (обираємо стандартний ряд на 100–120А).
- Виконання: шахтне нормальне (РН) або промислове для розміщення в спеціальній підземній камері водовідливу із захистом не нижче IP54.

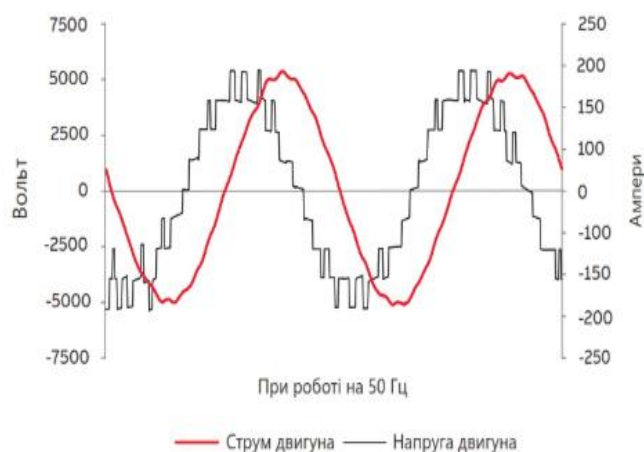
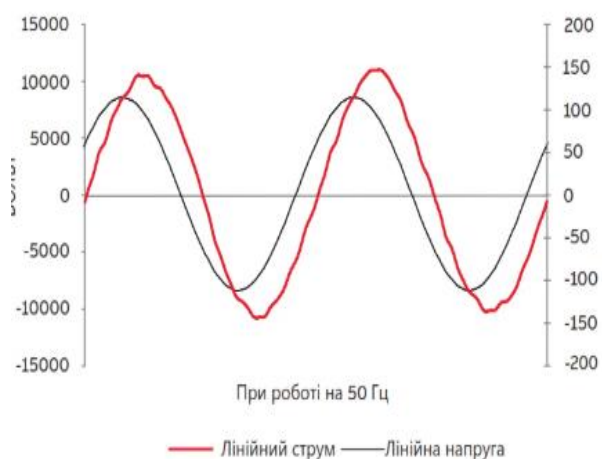
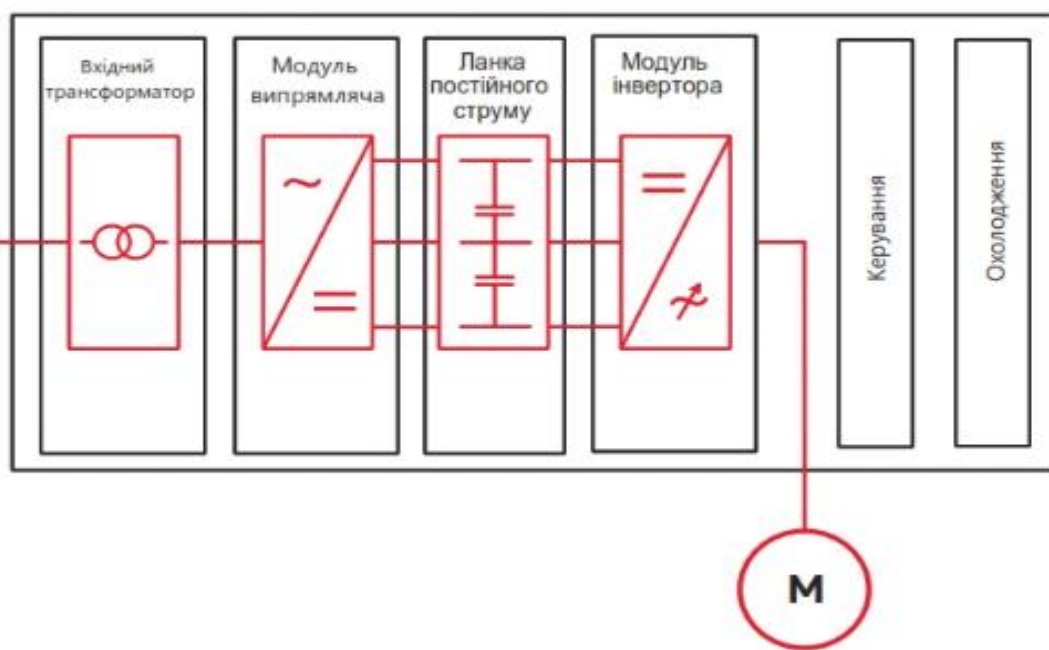
Для проєкту приймається високовольтний частотно-регульований привід типу **ВПЧ-6-1000**

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 5 - Частотно-регульований привід типу ВПЧ-6-1000 та його характеристики



Головне джерело живлення



					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3.1 Опис функціональної схеми ВПЧ (до Рисунка 2.4)

Назва малюнка в дипломі: Рисунок 2.4 — Функціональна схема високовольтного перетворювача частоти з ланкою постійного струму.

На представленій схемі (рис. 2.4) чітко виділено три основні силові блоки перетворення енергії:

1. Трансформаторний блок (Вхідний трансформатор Т):

Високовольтна напруга шахтної мережі 6кВ надходить на багатообмотковий сухий узгоджувальний трансформатор. Він виконує дві найважливіші функції: гальванічне розв'язування силової електроніки від шахтної мережі та зсув фаз на вторинних обмотках для зменшення вищих гармонік (забезпечує «чистий» струм без перешкод назад у мережу шахти).

2. Ланка постійного струму (Випрямляч та Фільтр):

◦ **Випрямляч (Блок В):** Змінна напруга з обмоток трансформатора випрямляється за допомогою надійних трифазних діодних мостів, перетворюючись на постійну напругу.

◦ **Фільтр (Блок С):** Потужна батарея високовольтних конденсаторів згладжує пульсації напруги після випрямляча та накопичує енергію для стабільної роботи інвертора під навантаженням.

3. Блок інвертора (Автономний інвертор напруги — Блок І):

Випрямлена постійна напруга надходить на силові ключі — **IGBT-транзистори**. Керована за допомогою широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) система керування по чергово відкриває й закриває транзистори. Це дозволяє сформувати на виході нову синусоїдальну змінну напругу 6кВ, частоту якої можна плавно регулювати в діапазоні від 0 до 50Гц.

4. Чому ця схема ідеальна для твого двигуна 800 кВт?

Цей тип схеми («джерело напруги» з конденсатором С) забезпечує високий коефіцієнт потужності ($\cos \varphi \sim 0,95-0,97$) у всьому діапазоні регулювання. Двигун **1BAO-560LA-4** працюватиме м'яко, без додаткових перегрівів обмоток та ривків на валу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2. Технічні характеристики високовольтного перетворювача частоти ВПЧ-6-1000

Найменування технічного параметра	Позначення	Значення параметра
Тип (марка) перетворювача частоти	—	ВПЧ-6-1000
Номінальна повна потужність	S_n	1000 кВА
Максимальна потужність підключеного двигуна	$P_{\text{двиг}}$	до 800–850 кВт
Номінальна вхідна лінійна напруга	$U_{\text{вх}}$	6000 В (6 кВ)
Допустиме відхилення вхідної напруги	—	від -15% до +10%
Номінальна частота вхідної мережі	$f_{\text{вх}}$	50 Гц
Номінальний вихідний струм (тривалий)	$I_{\text{вих}}$	115–120 А
Номінальна вихідна напруга	$U_{\text{вих}}$	0– 6000В(регульована)
Діапазон регулювання вихідної частоти	$f_{\text{вих}}$	0 – 50 Гц (за запитом до 120 Гц)

Найменування технічного параметра	Позначення	Значення параметра
Коефіцієнт корисної дії (ККД) ВПЧ	$\eta_{\text{ДЧ}}$	$\geq 97,0 \%$ (0,97)
Коефіцієнт потужності (вхідний)	$\cos \varphi$	$\geq 0,96$ (у всьому діапазоні)
Тип силових напівпровідникових ключів	—	IGBT-модулі
Метод керування електроприводом	—	Скалярне / Векторне
Спосіб охолодження шаф	—	Примусове повітряне
Ступінь захисту оболонки (шафи)	—	IP54

• **Пояснення до параметрів (короткий супровідний текст для диплома):**

• **Запас за струмом:** Номінальний вихідний струм частотника (120А) перевищує номінальний струм нашого двигуна 1BAO-560LA-4 (90А). Це створює надійний запас понад 25%, що повністю виключає перегрів силових транзисторів IGBT під час тривалої роботи водовідливу.

• **Високий коефіцієнт потужності ($\cos \varphi \geq 0,96$):** Завдяки багаторівневій схемі та вхідному суху трансформатору, частотник майже не споживає реактивної потужності з шахтної мережі 6 кВ, що покращує енергоефективність усієї підстанції.

• **Захист IP54:** Забезпечує пило- та вологозахищене виконання шаф, що є обов'язковою умовою для підземних виробок і камери головного водовідливу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технічне обґрунтування вибору даної моделі ВПЧ:

Вибір високовольтного перетворювача частоти типу **ВПЧ-6-1000** для модернізації головної водовідливної установки шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка» зумовлений його відповідністю жорстким підземним умовам експлуатації та технічним параметрам приводного електродвигуна 1BAO-560LA-4У2,5 (800кВт, 6 кВ, $I_{\text{ном}} \sim 90\text{А}$).

Головними технічними чинниками, що обґрунтовують застосування даної моделі, є:

1. **Запас за потужністю та струмом.** Номінальна повна потужність перетворювача становить 1000кВА, а тривалий вихідний струм — 120А. Оскільки номінальний струм статора нашого двигуна складає $\sim 90\text{А}$, ВПЧ має коефіцієнт технологічного запасу:

$$k_{\text{зап}} = \frac{120}{90} \approx 1,33 \text{ (або 33\%)}$$

Це гарантує надійну роботу силових IGBT-модулів без перегріву навіть у моменти пікових навантажень або під час пуску насоса ЦНС 300-600 на заповнений водою вертикальний став.

2. **Багаторівнева топологія інвертора напруги.** Модель ВПЧ-6-1000 виконана за схемою багатокоміркового каскадного інвертора. Це дозволяє формувати вихідну високовольтну напругу 6кВ безпосередньо, без використання додаткових вихідних підвищувальних трансформаторів. Така форма вихідної напруги є практично ідеальною синусоїдою (коефіцієнт гармонічних спотворень $\text{THD} < 3\%$). Як наслідок, двигун 1BAO-560LA-4 не потребує встановлення додаткових синус-фільтрів, у його обмотках не виникають критичні перенапруги, а ізоляція не піддається прискореному старінню.

3. **Електромагнітна сумісність із шахтною мережею (ЕМС).** Завдяки застосуванню вхідного багатообмоткового трансформатора зі зсувом фаз, перетворювач частоти має низький рівень зворотного впливу на живильну підстанцію шахти. Коефіцієнт потужності на вході ВПЧ становить $\cos \varphi \geq 0,96$.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це мінімізує споживання реактивної потужності та виключає появу завад у загальній високовольтній мережі горизонту - 980 м, забезпечуючи стабільну роботу релейного захисту та автоматики (РЗА) інших споживачів.

4. Висока енергоефективність. Власний ККД перетворювача частоти становить не менше 97%. Перехід від регулювання засувкою (дроселювання) до частотного регулювання обертів вала дозволяє виключити марні гідравлічні втрати. При зниженні частоти обертання двигуна відповідно до реального припливу води, споживання активної потужності падає пропорційно кубу частоти, що забезпечує **економію електроенергії до 20–30%.**

5. Конструктивна надійність та захист. Шафи ВПЧ мають ступінь захисту оболонки IP54, що захищає силову електроніку від пилу та крапель води, характерних для підземних виробок. Система керування має вбудований комплекс захистів (від коротких замикань, перевантаження за струмом, просідання вхідної напруги, перегріву IGBT-модулів), що мінімізує ризик аварійних зупинок водовідливу.

Висновок: Застосування високовольтного перетворювача частоти **ВПЧ-6-1000** є повністю технічно обґрунтованим.

Воно дозволяє реалізувати надійний плавного пуск двигуна 800кВт із ліквідацією гідроударів, оптимізувати енергоспоживання системи водовідливу та суттєво продовжити міжремонтний ресурс насосного агрегату ЦНС 300-600.

2.4. Розробка системи автоматизації та вибір засобів контролю водовідливної установки.

Впровадження частотно-регульованого приводу вимагає створення надійної автоматизованої системи керування, яка без участі людини (в автоматичному режимі) зможе оцінювати об'єм шахтного припливу та гнучко змінювати частоту обертання електродвигуна 1BAO-560LA-4Y2,5.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.4.1. Обґрунтування та вибір програмованого логічного контролера (ПЛК)

«Мозком» системи автоматизації є програмований логічний контролер (ПЛК). Він зчитує сигнали від технологічних датчиків, обробляє їх за заданим алгоритмом і видає керуючі команди на високовольтний перетворювач частоти (ВПЧ) та виконавчі механізми (електроприводи засувки, допоміжні насоси).

Для проекту обираємо промисловий контролер модульного типу, який має високий рівень стійкості до електромагнітних завад від ВПЧ та надійно працює в підземних умовах. Приймаємо контролер типу **Siemens SIMATIC S7-1200** (модель CPU 1214C DC/DC/DC) або аналог із відповідною кількістю входів/виходів.

Рисунок 6 - Контролер типу Siemens SIMATIC S7-1200



Контролер забезпечує:

- Прийом аналогових сигналів 4-20 мА (рівень води, тиск у ставі).
- Прийом дискретних сигналів 24 В (положення засувки, стан вакуумного вимикача).
- Видачу команд керування на ВПЧ по промисловому протоколу Modbus TCP або Profibus.

2.4.2. Вибір датчиків та засобів технологічного контролю

Для стабільної роботи алгоритму автоматизації в камері водовідливу горизонту -980 м встановлюються такі первинні датчики:

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. **Датчик рівня води в зумпфі (водозбірнику):** Обираємо гідростатичний занурювальний датчик рівня (рівнемір) типу **BD Sensors LMK 307** (або ультразвуковий аналог).

Він встановлюється на дно зумпфа і передає безперервний аналоговий сигнал струму (4–20 мА), пропорційний висоті стовпа води.

2. **Датчики тиску на нагнітанні насоса:** Для контролю тиску, що створює насос ЦНС 300-600, та захисту від «сухого ходу» або розриву ставу, встановлюємо інтелектуальний датчик тиску (манометр) типу **MBS 3000**.

3. **Датчики контролю температури підшипників:** Для захисту від перегріву та заклинювання валів, у підшипникові вузли насоса та двигуна вбудовуються термоперетворювачі опору типу **ТСП (Pt100)**.

• **2.4.3. Алгоритм автоматичного керування за рівнем води**

Програма, завантажена в пам'ять ПЛК, реалізує наступну логіку керування залежно від рівня води в зумпфі:

• **Аварійно низький рівень ($H_{\min}$):** Якщо рівень води падає до критичної позначки, ПЛК негайно видає команду на зупинку ВПЧ і двигуна, щоб виключити роботу насоса «на суху» та запобігти кавітаційному руйнуванню робочих коліс.

• **Номінальний рівень ($H_{\text{ном}}$):** При нормальному поточному припливі у ПЛК активується **ПД-регулятор** (пропорційно-інтегрально-диференціальний). Контролер плавно змінює вихідний сигнал на ВПЧ (у діапазоні від 35 до 50 Гц) так, щоб продуктивність насоса чітко відповідала об'єму води, яка прибуває. Рівень у зумпфі стабілізується на одній відмітці.

• **Верхній рівень ($H_{\max}$):** Якщо приплив води різко збільшується (наприклад, у період паводку), і один насос навіть на частоті 50 Гц не впорається, ПЛК переводить перший насос на роботу напряму від мережі (через байпасний контактор), а сам переключає ВПЧ на плавний запуск другого (резервного) насосного агрегату для спільної роботи на став.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3. ВИБІР КОМУТАЦІЙНОЇ, ЗАХИСНОЇ АПАРАТУРИ ТА КАБЕЛІВ ЖИВЛЕННЯ

Для надійної та безпечної роботи високовольтного перетворювача частоти (ВПЧ-6-1000) та електродвигуна 1BAO-560LA-4Y2,5 необхідно провести розрахунок та вибір живильних кабельних ліній, а також комутаційної та захисної апаратури напругою 6 кВ.

3.1. Розрахунок та вибір високовольтних кабелів

Кабельні лінії повинні задовольняти трьом основним умовам: нагріванню тривалим струмом навантаження, допустимим втратам напруги та термічній стійкості до струмів короткого замикання (КЗ).

1. Визначення розрахункового струму лінії ($I_{\text{розр}}$)

Розрахунковий струм лінії живлення визначається за повною номінальною потужністю перетворювача частоти ($S_{\text{н}} = 1000 \text{ кВА}$) та номінальною лінійною напругою мережі ($U_{\text{н}} = 6 \text{ кВ}$):

$$I_{\text{розр}} = \frac{S_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}}$$

$$I_{\text{розр}} = \frac{1000}{1,732 \cdot 6} = \frac{1000}{10,392} \approx 96,2 \text{ А}$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Затолокін В.			Розділ 3	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірив		Ільченко О.					38	59
						ЕЕМ-22-2		
Н. контр.		Ільченко О,						
Затвердж.		Пересулько І						

2. Вибір перерізу кабелю за умовою тривалого нагрівання

Для підземних умов шахти «Ювілейна» приймаємо до монтажу силовий броньований кабель із мідними жилами та ПВХ ізоляцією марки **ВБбШв-6 кВ**.

Згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), для розрахункового струму 96,2А при прокладанні в підземній виробці (в повітрі) обираємо кабель перерізом **3×35мм²**. Допустимий тривалий струм для мідних жил такого перерізу становить $I_{\text{доп}} = 145\text{А}$.

Перевірка за умовою:

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{розр}} \implies 145 \text{ А} > 96,2 \text{ А}$$

Умова повністю виконується з достатнім технологічним запасом.

3. Перевірка кабелю на термічну стійкість до струмів короткого замикання (КЗ)

Мінімальний переріз кабелю, стійкий до теплової дії струму КЗ ($q_{\text{мін}}$), розраховується за формулою:

$$q_{\text{мін}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(3)} \cdot \sqrt{t_{\text{від}}}}{C}$$

де:

- $I_{\text{КЗ}}^{(3)}$ — трифазний струм короткого замикання на шинах підземного розподільного пункту РП-6 кВ горизонту -980 м (за даними енергослужби шахти приймаємо $I_{\text{КЗ}}^{(3)} = 8,5 \text{ кА} = 8500 \text{ А}$);
- $t_{\text{від}}$ — приведений час дії захисту та вимкнення вакуумного вимикача ($t_{\text{від}} = 0,15 \text{ с}$);
- C — термічний коефіцієнт, що враховує матеріал жил та ізоляції (для мідних жил із ПВХ ізоляцією $C = 115$).

$$q_{\text{мін}} = \frac{8500 \cdot \sqrt{0,15}}{115} = \frac{8500 \cdot 0,3873}{115} = \frac{3292}{115} \approx 28,6 \text{ мм}^2$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки прийнятий нами переріз кабелю (35мм^2) більший за мінімально допустимий за умовою термічної стійкості ($35 > 28,6\text{мм}^2$), кабель марки **ВБбШв 3 × 35 - 6** остаточно затверджується для прокладання від РП-6 кВ до ВПЧ та від ВПЧ до двигуна.

3.2. Вибір високовольтної комутаційної та захисної апаратури

Комутація та захист силових кіл здійснюється у високовольтних шафах (комірках) КСО або КРУ із застосуванням сучасних вакуумних вимикачів, які мають великий комутаційний ресурс і високу швидкість спрацьовування.

1. Вибір високовольтного вакуумного вимикача

Вимикач обирається за номінальною напругою, тривалим струмом та граничним струмом відключення КЗ. Для проєкту приймається вакуумний вимикач типу **ВВ/TEL-6-20/1000**.

Параметри перевірки апарату:

- Номінальна напруга вимикача: $U_{\text{ном.в}} = 10\text{кВ} \geq U_{\text{мережі}} (6\text{кВ})$ — умова виконується;
- Номінальний тривалий струм: $I_{\text{ном.в}} = 1000\text{А} \geq I_{\text{розр}} (96,2\text{А})$ — умова виконується;
- Номінальний струм відключення: $I_{\text{відкл}} = 20\text{кА} \geq I_{\text{КЗ}} (8,5\text{кА})$ — умова виконується.

2. Вибір обмежувачів перенапруг (ОПН)

Для захисту напівпровідникових елементів ВПЧ-6-1000 та ізоляції обмоток статора двигуна від комутаційних перенапруг, які виникають при оперативних перемиканнях вакуумного вимикача, передбачається встановлення нелінійних обмежувачів перенапруг на основі оксидно-цинкових варисторів.

Обираємо ОПН шахтного виконання типу **ОПН-К-6УХЛ5**:

- Номінальна напруга: 6кВ.
- Найбільша тривало допустима робоча напруга: 7,2 кВ.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Вибір трансформаторів струму (ТС)

Для контролю навантаження, вимірювання параметрів мережі та живлення мікропроцесорних блоків релейного захисту в комірці встановлюються трансформатори струму типу **ТЛК-10** (або ТОЛ-10) з коефіцієнтом трансформації під наш діапазон струмів:

$$K_{\text{транс}} = \frac{150}{5}$$

Номінальний вторинний струм складає 5А. Клас точності для вимірювань — 0,5, для релейного захисту — 10Р.

3.3. Розрахунок та вибір релейного захисту та автоматики (РЗА)

Для захисту високовольтної кабельної лінії, перетворювача частоти ВПЧ-6-1000 та асинхронного електродвигуна 1ВАО-560LA-4У2,5 від аварійних режимів роботи (коротких замикань та перевантажень), у ввідній комірці РП-6 кВ горизонту -980 м передбачається встановлення мікропроцесорного блока релейного захисту типу MRAC (або БМРЗ).

Згідно з вимогами «Правил безпеки у підземних виробках», захист повинен реалізувати:

1. Струмове відсікання (СВ) без витримки часу — від близьких міжфазних КЗ.
2. Максимальний струмовий захист (МСЗ) з витримкою часу — від тривалих перевантажень.
3. Захист від однофазних замикань на землю (ЗЗЗ).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3.1 Розрахунок уставки струмового відсікання ($I_{св}$)

Струмове відсікання призначене для миттєвої ліквідації аварій при коротких замиканнях. Струм спрацьовування відсікання повинен бути відбудований від максимальних пускових струмів.

Оскільки в модернізованій системі застосовано ВПЧ, пусковий струм обмежений електронікою на рівні номінального струму частотника (120А). Проте, для надійної відбудови від кидка струму при заряді вхідних конденсаторів ВПЧ під час увімкнення вакуунного вимикача, струм спрацьовування розраховується за формулою:

$$I_{св} = k_{від} \cdot I_{розр}$$

де:

- $k_{від}$ — коефіцієнт відбудови (для мікропроцесорних захистів приймається $k_{від} = 1,3$);
- $I_{розр}$ — розрахунковий струм лінії живлення ВПЧ (96,2А).

$$I_{св} = 1,3 \cdot 96,2 \approx 125,1 \text{ А}$$

Враховуючи раніше обрані трансформатори струму ТЛК-10 з коефіцієнтом трансформації $K_{транс} = 150/5 = 30$, визначаємо струм уставки (вторинний струм), який задається на панелі мікропроцесорного блока:

$$I_{св.вт} = \frac{I_{св}}{K_{транс}} = \frac{125,1}{30} \approx 4,17 \text{ А}$$

Витримка часу для струмового відсікання приймається: $t_{св}=0\text{с}$ (спрацьовує миттєво).

3.3.2. Розрахунок уставки максимального струмового захисту (МСЗ)

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

МСЗ призначений для захисту від тривалих струмових перевантажень. Струм спрацьовування МСЗ розраховується за умовою відбудови від максимального робочого струму установки:

$$I_{\text{МСЗ}} = \frac{k_{\text{надій}} \cdot k_{\text{зап}}}{k_{\text{повер}}} \cdot I_{\text{розр}}$$

де:

- $k_{\text{надій}}$ — коефіцієнт надійності спрацьовування (приймаємо 1,2);
- $k_{\text{зап}}$ — коефіцієнт самозапуску (при плавній роботі з ЧРП великих кидків немає, приймаємо $k_{\text{зап}} = 1,0$);
- $k_{\text{повер}}$ — коефіцієнт повернення реле (для цифрово-мікропроцесорних блоків $k_{\text{повер}} = 0,95$).

$$I_{\text{МСЗ}} = \frac{1,2 \cdot 1,0}{0,95} \cdot 96,2 \approx 1,263 \cdot 96,2 \approx 121,5 \text{ A}$$

Вторинний струм уставки МСЗ для налаштування реле:

$$I_{\text{МСЗ.ВТ}} = \frac{121,5}{30} \approx 4,05 \text{ A}$$

Витримка часу МСЗ обирається за принципом селективності: $t_{\text{МСЗ}} = 0,5 \text{ с}$

3.3.3. Перевірка чутливості захисту

Для підтвердження ефективності захисту розраховується коефіцієнт чутливості ($k_{\text{ч}}$) при мінімальному двофазному короткому замиканні в кінці лінії.

$$K3 (I_{\text{КЗ}}^{(3)} = 8500 \text{ A}):$$

Струм двофазного КЗ визначається через трифазний струм

$$I_{\text{КЗ}}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{\text{КЗ}}^{(3)} = 0,866 \cdot 8500 \approx 7361 \text{ A}$$

Коефіцієнт чутливості для МСЗ:

$$k_{\text{ч}} = \frac{I_{\text{КЗ}}^{(2)}}{I_{\text{МСЗ}}} = \frac{7361}{121,5} \approx 60,5$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно з ПУЕ, коефіцієнт чутливості повинен бути не менше 1,5 ($k_{\text{ч}} \geq 1,5$). Оскільки $60,5 > 1,5$, захист має надвисоку чутливість і гарантовано знеструмить пошкоджену ділянку мережі.

3.3.4. Захист від однофазних замикань на землю (ЗЗЗ)

Оскільки підземна високовольтна мережа 6 кВ шахти працює з ізольованою нейтраллю, струми замикання на землю є невеликими (ємнісними). Для фіксації таких аварій у комірці встановлюється трансформатор струму нульової послідовності типу ТЗЛР.

Первинна уставка струму спрацьовування захисту від замикань на землю встановлюється в межах **2....5 А** з дією на вимкнення вакуумного вимикача без витримки часу ($t_{\text{ЗЗЗ}} = 0\text{с}$), що унеможливорює розвиток аварії у двофазне КЗ або ур.

Згідно з ПУЕ, коефіцієнт чутливості повинен бути не менше 1,5 ($k_{\text{ч}} \geq 1,5$). Оскільки $60,5 > 1,5$, захист має надвисоку чутливість і гарантовано знеструмить пошкоджену ділянку мережі.

3.3.4. Захист від однофазних замикань на землю (ЗЗЗ)

Оскільки підземна високовольтна мережа 6 кВ шахти працює з ізольованою нейтраллю, струми замикання на землю є невеликими (ємнісними). Для фіксації таких аварій у комірці встановлюється трансформатор струму нульової послідовності типу ТЗЛР.

Первинна уставка струму спрацьовування захисту від замикань на землю встановлюється в межах **2....5 А** з дією на вимкнення вакуумного вимикача без витримки часу ($t_{\text{ЗЗЗ}} = 0\text{с}$), що унеможливорює розвиток аварії у двофазне КЗ або ураження персоналу.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

1. На підставі розрахункового струму лінії живлення ($I_{\text{розр}} = 96,2\text{А}$) та відповідно до нормативних вимог ПУЕ щодо тривалого нагріву провідників, для впровадження прийнято високовольтний трифазний кабель марки **ВБбШв 3×35-6кВ** із мідними жилами (гранично допустиме струмове навантаження становить 145А).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.Розрахункова перевірка обраного перерізу кабельної лінії на термічну стійкість під дією струмів трифазного короткого замикання (I_{K3}^3)= 8,5кА) визначила мінімально допустиму площу перерізу жил на рівні 28,6 мм². Оскільки фактичний переріз становить 35мм², геометричні параметри провідника задовольняють умові термічної стійкості.

3.Комутацію силових ланцюгів напругою 6 кВ закріплено за вакуумним вимикачем типу **ВВ/TEL-6-20/1000**. Апарат відповідає нормативним критеріям перевірки за номінальною напругою ($10\text{кВ} \geq 6\text{кВ}$), тривалим струмом ($1000\text{А} \geq 96,2\text{А}$) та комутаційною здатністю відключення ($20\text{кА} \geq 8,5\text{кА}$).

4.Для мінімізації амплітуди комутаційних перенапруг у високовольтних колах частотно-регульованого електроприводу обрано нелінійні обмежувачі типу **ОПН-К-6УХЛ5**. Організацію вимірювальних кіл та живлення пристроїв захисту реалізовано за допомогою трансформаторів струму **ТЛК-10** із коефіцієнтом трансформації 150/5.

5.На базі мікропроцесорного пристрою **MRAC** розраховано параметри налаштування релейного захисту. Уставка струмового відсікання становить 125,1А (вторинний струм — 4,17А, $t = 0\text{с}$), уставка максимального струмового захисту — 121,5А (вторинний струм — 4,05А, $t = 0,5\text{с}$). Розрахунковий коефіцієнт чутливості до двофазного КЗ становить $k_{\text{ч}} = 60,5$, що задовольняє нормативній вимозі ($k_{\text{ч}} \geq 1,5$). Захист від однофазних замикань на землю реалізовано через трансформатор ТЗЛР з дією на відключення вимикача без витримки часу.

Параметри обраного електрообладнання та розраховані режими роботи систем захисту повністю відповідають вимогам діючих нормативних документів із безпеки у гірничорудній промисловості.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

Реалізація проектних рішень із модернізації головної водовідливної установки горизонту -980 м шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суха Балка» вимагає дотримання нормативних вимог Закону України «Про охорону праці», «Правил безпеки у підземних виробках» (НПАОП 10.0-1.01-16) та чинного екологічного законодавства.

4.1. Промислова санітарія та заходи безпеки в камері водовідливу

1. **Вентиляція та мікроклімат.** Відповідно до нормативних вимог, температура повітря в підземній електротехнічній камері не повинна перевищувати +26 °С. Оскільки високовольтний перетворювач частоти ВПЧ-6-1000 виділяє у вигляді тепла до 3% своєї номінальної потужності (~24кВт), у камері передбачено організацію примусової припливно-витяжної вентиляції за рахунок відокремленого струменя свіжого повітря або встановлення кондиціонерів шахтного виконання.

2. **Освітлення.** Штучне освітлення камери головного водовідливу реалізовано за допомогою вибухозахищених світлодіодних світильників типу СГВ. Рівень освітленості на робочих місцях та біля панелей керування ПЛК Siemens становить не менше 50 лк, що відповідає вимогам нормативних документів.

3. **Захист від шуму та вібрації.** Основним джерелом шуму є насосний агрегат ЦНС 300-600. Для зниження рівня звукового тиску до нормативних 80 дБА застосовано демпфуючі прокладки під фундаментні рами, а обслуговуючий персонал забезпечується засобами індивідуального захисту (протишумні навушники або беруші).

4.2. Техніка безпеки при експлуатації високовольтного електрообладнання

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 4	Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Затолокін В.						
Перевірів		Ільченко О.					46	59
						ЕЕМ-22-2		
Н. контр.		Ільченко О.						
Затвердж.		Пересунько І						

1. **Захист від ураження електричним струмом.** Усі металеві неструмоведучі частини шаф ВПЧ-6-1000, комірок КСО, корпусів електродвигуна 1ВАО-560LA-4У2,5 та засувки підлягають обов'язковому приєднанню до загальношахтного контуру заземлення. Опір головного заземлювального пристрою не повинен перевищувати 2 Ом.

2. **Блокування та оперативні перемикання.** Високовольтні шафи ВПЧ та комірки КРУ обладнані механічними та електромагнітними блокуваннями, що унеможливають відкривання дверей при наявності напруги на силових шинах або увімкненому вакуумному вимикачі ВВ/TEL. Обслуговування дозволяється персоналу з групою з електробезпеки не нижче IV після оформлення наряду-допуску.

3. **Протипожежний захист.** Камера головного водовідливу відділена від підхідних виробок протипожежними металевими дверима. У камері розташовано первинні засоби пожежогасіння (вуглекислотні вогнегасники ВВ-5) та автоматичну порошкову систему пожежогасіння, узгоджену з алгоритмом відключення ввідного вимикача 6 кВ.

4.3. Екологічна безпека

1. **Запобігання забрудненню підземних вод.** Використання герметичних підшипникових вузлів із консистентним мастилом у насосі ЦНС 300-600 та двигуні мінімізує ризик потрапляння нафтопродуктів у шахтні води. Технологічні витоки через сальники насоса відводяться спеціальними дренажними канавками у водозбірник (зумпф) для подальшої відкачки на очисні споруди поверхневого комплексу шахти.

2. **Енергозбереження та зменшення викидів.** Зниження споживання електроенергії на 821000кВт*год/рік внаслідок роботи ЧРП призводить до опосередкованого зменшення викидів парникових газів (CO₂, NO_x) на теплових електростанціях енергосистеми України, що генерують електричну енергію для потреб промисловості.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Технічні рішення з монтажу та експлуатації ВПЧ-6-1000 і двигуна 1BAO-560LA-4У2,5 виконані з дотриманням нормативних вимог НПАОП 10.0-1.01-16 щодо підземних електроустановок.

2. Створені умови промислової санітарії (освітлення, вентиляція, захист від шуму) забезпечують безпечне перебування обслуговуючого персоналу в камері водовідливу горизонту -980 м.

3. Проєкт реалізує принципи екологічної безпеки за рахунок ліквідації неконтрольованих витоків мастильних матеріалів та зниження загального рівня енергоспоживання підприємства.

					<i>ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:</i>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЧРП

Модернізація головної водовідливної установки горизонту -980 м шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суша Балка» із заміною традиційного дросельного регулювання на частотно-керований електропривід на базі високовольтного перетворювача частоти ВПЧ-6-1000 та електродвигуна 1BAO-560LA-4Y2,5 потребує детального техніко-економічного обґрунтування.

Даний розділ містить розрахунки енергетичних показників системи, визначення обсягів заощадження паливно-енергетичних ресурсів, капітальних витрат та термінів окупності інвестиційного проекту.

5.1. Аналіз балансу потужності та розрахунок річного споживання електроенергії до модернізації

При базовій (існуючій) схемі експлуатації регулювання подачі насосного агрегату ЦНС 300-600 здійснюється за допомогою зміни ступеня відкриття нагнітальної засувки (метод дроселювання). Електродвигун при цьому функціонує з постійною частотою обертання ротора, що викликає значні гідравлічні втрати та перевитрату активної потужності.

Згідно з режимними картами енергослужби підприємства, середньорічний час експлуатації одного робочого насосного агрегату становить $T_{\text{рік}} = 5000 \text{ год/рік}$. Розрахункове гідравлічне навантаження на валу насоса при роботі на заповнений вертикальний став складає $P_{\text{вал}} = 621,3 \text{ кВт}$.

Потужність, що споживається електроприводом із високовольтною мережі 6 кВ до моменту впровадження ЧРП ($P_{\text{до}}$), визначається з урахуванням номінального коефіцієнта корисної дії (ККД) асинхронного двигуна ($\eta_{\text{д}} = 0,94$):

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 5	Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Затолокін В.						
Перевірив		Ільченко О.					49	59
						ЕЕМ-22-2		
Н. контр.		Ільченко О.						
Затвердж.		Пересунько І						

$$P_{\text{до}} = \frac{P_{\text{вал}}}{\eta_{\text{д}}}$$

$$P_{\text{до}} = \frac{621,3}{0,94} \approx 661,0 \text{ кВт}$$

Сумарний обсяг електричної енергії, що споживається водовідливною установкою за базовий річний період ($W_{\text{до}}$), розраховується за формулою:

$$W_{\text{до}} = P_{\text{до}} \cdot T_{\text{рік}}$$

$$W_{\text{до}} = 661,0 \cdot 5000 = 3305000 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

5.2. Розрахунок енергетичних параметрів та електроспоживання після впровадження ЧРП

Впровадження ВПЧ-6-1000 дозволяє змінювати частоту живильної напруги і, як наслідок, забезпечує пропорційне регулювання кутової швидкості обертання вала насоса відповідно до фактичного дебіту підземного припливу води. За статичними даними, середній коефіцієнт зниження частоти за період інтегрального добового регулювання становить $k_{\text{ч}}=0,9$ (еквівалентно середній робочій частоті $f_{\text{сер}}=45\text{Гц}$ замість номінальних $f_{\text{ном}}=50\text{Гц}$).

Згідно з фундаментальними законами поділу відцентрових гідравлічних машин (закони Аффінитету), споживана активна потужність насосного агрегату знаходиться у кубічній залежності від частоти обертання робочого колеса:

$$P \approx \left(\frac{f_{\text{сер}}}{f_{\text{ном}}} \right)^3$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок споживаної потужності модернізованого електроприводу з мережі ($P_{\text{після}}$) здійснюється з урахуванням власного ККД високовольтного перетворювача частоти, який становить $\eta_{\text{пч}}=0,97$ (включаючи втрати у вхідному трансформаторі та силових IGBT-комірках):

$$P_{\text{після}} = P_{\text{до}} \cdot \left(\frac{f_{\text{сер}}}{f_{\text{ном}}} \right)^3 \cdot \frac{1}{\eta_{\text{пч}}}$$

$$P_{\text{після}} = 661,0 \cdot (0,9)^3 \cdot \frac{1}{0,97} = 661,0 \cdot 0,729 \cdot 1,031 \approx 496,8 \text{ кВт}$$

Річний обсяг споживання електричної енергії після реалізації ЧРП ($W_{\text{після}}$) визначається за виразом:

$$W_{\text{після}} = P_{\text{після}} \cdot T_{\text{рік}}$$

$$W_{\text{після}} = 496,8 \cdot 5000 = 2484000 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Абсолютне значення річної економії електричної енергії (ΔW) в результаті виключення втрат на дроселювання становить:

$$\Delta W = W_{\text{до}} - W_{\text{після}}$$

$$\Delta W = 3305000 - 2484000 = 821000 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік}$$

Відносне зниження енергоспоживання головної водовідливної установки складає:

$$\delta W = \frac{\Delta W}{W_{\text{до}}} \cdot 100\% = \frac{821000}{3305000} \cdot 100\% \approx 24,84\%$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5.3. Розрахунок кошторису капітальних вкладень у модернізацію

Для визначення економічної ефективності формується зведений кошторис капітальних витрат ($K_{\text{кап}}$), який включає витрати на придбання основного технологічного обладнання, матеріалів, а також проведення монтажних і пусконаладжувальних робіт. Калькуляція статей капітальних витрат приведена у таблиці 5.1

Таблиця 5.1

з / п	Найменування статей витрат та обладнання	Кількість, шт.	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
	Високовольтний перетворювач частоти ВПЧ-6- 1000	1	8 500 000	8 500 000
	Мікропроцесорни й блок захисту РЗА типу MRAC (БМРЗ)	1	350 000	350 000
	Комплект датчиків (BD Sensors LMK 307, MBS 3000, ПЛК)	1	250 000	250 000
	Силовий високовольтний кабель ВБбШв 3×35-6кВ	150 м	2 000	300 000
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:

Арк.
52

з / п	Найменування статей витрат та обладнання	Кількість, шт.	Вартість за одиницю, грн	Загальна вартість, грн
	Будівельно- монтажні роботи (підготовка камери водовідливу)	—	—	1 100 000
	Шеф-монтаж, пусконаладжув альні роботи та інтеграція в АСУ ТП	—	—	1 500 000
	РАЗОМ капітальних вкладень ($K_{\text{кап}}$)	—	—	12 000 000

• 5.4. Визначення фінансових показників ефективності та терміну окупності

• Розрахунок річного грошового еквіваленту економії (рік) здійснюється на підставі чинного комерційного тарифу на електричну енергію для промислових підприємств другого класу напруги (із урахуванням вартості послуг з розподілу та передачі), який становить $T_{\text{ел}}=6,50$ грн за кВт*тгод:

$$\square_{\text{рік}} = \Delta W \cdot T_{\text{ел}}$$

$$\square_{\text{рік}} = 821000 \cdot 6,50 = 5336500 \text{ грн/рік}$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Простий термін окупності інвестиційних витрат ($T_{ок}$) визначається як відношення сумарних капітальних вкладень до величини річного грошового ефекту:

$$T_{ок} = \frac{K_{кап}}{□_{рік}}$$

$$T_{ок} = \frac{12000000}{5336500} \approx 2,25 \text{ року (2 роки і 3 місяці)}$$

Додатковий економічний ефект, який не підлягав прямому кількісному розрахунку у даному розділі, включає:

- Зниження витрат на ремонти та технічне обслуговування насоса ЦНС 300-600 на 15\%-20\% внаслідок ліквідації гідравлічних ударів при плавних пусках.
- Подовження міжремонтного ресурсу ізоляції обмоток статора електродвигуна 1ВАО-560LA-4У2,5 за рахунок обмеження пускових струмів до рівня $I_{пуск} \leq I_{ном}$.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 5

1. Заміна регулювання засувкою на частотний метод керування водовідливною установкою горизонту -980 м забезпечує зниження середньої споживаної потужності приводу з 661,0кВт до 496,8кВт в режимі середньоінтегрального припливу води.

2. Абсолютне значення річної економії активної електричної енергії становить 821000кВт*год/рік, що відповідає зниженню базового енергоспоживання на 24,84%.

3. У грошовому еквіваленті річний економічний ефект від зниження споживання енергоресурсів за чинним промисловим тарифом складає 5336500грн/рік.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. При загальному обсязі капітальних інвестицій у розмірі 12000000грн, простий термін окупності проєкту становить 2,25 року, що свідчить про високу фінансову ефективність та доцільність впровадження розроблених рішень на ПрАТ «Суха Балка».

					<i>ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:</i>	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті вирішено актуальну науково-технічну задачу з модернізації електротехнічного комплексу головної водовідливної установки горизонту -980 м шахти «Ювілейна» ПрАТ «Суша Балка» шляхом розробки та впровадження частотно-регульованого електроприводу.

На підставі виконаних досліджень, інженерних розрахунків та проектних рішень отримано наступні результати:

1. Обґрунтовано доцільність модернізації. Аналіз існуючої системи водовідливу на базі насоса ЦНС 300-600 показав, що базовий спосіб регулювання подачі за допомогою нагнітальної засувки (дроселювання) супроводжується значними гідравлічними втратами, підвищенням зносом вузлів та перевитратою електричної енергії. Прямий пуск приводного двигуна викликає значні пускові струми та гідроудари у вертикальному ставі.

2. Виконано технологічний розрахунок. Проведені гідравлічні розрахунки дозволили визначити точний необхідний напор установки (511,2 м замість надлишкових номінальних 600 м). Виконано перевірку навантаження та обрано новий асинхронний електродвигун типу 1ВАО-560LA-4У2,5 потужністю 800 кВт, робоча точка якого відповідає оптимальному коефіцієнту завантаження на рівні 78%.

3. Обґрунтовано вибір силового перетворювача. Для забезпечення частотного регулювання обрано високовольтний перетворювач частоти типу ВПЧ-6-1000 номінальною потужністю 1000 кВА.

4. Багаторівнева топологія каскадного інвертора напруги забезпечує формування синусоїдального вихідного сигналу з коефіцієнтом гармонік THD < 3%, що виключає необхідність встановлення додаткових синус-фільтрів та запобігає прискореному старінню ізоляції обмоток двигуна.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Затолокін В.			Висновки	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів		Ільченко О.					56	59
						ЕЕМ-22-2		
Н. контр.		Ільченко О.						
Затвердж.		Пересулько І						

4. **Розроблено систему автоматизації.** На базі програмованого логічного контролера **Siemens SIMATIC S7-1200** та гідростатичного датчика рівня **BD Sensors LMK 307** розроблено алгоритм автоматичного керування продуктивністю установки за рівнем води в зумпфі. Впровадження ПІД-регулятора забезпечує безперервну адаптацію частоти обертання вала (в діапазоні 35–50 Гц) до фактичного дебіту шахтного припливу без участі оператора.

5. **Розраховано електричні мережі та захист.** Здійснено вибір живильного мідного броньованого кабелю марки **ВБбШв 3×35-6кВ**, перевіреного за умовами тривалого нагріву струмом навантаження (96,2А) та термічної стійкості до струмів трифазного КЗ ($I_{KЗ}^3=8,5\text{кА}$). Комутацію кола забезпечено вакуумним вимикачем **ВВ/TEL-6-20/1000**. На основі мікропроцесорного пристрою **MRAC** розраховано уставки струмового відсікання (4,17А) та МСЗ (4,05А), які задовольняють нормативним вимогам чутливості ($k_{\text{ч}} = 60,5 > 1,5$).

6. **Забезпечено вимоги охорони праці.** У проєкті розроблено комплекс технічних та організаційних заходів щодо промислової санітарії, електробезпеки (заземлення із опором $\leq 2\text{Ом}$, система блокувань шаф 6 кВ) та екологічної безпеки в умовах підземної камери водовідливу відповідно до НПАОП 10.0-1.01-16.

7. **Доведено економічну ефективність.** Впровадження ЧРП забезпечує інтегральне зниження електроспоживання на **821000кВт*год/рік** (або на 24,84%). За чинних промислових тарифів річний фінансовий ефект становить **5336500грн/рік**. При загальних капітальних інвестиціях у розмірі **12000000грн**, простий термін окупності проєкту складає **2,25 року**, що підтверджує доцільність його практичної реалізації на ПрАТ «Суха Балка».

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила безпеки у підземних виробках : НПАОП 10.0-1.01-16. — Київ : Міністерство енергетики та вугільної промисловості України, 2016. — 254 с.
2. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ). — Харків : Вид-во «Форт», 2017. — 760 с.
3. Проектування електропривода та автоматизації промислових установок : навч. посібник / за ред. проф. Криворізького національного університету. — Кривий Ріг : КНУ, 2022. — 312 с.
4. Довідник з електропостачання та електрообладнання промислових підприємств / за ред. М. О. Сидорова. — Київ : Техніка, 2018. — 184 с.
5. Насоси центробіжні секційні типу ЦНС 300-120...600. Технічний опис та інструкція з експлуатації. — Ясногорськ : ЯМЗ, 2020. — 45 с.
6. Двигуни асинхронні вибухозахищені серії 1ВАО-560. Технічні умови та керівництво з експлуатації. — Первомайськ : Електромеханічний завод, 2019. — 62 с.
7. Високовольтні перетворювачі частоти ESQ-A1000. Керівництво з експлуатації та програмування : технічна документація компанії ELCOM. — 2022. — 240 с.
8. Програмований логічний контролер Simatic S7-1200. Системне керівництво : технічна документація Siemens AG. — 2023. — 850 с.
9. Гідростатичні датчики рівня BD Sensors LMK 307. Каталог технічних засобів автоматизації. — 2021. — 12 с.
10. Датчики технологічного контролю тиску та температури в гірничій промисловості. Офіційний каталог Danfoss. — Дніпро : ПромКомплект, 2024. — 92 с.

					<i>ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Висновки	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		Затолокін В.						
<i>Перевірив</i>		Ільченко О.					58	59
						ЕЕМ-22-2		
<i>Н. контр.</i>		Ільченко О.						
<i>Затвердж.</i>		Пересунько І						

11. Закон України «Про охорону праці» № 2694-ХІІ (зі змінами та доповненнями). — Київ : Відомості Верховної Ради України, 2026. — 48 с.

					<i>ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.248с.13.Р:</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		Затолокін В.			Висновки	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевірив</i>		Ільченко О.					59	59
						ЕЕМ-22-2		
<i>Н. контр.</i>		Ільченко О,						
<i>Затвердж.</i>		Пересунько І						