

Здобувач: Антонов Едуард Вікторович

Керівник: Барановська М.Л.

Тема: Електромеханічне обладнання клітьової підйомної установки шахти Ювілейна ПрАТ «Суша Балка»

РЕФЕРАТ

У випусковій роботі розглянуто питання модернізації електропривода клітьової підйомної установки шахти Ювілейна ПрАТ Суша Балка з метою підвищення енергоефективності, надійності та безпеки її роботи. Актуальність теми зумовлена значною часткою підйомних установок у загальному енергоспоживанні шахт Криворізького залізрудного басейну та необхідністю заміни застарілих систем електропривода.

У роботі виконано аналіз існуючих систем електропривода шахтних підйомних установок і встановлено недоліки традиційної системи Г–Д, зокрема високі енергетичні втрати, значні пускові струми та обмежені можливості регулювання швидкості. Обґрунтовано доцільність переходу на сучасні регульовані електроприводи типу ПЧ–СД.

Запропоновано модернізацію клітьової підйомної установки із застосуванням синхронного двигуна СДМ2-22-41-60УХЛ4 потужністю 2000 кВт, 6 кВ у складі з перетворювачем частоти АВВ ACS8080 потужністю 2500 кВт. Дана система забезпечує чотириквadrантний режим роботи, плавний пуск і гальмування, а також можливість рекуперації електричної енергії в мережу.

Виконано розрахунок статичних і динамічних характеристик електропривода та проведено моделювання перехідних процесів. Отримані результати показали значне покращення показників роботи системи: зменшення пускового струму з 2200 А до 500 А та зниження динамічних перевантажень за моментом з 2000 кН·м до 370 кН·м.

Додатково виконано розрахунок системи електропостачання шахти Ювілейна, визначено навантаження, виконано вибір трансформаторів,

кабельних ліній, а також розраховано струми короткого замикання і підібрано комутаційно-захисне обладнання.

Результати роботи підтверджують технічну та економічну доцільність впровадження сучасного електропривода на базі перетворювача частоти АВВ ACS8080, що дозволяє підвищити енергоефективність, надійність і безпеку роботи клітьової підйомної установки та забезпечує модернізацію шахтного електромеханічного обладнання відповідно до сучасних вимог.

**ШАХТА, КЛІТЬОВА ПІДЙОМНА УСТАНОВКА, ЕЛЕКТРОПРИВОД,
СИНХРОННИЙ ДВИГУН, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, ACS8080,
ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ**

ВСТУП

Криворізький залізорудний басейн є основною сировинною базою залізорудної промисловості України, в якому зосереджено більшу частину запасів і видобутку залізної руди. Підприємства Кривбасу належать до найбільш енергоємних споживачів електричної енергії, а витрати на електропостачання становлять значну частку собівартості готової продукції. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають питання підвищення енергоефективності, надійності та безпеки роботи електромеханічного обладнання гірничих підприємств.

Одними з найбільш відповідальних споживачів електроенергії на шахтах є підйомні установки, які забезпечують транспортування корисних копалин, матеріалів та персоналу між горизонтами шахти. Робота підйомних машин характеризується значними навантаженнями, частими пусками і гальмуваннями, а також високими вимогами до точності регулювання швидкості та безпеки експлуатації. У багатьох випадках діючі системи електропривода морально та фізично застаріли, що призводить до підвищених витрат електроенергії, зниження надійності обладнання та збільшення витрат на його обслуговування.

Одним із найбільш ефективних напрямів модернізації шахтних підйомних установок є впровадження сучасних регульованих електроприводів

на базі перетворювачів частоти. Використання таких систем дозволяє забезпечити плавне регулювання швидкості, зменшити пускові струми та динамічні навантаження, реалізувати рекуперацію електроенергії під час гальмування, підвищити коефіцієнт потужності та покращити якість електроенергії в мережі підприємства.

У даній роботі розглядається реконструкція клітьової підйомної установки шляхом заміни існуючої системи керування на сучасний електропривод із перетворювачем частоти ABB ACS8080 потужністю 2500 кВт та напругою 6 кВ. Застосування даного обладнання дозволяє реалізувати чотириквadrантний режим роботи, високоточне керування швидкістю та моментом двигуна, а також забезпечити ефективне використання електричної енергії в процесі підйому та спуску вантажів.

Об'єкт дослідження – електропривод клітьової підйомної установки шахти та його режими роботи.

Предмет дослідження – енергетичні, статичні та динамічні характеристики регульованого електропривода клітьового підйому на базі перетворювача частоти ABB ACS8080.

Мета роботи – підвищення енергоефективності, надійності та якості керування клітьовою підйомною установкою шляхом модернізації електропривода із застосуванням сучасного перетворювача частоти ABB ACS8080.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі завдання:

- аналіз конструкції та режимів роботи клітьової підйомної установки;
- дослідження існуючої системи електропривода та її недоліків;
- вибір сучасного перетворювача частоти та обґрунтування його параметрів;
- дослідження статичних і динамічних характеристик модернізованого електропривода;
- моделювання процесів пуску, гальмування та відпрацювання тахограми руху кліті;

– оцінка енергетичної ефективності запропонованого технічного рішення.

Практичне значення роботи полягає в розробленні технічного рішення щодо модернізації електропривода клітьової підйомної установки із застосуванням перетворювача частоти ABB ACS8080, що забезпечує зниження енергоспоживання, покращення динамічних характеристик привода, підвищення надійності роботи обладнання та зменшення експлуатаційних витрат.

1.1 Відомості про шахту Ювілейна

ПрАТ Суха Балка є одним із провідних підприємств України з підземного видобутку залізної руди.

Основними виробничими процесами є проходка гірничих виробок, буріння свердловин, вибухова відбійка, транспортування та підйом руди на поверхню. Переробка руди включає дроблення, грохочення та суху магнітну сепарацію з відокремленням порід із низьким вмістом заліза. Готова продукція складається та відвантажується споживачам залізничним транспортом.

Шахта Ювілейна розробляє поклади V і VI залізистих горизонтів Криворізької свити. Рудні тіла характеризуються складними гірничо-геологічними умовами: змінною потужністю, переривчастим заляганням та кутом падіння 52–60°. Руди належать до середньостійких і слабостійких.

Вміщуючі породи представлені кварцитами та сланцями, які переважно є нестійкими. Вміст заліза у породах змінюється в межах 25–45 %.

1.2 Гірничотехнічна схема розкриття та розробки родовища

Шахтне поле розкрите п'ятьма вертикальними стовбурами: Ювілейна, Центральна, Південна, Вентиляційна №9 та Північна-Вентиляційна.

Ствол шахти «Ювілейна» пройдений до глибини 1530 м і є основним. Він забезпечує спуск і підйом людей, матеріалів, видачу руди та подачу

свіжого повітря. Стовбур обладнаний двоповерховою кліттю та двома скіпами вантажопідйомністю по 50 т.

Шахта Центральна виконує допоміжні функції: транспортування породи, людей і обладнання, а також вентиляцію шахтного поля. Стовбур заглиблений до горизонту 1370 м та обладнаний клітьовим і скіповим підйомами.

Шахта Південна після реконструкції використовується як допоміжний і запасний вихід. Вона оснащена багатоканатним клітьовим підйомом.

Вентиляційні стовбури забезпечують провітрювання шахти та виконують функції аварійних виходів.

Транспортування руди здійснюється електровозами у вагонетках вантажопідйомністю 10 т. Для підвищення безпеки на горизонті 1260 м впроваджено дизельвози типу DLP 140F.

Для доставки матеріалів і обладнання використовуються господарські комплекси з тяговими лебідками, а для очищення виробок - навантажувальні машини ППН-3 та ПКУ.

Водовідлив шахти забезпечується насосами типу ЦНС - багатоступінчастими відцентровими насосами для перекачування води та технічних рідин.

1.3 Вентиляторні установки та повітропостачання шахти

Вентиляторні установки шахти поділяються на головні, допоміжні та місцевого провітрювання. Головні установки забезпечують вентиляцію всіх гірничих виробок і розташовуються на поверхні біля шахтних стволів. Допоміжні застосовуються під час проходки виробок, а місцеві - для провітрювання тупикових виробок і забоїв.

Головні вентиляторні установки складаються з робочого та резервного агрегатів, електроприводів, систем керування, вентиляційних каналів і реверсивних пристроїв, що забезпечують зміну напрямку повітряного потоку у шахті.

Відцентрові вентилятори головного провітрювання виготовляються відповідно до вимог чинних ДСТУ та технічних умов виробника та забезпечують подачу повітря і створення необхідного тиску в системі вентиляції. Регулювання режиму роботи здійснюється зміною кута лопаток напрямного апарата.

Шахта Північна-Вентиляційна оснащена вентилятором ВЦ-5 продуктивністю 350 м³/хв. Вентилятори цього типу призначені для подачі повітря у вентиляційні та кондиціонерні системи, а також для роботи в промислових умовах із неагресивними газовими сумішами.

Провітрювання шахти Ювілейна здійснюється всмоктувальним способом за фланговою схемою. Свіже повітря подається через стволи Ювілейна-1, Ювілейна-2 та Нова і розподіляється по робочих горизонтах та очисних вибоях. Відпрацьоване повітря виводиться через ствол шахти Північна-Вентиляційна, обладнаний головною вентиляторною установкою.

Провітрювання очисних блоків здійснюється за рахунок загальношахтної депресії, а підготовчих виробок - вентиляторами місцевого провітрювання та ежекторами.

Бурові роботи провітрюються подачею свіжого повітря через вентиляційні виробки з подальшим відведенням забрудненого повітря у вентиляційні стволи.

Головна вентиляторна установка забезпечує необхідний повітрообмін шахти:

- розрахункова витрата повітря - 145,5 м³/с;
- фактична - 150 м³/с;
- забезпеченість повітрям - 111 %.

Запасними виходами на поверхню є стволи Ювілейна, Нова та Північна-Вентиляційна, оснащені клітьовими підйомними установками.

1.4 Водовідливні установки

Добовий приплив води на шахті Ювілейна становить близько 8000 м³. Для її відкачування використовується система головних, проміжних, тупикових і зумфових водовідливних установок.

Головний водовідлив розміщений на горизонті 472 м та оснащений п'ятьма насосами типу ЦНС-300х600 з трубопроводом діаметром 273 мм. На горизонті 712 м працює тупиковий водовідлив із трьома насосами ВНС 300х300.

Проміжні водовідливи розташовані на горизонтах 792 м і 1190 м та обладнані насосами типів ЦНС 300х420 і ВНС 300х3600 відповідно. На горизонті 1350 м діє тупиковий водовідлив із двома насосами ВНС 300х120.

Зумфовий водовідлив шахти «Нова» оснащений насосами ВНС-38-220 та ЗКБ-5х60.

Усі трубопроводи для відкачування води на поверхню прокладені у стовбурі шахти Ювілейна №2.

1.5 Рудниковий транспорт шахти

У підземних відкотних виробках шахти Ювілейна прокладено залізничні колії шириною 750 мм із рейками типу Р-33(43). На основних виробках використовується щебеневий баласт.

Для транспортування руди з очисних ділень застосовуються електровози КР-14 та вагонетки ВГ-4,5 вантажопідйомністю 10 т. Порожні породи перевозяться вагонами ВПК-10 до ствола шахти Нова.

Розвантаження вагонеток біля ствола шахти Ювілейна здійснюється перекидачами типу ОКЄ, обладнаними колосниковими решітками та бутобоями.

Завантаження руди виконується через шахтні люки та вібромайданчики, а доставку матеріалів забезпечують електровози 10КР-750 і вагонетки різної місткості. Роботу підземного транспорту координує диспетчерська служба.

Після підйому на поверхню руда надходить на дробильно-сортувальну фабрику, а готова продукція відвантажується залізничним транспортом. Порожні породи вивозяться автотранспортом у відвали.

1.6 Поверхневий комплекс

Дробильно-сортувальна фабрика шахти Ювілейна призначена для переробки рудної сировини та отримання товарної аглоруди фракції 0–12 мм. Технологічний процес включає дроблення, класифікацію та, за необхідності, збагачення руди шляхом відокремлення некондиційних порід.

Переробка руди може здійснюватися за кількома технологічними схемами: із повною переробкою видобутої руди в аглоруду, із частковим збагаченням для підвищення вмісту заліза або з використанням кускової руди фракції 12–100 мм. Вміст заліза у готовій продукції становить 56–64 % залежно від способу переробки та вимог споживачів. Контроль якості продукції виконується автоматизованими системами з передачею інформації на диспетчерський пункт.

Для подрібнення руди на фабриці застосовуються конусні дробарки середнього та дрібного дроблення типів КСД-2200-А і КМДТ-2200 (див. табл. 1.1). Обладнання забезпечує переробку порід високої міцності.

Класифікація сипучих матеріалів здійснюється за допомогою грохотів, зокрема інерційних типу ГІТ-51 (див. табл. 1.1). Після завершення останньої стадії класифікації отримується готова товарна аглоруда.

Подача руди до технологічного обладнання виконується пластинчастими та стрічковими живильниками. Для транспортування рудної маси в межах фабрики використовуються конвеєрні лінії з гумово-тканинними та гумово-тросовими стрічками. Швидкість руху стрічок залежить від технологічної операції та становить 0,5–2,5 м/с.

Перевезення хвостів і пустих порід до складів здійснюється автомобільним транспортом.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики обладнання ДСФ шахти

Технічні характеристики обладнання	Дробарки		
	КСД 2200Б	КСД 200А	КМДТ 2200
Продуктивність, м ³ /рік	580	340	160
Діаметр основи рухливого конусу, мм	2200	2200	2200
Найбільший розмір завантажувальних кусків, мм	350	250	75
Ширина розвантажувальної щілини в фазі зближення профілів	100	30	6-8
Посилення притискання пружин	400	400	400
Міцність приводу, кВт	250	250	250
Технічні характеристики обладнання	Грохота		
	Колосник	ГИТ-51	173-ГР
Розмір просіяної поверхні, мм	1600/2800	1700/3500	1600x3500
Площа сита	4,28	5	4,8
Кут нахилу коробу, град.	60	до 30	10-30
Розмір отворів, верхнього сита, мм	125	32	
Розмір отворів, нижнього сита, мм		12	12
Амплітуда коливання, мм		3-7	6
Виробництво, т/ч		1000	800

1.7 Стаціонарні підйомні установки шахт ПрАТ Суха Балка

Стовбури 1, 2 шахти Ювілейна.

В стовбурі №1 розташовані: двоповерхова кліть з протигаєм місткістю 60 людей, два скіпи вантажопідйомністю 25 тон кожен.

Скіпова підйомна установка багатоканатна типу ЦШ-5-4-1А потужністю 2250 кВт. В стовбурі №2 розташована кліть з протигаєм. Оснащений підйомним пристроєм типу МК-5х4Р-4 потужністю 2х740 кВт. До

навіски прийнято 4 головних канати $\varnothing 42$ мм та для врівноваження системи – 3 плоских гумотросових канати. Відстань між канатами 300 мм. Стовбури призначені для підйому руди, виконання допоміжних операцій, спуску-підйому людей, для подання свіжого повітря. По стволам прокладені водопровідні, водовідливні, повітряні труби та кабелі.

Клітьова підйомна установка. Підйомна машина типу МК5×4 (рис. 1.1) характеризується максимальним статичним натягом канатів 120000 кгс та найбільшим статичним неврівноваженим зусиллям 10000 кгс (по редуктору).

Клітьова підйомна установка оснащена однією двоповерховою кліттю з противагою. Габаритні розміри кліті у плані становлять 4,5×1,5 м, а її маса — 11800 кг. Одночасно в кліті може перевозитися до 60 осіб. Також установка передбачає використання двоповерхової кліті з противагою для транспортування однієї вагонетки типу ВГ-4,5 вантажопідйомністю 10 т. Маса такої кліті складає 24,2 т, а її розміри в плані — 6,5×1,38 м.

Привід підйомної машини виконаний на базі двох електродвигунів типу АКН-2-16-48-12 потужністю по 630 кВт кожний, зі швидкістю обертання 490 об/хв та робочою напругою 6000 В. Передаточне число редуктора дорівнює 10,5, а максимальна швидкість підйому досягає 9,8 м/с.

Усі операції, що здійснюються клітьовим підйомом, поділяються на основні та допоміжні. До основних належить забезпечення переміщення кліті між двома приймальними майданчиками відповідно до заданого режиму руху, де виконуються операції завантаження та розвантаження. Решта операцій відносяться до допоміжних. Основні параметри клітьового підйому шахти Ювілейна наведені в табл. 1.2.

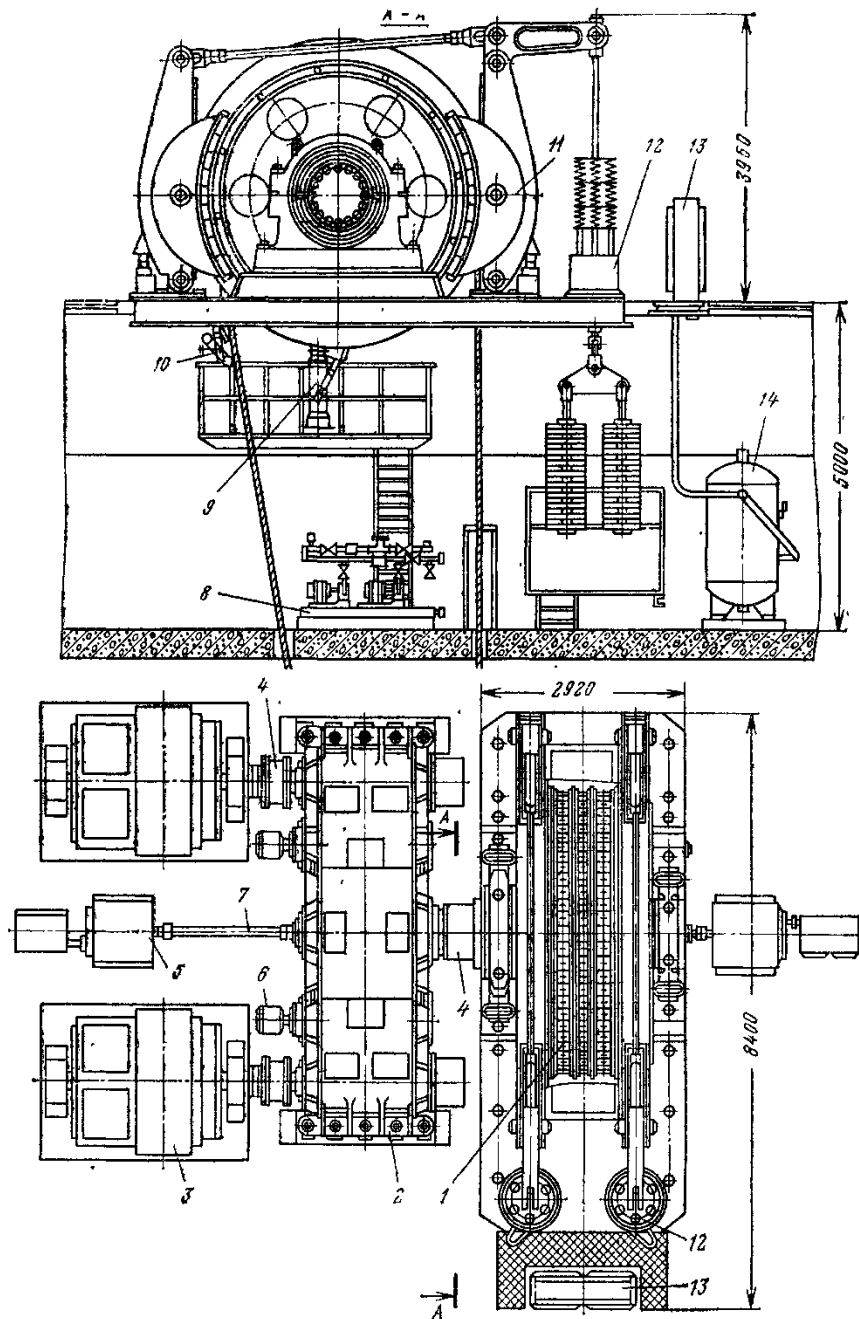


Рисунок 1.1 – Підйомна багатоканатна машина типу МК 5×4

Таблиця 1.2 – Параметри підйомної багатоканатної машини типу МК 5×4 ш. Ювілейна

№ з/п	Параметр	Розмірність	Значення
Кліть			
1	Маса	т	24,2
2	Вантажопідйомність	т	10,0
3	Кількість поверхів		2
4	Маса противаги	т	16,6
5	Глибина підйому	м	1115
Канат			
6	Тип		ЛК-03-50-140
7	Маса	кг	9,2
8	Діаметр навивки	мм ²	50,5
Барабан			
9	Тип		циліндричний
10	Діаметр навивки циліндра	м	8
11	Ширина копрового шків	м	0,35
12	Діаметр копрового шків	м	6

1.8 Необхідність реконструкції та вибір системи електроприводу клітьового підйому

У зв'язку із завершенням нормативного строку експлуатації клітьової підйомної установки МК 5×4 шахти Ювілейна, вичерпанням її технічного ресурсу та збільшенням глибини розробки родовища до горизонту 1425 м виникла необхідність модернізації підйомного комплексу. Основною метою реконструкції є створення сучасної високопродуктивної безредукторної підйомної машини з надійною системою електроприводу, мікропроцесорним керуванням, засобами захисту, діагностики та контролю.

До основних вимог, що висуваються до електроприводу клітьової підйомної установки, належать:

- забезпечення реверсивної роботи у руховому та гальмівному режимах;
- плавний пуск і стійке регулювання швидкості у широкому

діапазоні;

- висока точність позиціонування та зупинки кліті;
- підтримання заданої швидкості підйому;
- енергоефективність і надійність роботи.

На шахтних підйомних установках традиційно використовуються системи електроприводу типу Г–Д, ТП–Д, а також асинхронні приводи з фазним ротором. Система Г–Д характеризується низьким ККД, що обмежує перспективи її подальшого використання. Асинхронний привод із роторним реостатом відзначається простотою конструкції та обслуговування, однак має низькі регульовальні характеристики, значні енергетичні втрати та недостатню придатність до автоматизації.

Більш ефективними є електроприводи за системою ТП–Д, які забезпечують високу точність регулювання швидкості, плавність роботи та можливість автоматизованого керування підйомною установкою. Разом із тим такі системи створюють негативний вплив на мережу живлення через низький коефіцієнт потужності та генерацію вищих гармонік.

Сучасним напрямом розвитку є застосування приводів змінного струму за системами ПЧ–АД та ПЧ–СД, побудованих на базі перетворювачів частоти. Такі системи забезпечують високий рівень керованості, енергоефективність, плавне регулювання швидкості та зниження динамічних навантажень. Саме тому для модернізації клітьового підйому доцільним є використання частотно-керованого приводу змінного струму із синхронним або асинхронним двигуном.

1.9 Розрахунок параметрів електромеханічного обладнання клітьової підйомної установки

Розрахунок параметрів клітьової підйомної установки (вантажопідйомність $Q_n=1000$ кг, власна вага $Q_c=24200$ кг) виконаний за виразами, що зведені у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Необхідні розрахункові параметри клітьової підйомної установки шахти Ювілейна

№ з/п	Назва параметру	Розрахунковий вираз	Номер виразу
1	Годинна продуктивність, де $P_{\text{річна}}=1060000$ т – річна продуктивність шахти; $k_{\Pi}=1,5$ – коефіцієнт продуктивності; $n_{\text{РД}}=300$ – число робочих днів у році; $n_{\text{РГ}}=18$ – число годин роботи підйому на добу.	$P_{\text{год}} = \frac{k_{\Pi} \cdot P_{\text{річна}}}{n_{\text{РД}} \cdot n_{\text{РГ}}}$	(1.1)
2	Число підйомів за годину	$n_{\text{н.з.}} = \frac{1000 \cdot P_{\text{год}}}{Q_{\Pi}}$	(1.2)
3	Тривалість підйому	$T_n = \frac{3600}{n_{\text{н.з.}}}$	(1.3)
4	Час руху кліті	$T_p = T_n - t_n$	(1.4)
5	Середня швидкість підйому, де $H=1115$ м – висота підйому	$v_{cp} = \frac{H}{T_p}$	(1.5)
6	Максимальна швидкість підйому, де $\alpha_c=1,25$ м – запас швидкості	$v_{max} = \alpha_c \cdot v_{cp}$	(1.6)
7	Лінійна маса каната	$p = \frac{Q_n + Q_c}{\frac{\sigma_B}{gz\rho_0} - H_K}$	(1.7)
8	Згідно з ТУ У ДП 14-100-011-97 обрано 4 однакових каната з сумарним розривним зусиллям $Q_p=1585$ кН, лінійною масою $p=9,7$ кг/м, діаметром $d_k=46$ мм.		

9	Максимальний статичний натяг канату	$T_{cmax} = (Q_n + Q_c + p \cdot H_K) \cdot g$	(1.8)
10	Максимальна різниця статичних натягів канатів	$F_{cmax} = (Q_n + p \cdot H_K) \cdot g$	(1.9)
11	Потужність двигуна	$P_{дв} = \frac{k \cdot Q_n \cdot H \cdot g}{1000 \cdot T \cdot \eta_n} \cdot \rho$	(1.10)

Результати розрахунків, виконаних за формулами табл. 1.3 зведено у табл. 1.4.

Таблиця 1.3 – Необхідні розрахункові параметри клітьової підйомної установки шахти Ювілейна

№ з/п	Назва параметру	Розрахунковий вираз та величина параметру	Одиниця вимірювання
1	Годинна продуктивність	$P_{год} = \frac{1,5 \cdot 1060000}{300 \cdot 18} \approx 295$	295 т/год
2	Число підйомів за годину	$n_{н.з.} = \frac{1000 \cdot 295}{10000} = 30$	30
3	Тривалість підйому	$T_n = \frac{3600}{30} = 120$	120 с
4	Час руху кліті	$T_p = 120 - 20 = 100$	100 с
5	Середня швидкість підйому	$v_{cp} = \frac{1115}{100} = 11,2$	11,2 м/с
6	Максимальна швидкість підйому	$v_{max} = 1,25 \cdot 11,2 = 14,0$	14,0 м/с
7	Лінійна маса каната	$p = \frac{10000 + 24200}{\frac{2700 \cdot 10^6}{9,8 \cdot 6,5 \cdot 9100} - 1115} = 9,7$	9,7 кг/м

8	Згідно з ТУ У ДП 14-100-011-97 обрано 4 однакових каната з сумарним розривним зусиллям $Q_p=1585$ кН, лінійною масою $p=9,7$ кг/м, діаметром $d_k=46$ мм.		
9	Максимальний статичний натяг канату	$T_{max} = (10000 + 24200 + 9,7 \cdot 1115) \cdot 9,81 = 433900$	433900 Н
10	Максимальна різниця статичних натягів канатів	$F_{max} = (10000 + 9,7 \cdot 1115) \cdot 9,8 = 196500$	196500 Н
11	Потужність двигуна	$P_{дв} = \frac{1,15 \cdot 10000 \cdot 1115 \cdot 9,81}{1000 \cdot 100 \cdot 0,97} \cdot 1,4 = 1816$	1816 кВт

Для модернізації клітьової підйомної установки замість синхронного двигуна СДМ-32-22-41-60 потужністю 2000 кВт, напругою 6 кВ та частотою обертання 100 об/хв, доцільно обрати сучасний синхронний двигун, сумісний із перетворювачем частоти АВВ ACS8080. Найбільш близьким аналогом є двигун серії СДМ2-22-41-60УХЛ4 (див. табл. 1.4).

Таблиця 1.4 –Паспортні дані синхронного двигуна типу СДМ2-22-41-60УХЛ4

№ з/п	Назва технічного параметру	Величина параметру/ Одиниця вимірювання
1	Номінальна потужність	2000 кВт
2	Номінальна напруга	6000 В
3	Номінальний струм статора	178 А
4	Частота обертання	100 об/хв
5	Номінальний коефіцієнт потужності	0,9
6	Номінальний ККД	0,96
7	Напруга збудження	126 В
8	Струм збудження	265 А
9	Кратність максимального моменту	6,6
10	Кратність пускового моменту	1,1
11	Кратність пускового струму	1,8
12	Маховий момент, кНм ²	6,8

Загальний вид двигуна СДМ2-22-41-60УХЛ4 показаний на рис. 1.2.



Рисунок 1.2 – Двигун типу СДМ2-22-41-60УХЛ4

Прийнято технічне рішення про модернізацію таку як:

- встановлення синхронного двигуна типу СДМ2 (2000 кВт, 6 кВ);
- заміна системи керування та збудження на ABB ACS8080 + цифрова система збудження ABB UNITROL.

Такий варіант найбільш відповідає сучасним реконструкціям шахтних підйомних машин.

Висновки за розділом 1

У розділі проведено аналіз основних стаціонарних установок шахти Ювілейна ПрАТ Суха Балка, до яких належать підйомні, вентиляційні та водовідливні установки, а також системи підземного і поверхневого транспорту. Розглянуто їх конструктивні особливості, призначення та роль у забезпеченні безперервного технологічного процесу видобутку залізної руди. Встановлено, що найбільш відповідальними та енергоємними споживачами електроенергії є шахтні підйомні установки, від надійності та ефективності роботи яких залежить продуктивність підприємства та безпека ведення гірничих робіт.

Аналіз сучасного стану електроприводів шахтних підйомних машин показав, що традиційні системи керування типу Г–Д характеризуються значними енергетичними втратами, складністю технічного обслуговування та обмеженими можливостями регулювання швидкості. У зв'язку з цим на багатьох шахтах Криворізького басейну здійснюється модернізація підйомних установок шляхом переходу на сучасні системи регульованого електропривода типу ПЧ–СД, які забезпечують підвищення енергоефективності, покращення динамічних характеристик та зменшення експлуатаційних витрат.

Для реконструкції клітьового підйому шахти як приводний двигун обрано сучасний синхронний двигун типу СДМ2-22-41-60УХЛ4 потужністю 2000 кВт, напругою 6 кВ та частотою обертання 100 об/хв. Двигун характеризується високим коефіцієнтом корисної дії, підвищеною перевантажувальною здатністю, покращеними енергетичними показниками та можливістю ефективної роботи у складі регульованого електропривода. Використання двигуна СДМ2 дозволяє підвищити надійність роботи підйомної машини, зменшити втрати електроенергії та забезпечити тривалий ресурс експлуатації обладнання.

Для керування електроприводом прийнято систему ПЧ–СД на базі сучасного середньовольтного перетворювача частоти ABB ACS8080. Використання даного перетворювача забезпечує плавне регулювання

швидкості в широкому діапазоні, високоточне керування моментом двигуна, реалізацію чотириквadrантного режиму роботи та рекуперацію електроенергії в мережу під час гальмування і спуску вантажу. Крім того, застосування ACS8080 дозволяє значно знизити пускові струми, зменшити динамічні навантаження на механічне обладнання підйомної установки та покращити якість електроенергії в системі електропостачання шахти.

Таким чином, виконаний аналіз підтвердив доцільність модернізації клітьової підйомної установки шляхом впровадження сучасної системи електропривода ПЧ–СД на базі синхронного двигуна СДМ2-22-41-60УХЛ4 та перетворювача частоти АВВ ACS8080. Запропоноване технічне рішення створює основу для подальшого підвищення енергоефективності, надійності та безпеки роботи шахтного підйому, а також забезпечує відповідність сучасним вимогам до автоматизованих електромеханічних систем гірничих підприємств.

2.1 Вибір електропривода клітьової підйомної установки та його основних елементів

Модернізація клітьової підйомної установки (КПУ) шахти Ювілейна передбачає повну заміну приводного електродвигуна та системи керування з впровадженням сучасного обладнання фірми АВВ.

2.1.1 Вибір перетворювача частоти

Для підйомних установок потрібні:

- високоточне регулювання швидкості та моменту;

- робота в чотирьох квадрантах (рух і гальмування в обох напрямках);
- рекуперація енергії в мережу;
- функції безпеки для шахтних підйомних машин;
- резервування та висока надійність.

Вибір перетворювача частоти здійснюється відповідно до основних технічних та експлуатаційних вимог електропривода підйомної установки:

$$P_{ПЧ} \geq P_{ДВ}; U_{ПЧ} \geq U_{ДВ}.$$

Для електропривода клітьової підйомної установки розглянемо варіанти ПЧ, що зведені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Варіанти сучасних перетворювачів частоти на напругу 6 кВ

№ з/п	Виробник	Модель	Потужність, МВт	Напруга, кВ
1	ABB ACS6080	ACS6080	5-36	2,3-13,8
2	Siemens SINAMICS GM150	GM150	0,8-27	3,3-13,8

Для скіпової підйомної установки потужністю 2500 кВт, 6 кВ (рис. 2.1) доцільно вибрати спеціалізовану конфігурацію з активним випрямлячем та рекуперацією енергії.

Для таких застосувань ABB рекомендує серію ACS6080 для шахтних підйомів (mine hoists) та інших динамічних механізмів.

Для модернізації електропривода скіпової підйомної установки обрано перетворювач частоти ACS8080 потужністю 2500 кВт та напругою 6 кВ. Перетворювач виконано за схемою з активним випрямлячем (AFE) та підтримкою чотириквadrантного режиму роботи (рис. 2.2, табл. 2.2).

Застосування ACS8080 забезпечує плавне регулювання швидкості підйомної машини, рекуперацію електроенергії в мережу під час гальмування, підвищення надійності роботи привода та зниження експлуатаційних витрат.



Рисунок 2.1 – Підйомна установка з ПЧ АВВ



а)



б)

Рисунок 2.2 – Перетворювач частоти ACS8080 потужністю 2500 кВт та напругою 6 кВ: а) загальний вид; б) шафа керування

Таблиця 2.2 – Технічні параметри перетворювача частоти ABB серії ACS8080

№ з/п	Назва технічного параметру	Значення
1	Номінальна потужність	2500 кВт
2	Номінальна напруга	6 кВ
3	Номінальний струм	240 А
4	Частота мережі	50 Гц
5	Тип двигуна	АД, СД
6	Випрямляч	Active Front End (AFE)
7	Рекуперація енергії	є
8	Діапазон регулювання швидкості	0-100 %
9	Вихідна частота	0-120 Гц
10	Режим роботи	4Q (чотири квадранти)
11	ККД перетворювача	99 %
12	Коефіцієнт потужності	0,99
13	Ступінь захисту	IP42 або IP54
14	Система керування	DTC (Direct Torque Control)
15	Галузь застосування	Шахтні підйоми

2.1.2 Техніко-економічне обґрунтування модернізації

Електропривод скіпової підйомної установки працює в умовах значних динамічних навантажень, частих пусків і гальмувань, а також потребує високої точності регулювання швидкості та моменту.

Перетворювач частоти ACS5000 належить до попереднього покоління середньовольтних електроприводів і характеризується обмеженими можливостями діагностики, модернізації та сервісної підтримки.

Заміна ACS5000 на ACS8080 дозволяє:

- підвищити ККД електропривода на 1–2 %, що для привода потужністю 2500 кВт забезпечує суттєве скорочення річного споживання електроенергії;
- зменшити споживання реактивної потужності завдяки використанню активного випрямляча AFE;

- підвищити точність регулювання швидкості та моменту завдяки системі керування DTC;
- покращити якість електроенергії та знизити рівень гармонічних спотворень у мережі;
- забезпечити ефективну рекуперацію електроенергії під час спуску завантаженого скіпа;
- зменшити механічні навантаження на канати, барабан підйомної машини та редуктор;
- скоротити витрати на технічне обслуговування та ремонт завдяки сучасним засобам моніторингу й діагностики;
- підвищити надійність та безпеку роботи підйомної установки.

Модернізація електропривода скіпової підйомної установки шляхом заміни перетворювача частоти ACS5000 на сучасний ACS8080 потужністю 2500 кВт та напругою 6 кВ є технічно доцільною та економічно обґрунтованою.

Використання ACS8080 забезпечує підвищення енергоефективності, покращення динамічних характеристик привода, зниження експлуатаційних витрат і підвищення надійності роботи шахтної підйомної установки.

2.2 Розрахунок клітьового підйому ш. Ювілейна

Проведені розрахунки параметрів двигуна типу СДМ2-22-41-60УХЛ4 зведемо до таблиць 2.2., 2.3.

Таблиця 2.2 – Необхідні розрахункові параметри двигуна типу СДМ2-22-41-60УХЛ4

№ з/п	Назва параметру	Розрахунковий вираз	Номер виразу
1	Повна номінальна потужність	$S_n = \frac{P_n}{\cos \varphi \cdot \eta}$	(2.1)

2	Номінальний струм	$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n}$	(2.2)
3	Базисний опір	$z_o = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_n}$	(2.3)
4	Номінальний момент	$M_n = \frac{P_n}{n_n \cdot \frac{3,14}{30}}$	(2.4)
5	Активний опір фази	$R_\phi = \frac{0,5 \cdot P_H \cdot (1 - \eta_H)}{3 \cdot I_{1H}^2}$	(2.5)
6	Комутаційний опір випрямляча, де $m=6$ – кількість пульсацій; $X_{top} = 0,5$ Ом – індуктивний опір реактора	$R_{\gamma v} = \frac{m \cdot X_{TOP}}{2 \cdot \pi}$	(2.6)
7	Активний опір реактора	$R_{TOP} = 0,01 \cdot X_{TOP} \cdot 314$	(2.7)
8	Надперехідний опір	$X_C = \frac{U_{1\phi}}{\lambda_i \cdot I_{1H}}$	(2.8)
9	Комутаційний опір інвертора	$R_{\gamma i} = \frac{6 \cdot X_c}{2 \cdot \pi}$	(2.9)
10	Проти- ЕРС	$E_f = \frac{\frac{U_n}{\sqrt{3}} - I_n \cdot R}{\cos \varphi}$	(2.10)
11	Взаємна індуктивність	$L_m = \frac{\sqrt{2} \cdot E_f}{I_n \cdot 314}$	(2.11)
12	Сумарний опір	$R_\Sigma = 2 \cdot R + R_{\gamma i} + R_{op} + R_{\gamma v}$	(2.12)

13	Індуктивність дроселя	$L_{\partial p} = \frac{\frac{U_{ном}}{\sqrt{3}} \cdot k_{cx}}{6 \cdot 314 \cdot 0,15 \cdot I_{ном}} \cdot \left(1 - \frac{3,14}{6} \cdot \cot \left(\frac{180 \cdot deg}{6} \right) \right)$	(2.13)
14	Сумарна індуктивність	$L_{\Sigma} = 2 \cdot \frac{X_c}{314} + L_{\partial p}$	(2.14)
15	Електромагнітна стала часу	$T_E = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}}$	(2.15)
16	Значення коефіцієнту ЕРС	$k\Phi = \frac{1,35 \cdot U_n}{n_n \cdot \frac{3,14}{30}}$	(2.16)
17	Сумарний момент інерції	$J'_{\Sigma} = J_{\partial B} + 4 \cdot J_{\partial B}$	(2.17)
18	Електромеханічна стала часу	$T_M = J'_{\Sigma} \cdot \frac{R_{\Sigma}}{(k\Phi)^2}$	(2.18)
19	Коефіцієнт передачі СД по управлінню	$k_d = \frac{1}{k\Phi}$	(2.19)
20	Коефіцієнт РС	$k_{dc} = \frac{10}{2I_n}$	(2.20)
21	Коефіцієнт РШ	$k_{ds} = \frac{10}{n_n \cdot \frac{3,14}{30}}$	(2.21)
22	Сталі часу контуру зворотного зв'язку по швидкості	$T_{\mu s} = \frac{k_{ds}}{10}$	(2.22)
23	Сталі часу контуру зворотного зв'язку по струму	$T_{\mu c} = \frac{k_{dc}}{10}$	(2.23)

Результати розрахунків, виконаних за формулами табл. 2.2 зведено у табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Необхідні розрахункові параметри двигуна типу СДМ2-22-41-60УХЛ4

№ з/п	Назва параметру	Розрахунковий вираз та величина параметру	Одиниця вимірювання
1	Повна номінальна потужність	$S_n = \frac{2000 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 0,959} = 2,317 \cdot 10^6$	2317 кВт
2	Номінальний струм	$I_n = \frac{2,317 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 6000} = 223,0$	223 А
3	Базисний опір	$z_0 = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 223,0} = 15,5$	15,5
4	Номінальний момент	$M_n = \frac{2000 \cdot 10^3}{100 \cdot \frac{3,14}{30}} = 191082,0$	191 кН·м
5	Активний опір фази	$R_\phi = \frac{0,5 \cdot 2000 \cdot 10^3 \cdot (1 - 0,959)}{3 \cdot 223^2} = 0,275$	0,275 Ом
6	Комутаційний опір випрямляча	$R_{\gamma v} = \frac{6 \cdot 0,5}{2 \cdot \pi} = 0,478$	0,478 Ом
7	Активний опір реактора	$R_{TOP} = 0,01 \cdot 0,5 \cdot 314 = 1,57$	1,57 Ом
8	Надперехідний опір	$X_c = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 6 \cdot 281} = 2,05$	2,05
9	Комутаційний опір інвертора	$R_{\gamma i} = \frac{6 \cdot 2,589}{2 \cdot \pi} = 2,47$	2,47 Ом
10	Проти- ЕРС	$E_f = \frac{\frac{6000}{\sqrt{3}} - 223,0 \cdot 0,2748}{0,9} = 3781$	3781 В
11	Взаємна індуктивність	$L_m = \frac{\sqrt{2} \cdot 3781,0}{223,0 \cdot 314} = 0,076$	0,076 Гн

12	Сумарний опір	$R_{\Sigma} = 3,58$	3,58 Ом
13	Індуктивність дроселя	$L_{dp} = 6,9 \cdot 10^{-3}$	6,9 мГн
14	Сумарна індуктивність	$L_{\Sigma} = 2 \cdot \frac{2,589}{314} + 0,007 = 0,024$	0,024 Гн
15	Електромагнітна стала часу	$T_E = \frac{0,02349}{3,58154} = 0,007$	0,07 с
16	Значення коефіцієнту ЕРС	$k\Phi = \frac{1,35 \cdot 6000}{100 \cdot \frac{3,14}{30}} = 774$	774
17	Сумарний момент інерції	$J'_{\Sigma} = 6850$	6850 кг·м ²
18	Електромеханічна стала часу	$T_M = 6850 \cdot \frac{3,58154}{773,9^2} = 0,041$	0,04 с
19	Коефіцієнт передачі СД по управлінню	$k_d = \frac{1}{774} = 0,0013$	0,0013 рад/В·с
20	Коефіцієнт РС	$k_{dc} = \frac{10}{2 \cdot 223,0} = 0,023$	0,023
21	Коефіцієнт РШ	$k_{ds} = \frac{10}{100 \cdot \frac{3,14}{30}} = 0,955$	0,955
22	Сталі часу контуру зворотного зв'язку по швидкості	$T_{\mu s} = \frac{0,955}{10} = 0,0955$	0,0955 с
23	Сталі часу контуру зворотного зв'язку по струму	$T_{\mu c} = \frac{0,023}{10} = 0,0023$	0,0023 с

2.3 Статичні характеристики привода клітьового підйому

Вираз щодо побудови швидкісних характеристик:

$$\omega(I) = \frac{K_{CX} \cdot U_C \cdot \cos \alpha - I \cdot (2 \cdot R + R_{dp} + R_{\gamma v} + 2 \cdot R_{TOP})}{K_{CX} \cdot E_f \cdot \cos \beta + I \cdot \frac{m \cdot X_C}{2 \cdot \pi}}. \quad (2.24)$$

Результати розрахунків при зміні кутів керування випрямлячем $\alpha = 0^\circ$, 20° , 40° , 60° , 80° і інвертором $\beta = 30^\circ$ - на рис. 2.6.

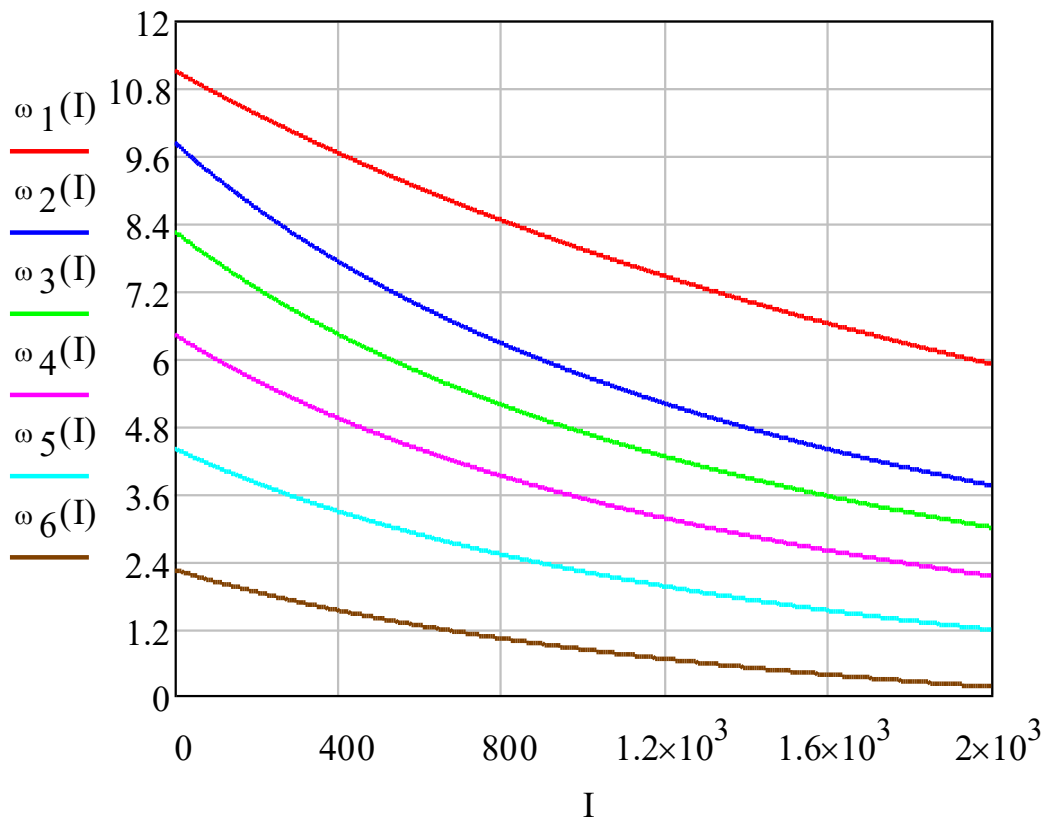


Рисунок 2.6 – Швидкісні режими роботи синхронного електропривода з частотним регулюванням швидкості

Результати розрахунків при куті керування випрямлячем $\alpha = 30^\circ$ та змінних кутах керування інвертором $\beta = 0^\circ$, 20° , 40° , 60° , 80° - на рис. 2.7.

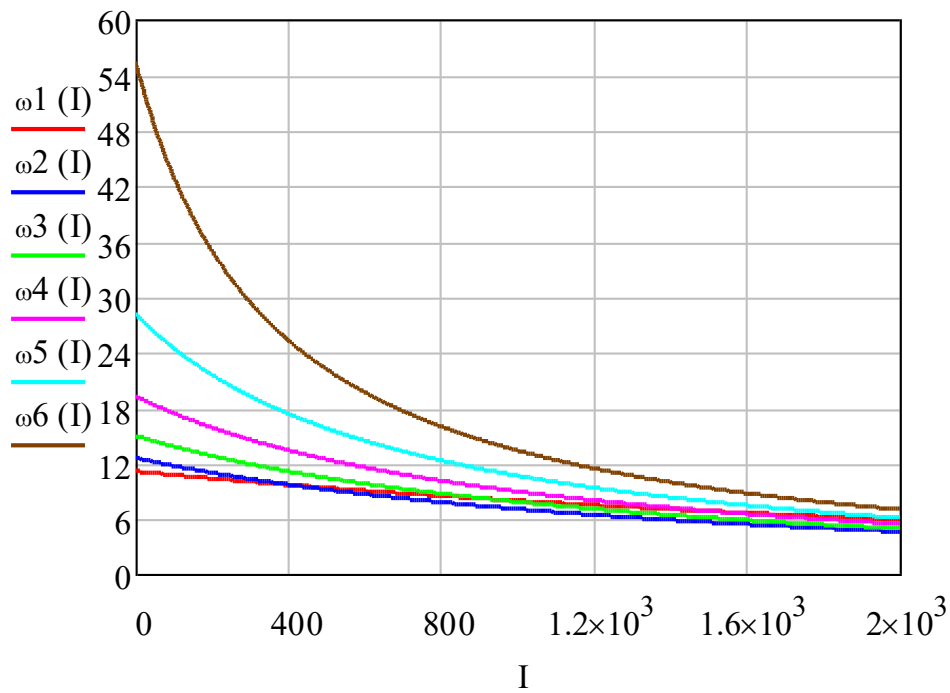


Рисунок 2.7 – Швидкісні характеристики привода синхронного електропривода з частотним регулюванням швидкості

Вираз щодо побудови механічних характеристик:

$$M(I) = \frac{K_{cx} \cdot U_c \cdot I \cdot \cos \alpha - 1,05 \cdot I^2 \cdot (2 \cdot R + R_{op} + 2 \cdot R_{TOP} + R_{\gamma v})}{\omega(I)}. \quad (2.25)$$

Отримані результати показані на рис. 2.8, 2.9.

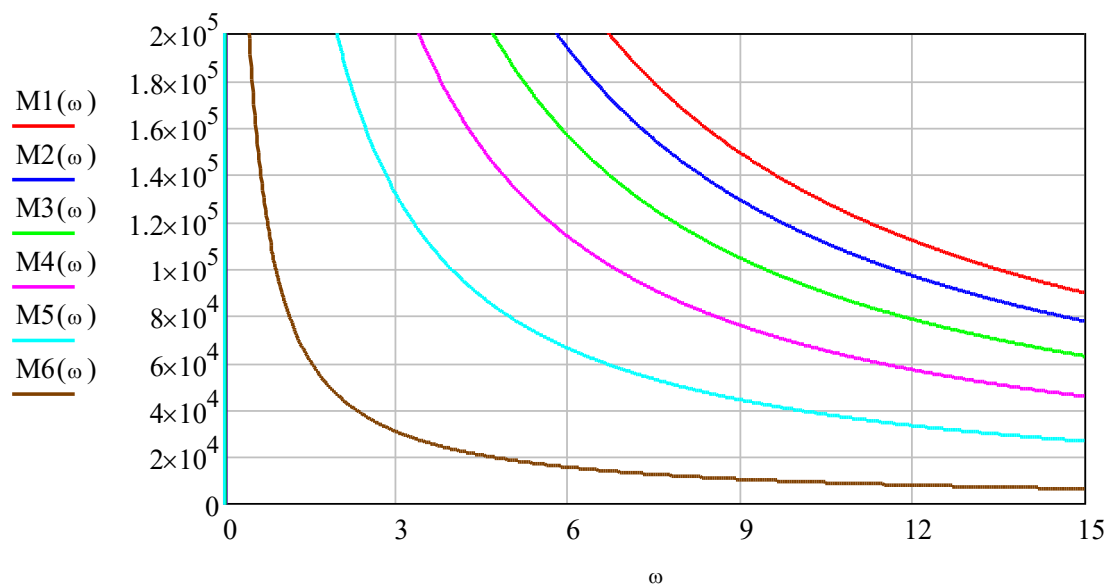


Рисунок 2.8 – Механічні характеристики синхронного електропривода з частотним регулюванням швидкості

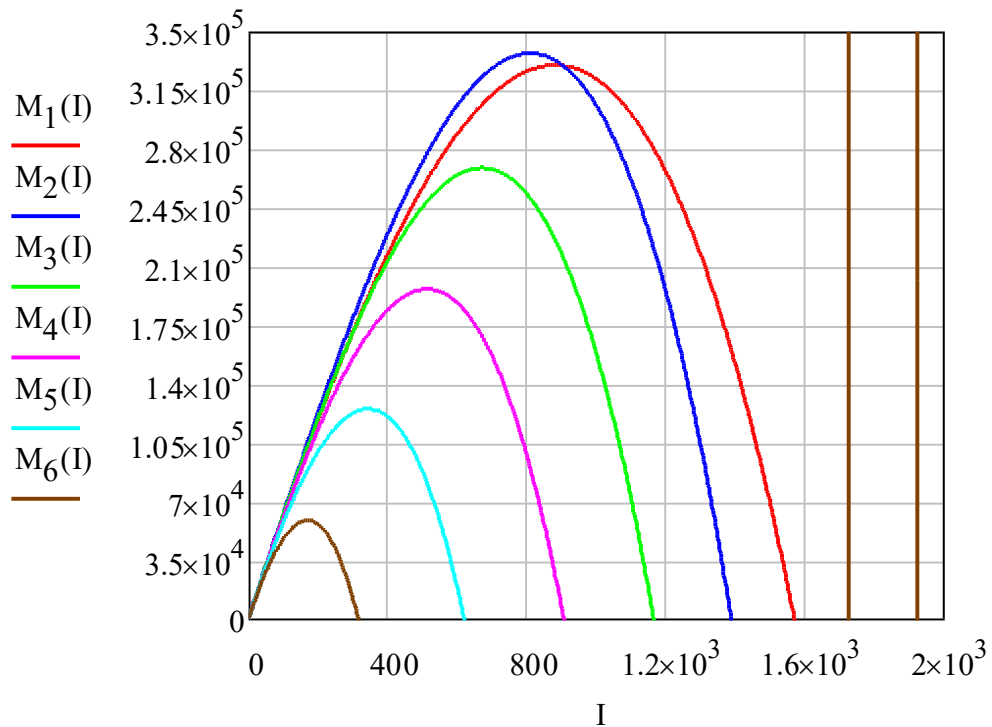


Рисунок 2.9 – Регулювальні характеристики синхронного електропривода з частотним регулюванням швидкості

Вираз щодо побудови коефіцієнту корисної дії:

$$\eta = \frac{M(\omega) \cdot \omega(I_n)}{1,35 \cdot 6000 \cdot \cos(\deg 30) \cdot I_n} \quad (2.26)$$

Отримані результати показані на рис. 2.10.

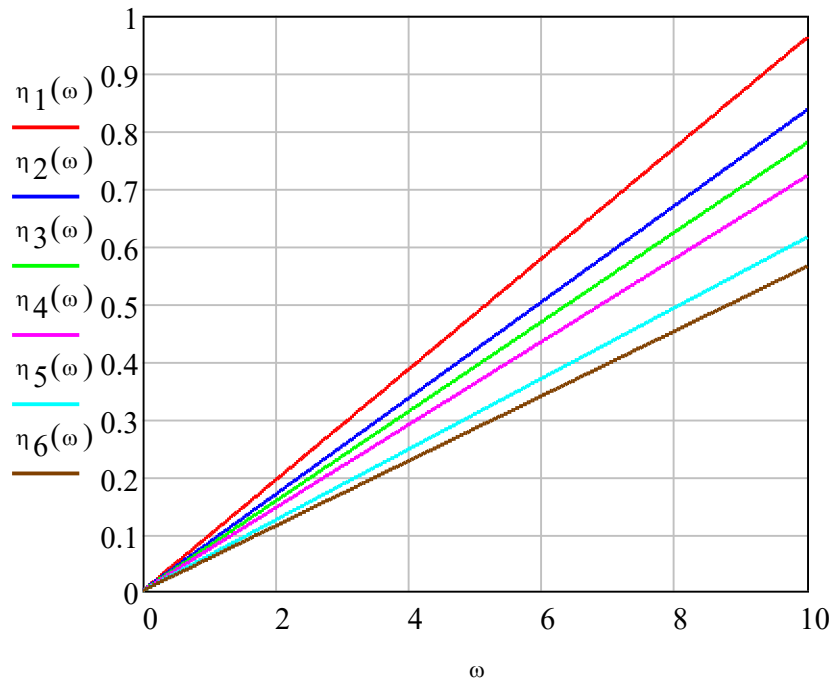


Рисунок 2.10 – Енергетичні характеристики синхронного електропривода з частотним регулюванням швидкості

2.4 Аналіз перехідних процесів привода клітьової підйомної установки

2.4.1 Розімкнена система

Комп'ютерна модель розімкненого електропривода клітьової підйомної установки в середовищі Matlab/Simulink – на рис. 2.11.

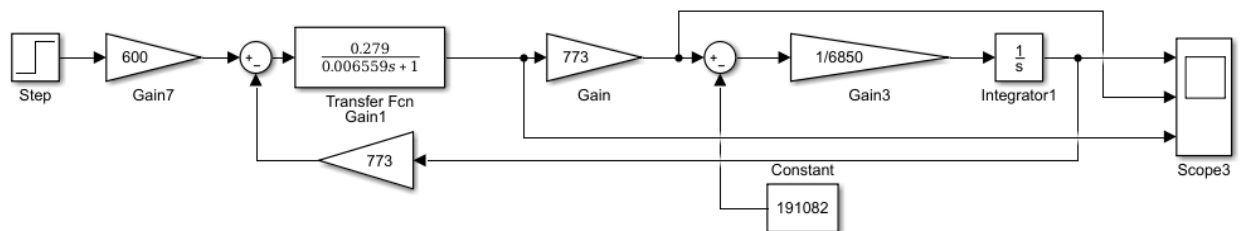
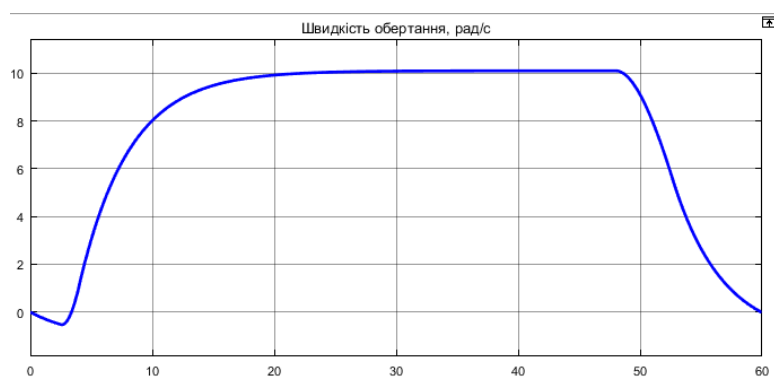
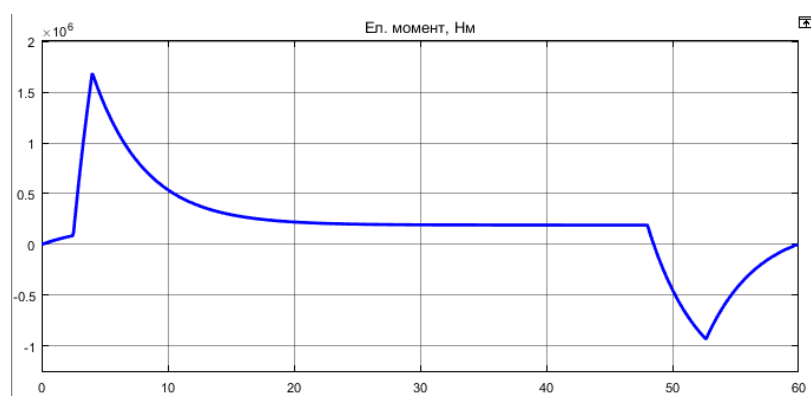


Рисунок 2.11 – Комп'ютерна модель розімкненого електропривода клітьової підйомної установки в середовищі Matlab/Simulink

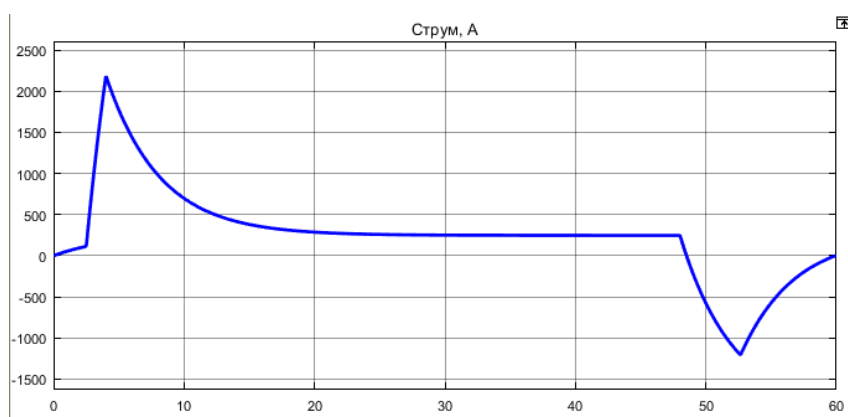
Отримано часові залежності основних координат при відпрацюванні тахограми руху кліті (рис. 2.12).



а)



б)



в)

Рисунок 2.15 – Часові залежності основних координат при відпрацюванні тахограми руху клітьової установки: а) швидкість, б) момент, в) струм

2.4.2 Система підлеглого керування

Вибрано:

- датчик швидкості – тахогенератор постійного струму типу СТ-22.
- датчик струму – резистор $R = 1,2$ кОм.

Регулятору струму (РС) налаштований на модульний оптимум:

$$W_{pc}(p) = \frac{R_{\Sigma} \cdot (T \cdot p + 1)}{2 \cdot T_{\mu c} \cdot p \cdot k_{\partial c}} = \frac{35600,0}{p} + 234,0, \quad (2.27)$$

регулятор швидкості:

$$W_{ps}(p) = \frac{k_{dc} \cdot J_{\Sigma}}{3 \cdot p \cdot T_{\mu s} \cdot k_{\partial c} \cdot \frac{1}{R_{\Sigma}}} = \frac{146616,0}{p}. \quad (2.28)$$

Комп'ютерне моделювання в середовищі Matlab/Simulink проведемо за схемою підлеглого керування (рис. 2.16), результати на рис. 2.17.

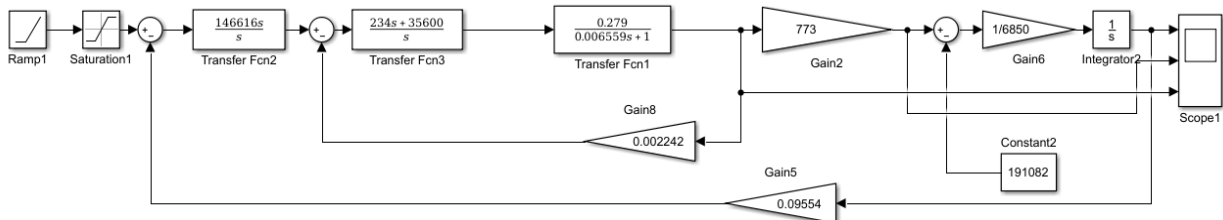
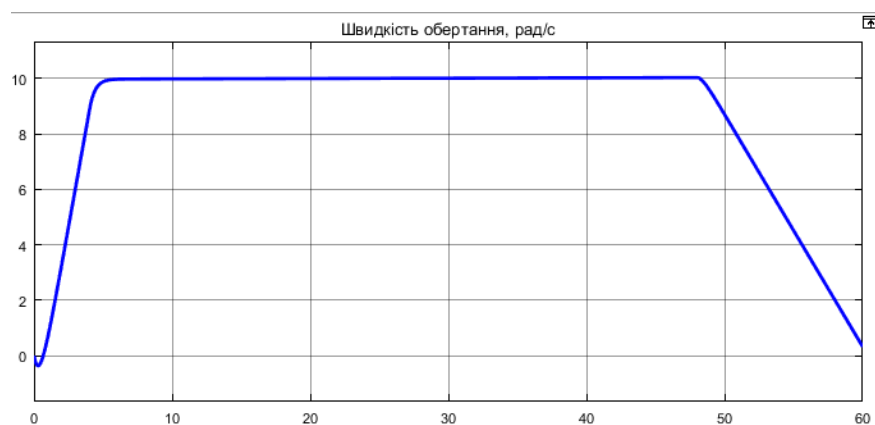
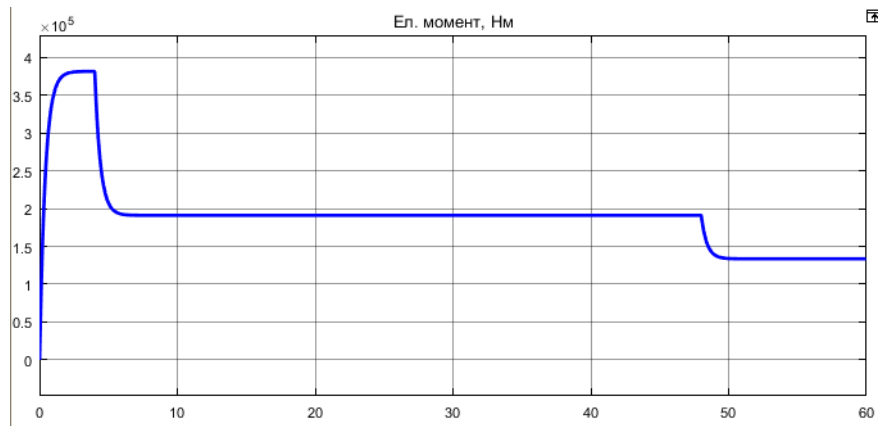


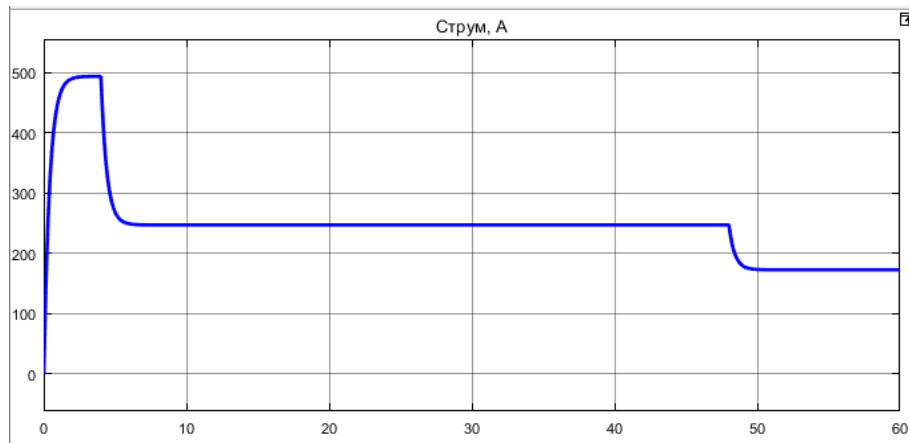
Рисунок 2.16 – Комп'ютерна модель MatLab системи підлеглого керування



а)



б)



в)

Рисунок 2.22 – Часові залежності основних координат системи підлеглого керування: а) швидкість, б) момент, в) струм

Застосування системи підлеглого керування забезпечило підвищення швидкодії привода, а також суттєве зменшення пускового струму (з 2200 А до 500 А) і динамічних стрибків моменту (з 2000 кН·м до 370 кН·м).

2.4.3 Комп'ютерне моделювання системи ПЧ-СД клітьового підйому

На рис. 2.23, 2.24 наведена віртуальна модель Matlab 6.5 системи ПЧ-СД та осцилограми перехідних процесів системи ПЧ-СД.

У даному розділі розроблено проєкт реконструкції електропривода клітьової підйомної установки, спрямований на підвищення надійності,

енергоефективності та якості регулювання технологічного процесу підйому. У межах модернізації передбачено заміну існуючого приводного електродвигуна та застарілої системи керування на сучасний середньовольтний електропривод із використанням перетворювача частоти ABB ACS8080 потужністю 2500 кВт та напругою 6 кВ. Обраний перетворювач частоти забезпечує високоточне керування швидкістю і моментом двигуна, підтримує чотириквadrantний режим роботи, рекуперацію електроенергії та відповідає сучасним вимогам до електроприводів шахтних підйомних установок.

У процесі дослідження побудовано та проаналізовано статичні характеристики електропривода клітьового підйому, зокрема механічні, швидкісні та енергетичні характеристики. Проведений аналіз підтвердив можливість плавного регулювання швидкості в широкому діапазоні та забезпечення необхідних значень електромагнітного моменту на всіх етапах роботи підйомної машини. Застосування перетворювача частоти дозволяє реалізувати оптимальні режими пуску, розгону, руху з усталеною швидкістю, гальмування та зупинки кліті без перевантаження електромеханічного обладнання.

Виконано моделювання перехідних процесів електропривода під час відпрацювання тахограми руху клітьової підйомної установки. Отримані результати свідчать про високу якість процесів регулювання та ефективність застосованої системи підлеглого керування. Встановлено, що використання сучасного перетворювача частоти та замкнених контурів регулювання струму і швидкості забезпечує суттєве покращення динамічних показників привода. Зокрема, максимальний пусковий струм зменшується з 2200 А до 500 А, тобто більш ніж у чотири рази, що значно знижує навантаження на живильну мережу, силове обладнання та обмотки електродвигуна.

Також встановлено значне зниження динамічних перевантажень за моментом: максимальні стрибки моменту зменшуються з 2000 кН·м до 370 кН·м. Це сприяє зменшенню ударних навантажень на редуктор, барабан

підйомної машини, канати та інші елементи механічної передачі, що позитивно впливає на довговічність обладнання та знижує витрати на його технічне обслуговування і ремонт.

Додатковою перевагою впровадження ABB ACS8080 є можливість рекуперації електричної енергії під час гальмівних режимів і спуску вантажу, що забезпечує підвищення загальної енергоефективності підйомної установки. Використання активного випрямляча дозволяє підтримувати коефіцієнт потужності на рівні, близькому до одиниці, зменшувати споживання реактивної потужності та покращувати показники якості електроенергії в мережі підприємства.

Таким чином, результати проведених досліджень підтвердили технічну доцільність та економічну ефективність реконструкції клітьового підйому із застосуванням сучасного перетворювача частоти ABB ACS8080. Запропоноване технічне рішення забезпечує підвищення надійності, безпеки та енергоефективності роботи підйомної установки, покращення динамічних характеристик електропривода, зменшення пускових навантажень і створює умови для подальшої автоматизації технологічних процесів шахти.

3.1 Характеристика джерел та споживачів шахти Ювілейна

Джерела електроенергії.

Живлення електроспоживачів шахти Ювілейна виконується від підстанції 150/35/6 кВ Центральна (рис. 3.1) через ГЗП - головну знижувальну підстанцію.

На підстанції Центральна встановлено два силові трансформатори номінальною потужністю по 60 МВА кожний. Потужність короткого замикання на шинах 6 кВ становить $S_{кз} = 300$ МВА, а еквівалентний реактивний опір енергосистеми на цих шинах дорівнює $X_c = 0,333$ відносних одиниць. Відстань від підстанції Центральна до головної знижувальної підстанції складає 250 м. Від шин ГЗП здійснюється живлення всіх підстанцій 6/0,4 кВ, розташованих на території шахти.

на підприємстві прийняті такі рівні напруги трифазного змінного струму:

- 6 кВ – для розподілу електроенергії по мережах промислового майданчика шахти;
- 6 кВ – для живлення високовольтних електродвигунів технологічних установок;
- 0,38 кВ – для електропостачання силових споживачів низької напруги, розташованих на поверхні;
- 0,38/0,127 кВ – для мереж освітлення будівель і споруд промислового майданчика з ізолюваною нейтраллю;
- 250 В постійного струму – для живлення контактної мережі електровозного транспорту в підземних виробках.

3.2 Компонівка підстанції та електропостачання підземних виробок

Електропостачання підземних споживачів шахти Ювілейна здійснюється від головної рудникової підстанції напругою 6 кВ за шістьма ввідними лініями.

Підстанція I складається з основних елементів: розподільчого пристрою високої напруги (КРУРН), силового трансформатора, розподільчого пристрою низької напруги (ЩРДУ-0,4 кВ), АТП-500-275 та ЩРДУ-0,275 кВ.

Основними споживачами електроенергії є три асинхронні двигуни водовідливу типу ВАО-450S-4 ($P_n = 200$ кВт, $U_n = 6000$ В), асинхронний двигун конвеєра ($P_n = 315$ кВт, $U_c = 6000$ В) та два трансформатори ТСВ-250/6.

Споживачі клітьового підйому – синхронний двигун СДМ2-22-41-60УХЛ4 ($P_n = 2000$ кВт, $U_n = 6000$ В) живляться від підстанції II.

Повне електричне навантаження горизонту це:

- дільничні підземні підстанції (ДПП): $S_1 = 1500$ кВА;
- дві тягові підстанції (ТП): $S_2 = 270$ кВА;
- потреби приствольного двору шахти: $S_3 = 500$ кВА.

Тобто сумарне електричне навантаження I та II підстанцій: 2270 кВА

Освітлення підземних виробок.

Освітлення підземних робочих зон передбачене відповідно до вимог Правил безпеки під час розробки родовищ рудних та нерудних корисних копалин підземним способом (затверджені наказом Мінсоцполітики України №1592 від 23.12.2016).

Для стаціонарної освітлювальної мережі прийняті такі рівні напруги:

- на рудникових дворах, квершлагах і штреках – 127 В;
- на підповерхах та у вибоях – 36 В.

Для освітлення застосовуються шахтні світильники типу НСР-01 або їх сучасні світлодіодні аналоги у вибухозахищеному або пиловологозахищеному виконанні. Освітлювальна мережа виконується гнучким кабелем.

Живлення систем освітлення здійснюється від мережі 0,4 кВ через шахтні освітлювальні трансформатори.

3.3 Розрахунок мережі напругою вище 1кВ

3.3.1 Розрахунок кабельної мережі напругою вище 1кВ

Перевірка кабелю проводиться за умовами нагрівання робочим струмом, термічної стійкості при струмах короткого замикання, а також за допустимими втратами напруги.

Потужність ДПП:

$$S_{ДПП} = 3 \cdot S_{ТР ТЯГ} + 2 \cdot S_{ТР ДПП} = 3 \cdot 150 + 2 \cdot 400 = 1250 \text{ кВА.} \quad (3.1)$$

1) Струм у кабелі, що з'єднує ГПП з ДПП:

$$I_{розр} = \frac{S_{ДПП}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{1250}{\sqrt{3} \cdot 6} = 120 \text{ А.} \quad (3.2)$$

Вибрано кабель марки СБн-6 3х50 (мідний, трижильний): $U_n = 6 \text{ кВ}$, $I_{тр.доп} = 145 \text{ А}$, $r_0 = 0,37 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,083 \text{ Ом/км}$.

2) Струм у кабелі, що подає живлення з центральної підземної підстанції (ЦПП) 1190 м до ЦПП 1270 м:

$$I_{розр} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{3214}{\sqrt{3} \cdot 6} = 306 \text{ А.}$$

Вибрано два кабелі (на кожний ввід до шин ЦПП) марки ЦСКН-3х95:
 $U_n = 6 \text{ кВ}$, $I_{\text{тр.доп}} = 215 \text{ А}$, $r_0 = 0,194 \text{ Ом/км}$, $x_0 = 0,078 \text{ Ом/км}$.

Перевірка кабелів за допустимими втратами напруги.

Сумарні втрати напруги:

$$\Delta U_{\text{заг}} = \Delta U_{\text{ЦПП}} + \Delta U_{\text{ДПП}}. \quad (3.3)$$

Втрати напруги в кабелі довжиною 360 м, що живиться ЦПП:

$$\begin{aligned} \Delta U_{\text{ЦПП}} &= \sqrt{3} \cdot \frac{I_{\text{розр}}}{2} \cdot l \cdot (r \cdot \cos \varphi + x \cdot \sin \varphi) = \\ &= \sqrt{3} \cdot \frac{309,24}{2} \cdot 0,36 \cdot (0,194 \cdot 0,72 + 0,078 \cdot 0,7) = 19 \text{ В} \end{aligned} \quad (3.4)$$

При допустимому значенні 300 В (для силових мереж 6 кВ – не більше 5 % від номінальної напруги).

3.3.2 Розрахунок струмів короткого замикання мережі напругою вище 1кВ

Розрахунок струмів короткого замикання здійснюється у відносних одиницях, приймаючи базисну потужність 100 МВА, потужність короткого замикання 300 МВА.

Розрахунок опорів схеми заміщення мережі зведено у табл. 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 – Розрахунок опорів схеми заміщення мережі напругою вище 1кВ

№ з/п	Назва параметру	Розрахунковий вираз	Номер виразу
1	Базисний струм	$I_{\bar{0}} = \frac{S_{\bar{0}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\bar{0}}}$	(3.5)
2	Опір системи	$x_{*1} = \frac{S_{\bar{0}}}{S_{\text{КЗ}}^{(3)}}$	(3.6)
3	Опір повітряної лінії, що живить ГПП	$x_{*2} = x_0 l \frac{S_{\bar{0}}}{U_n^2}$	(3.7)
4	Опір реактора	$x_{*3} = \frac{x_p \%}{100} \cdot \frac{I_{\bar{0}}}{I_n} \cdot \frac{U_n}{U_{\bar{0}}}$	(3.8)

5	Опір кабельної лінії	$x_{*5} = x_0 \cdot l \cdot \frac{S_0}{U_H^2}$	(3.9)
6	Сумарний опір до точки K_1	$x_{*K1} = x_{*1} + x_{*2} + x_{*3} + x_{*4} + x_{*5} + x_{*7}$	(3.10)
7	Сумарний опір до точки K_2	$x_{*K2} = x_{*K1} + x_{*8}$	(3.11)
8	Струм короткого замикання в точці K_1	$I_K^{(3)} = \frac{0,95 \cdot U_H}{2 \cdot x_{K1}}$	(3.12)
9	Ударний струм в точці K_1	$i_{yd} = \sqrt{2} \cdot K_y \cdot I_K^{(3)}$	(3.13)

Таблиця 3.2 – Розрахунок опорів схеми заміщення мережі напругою вище 1кВ

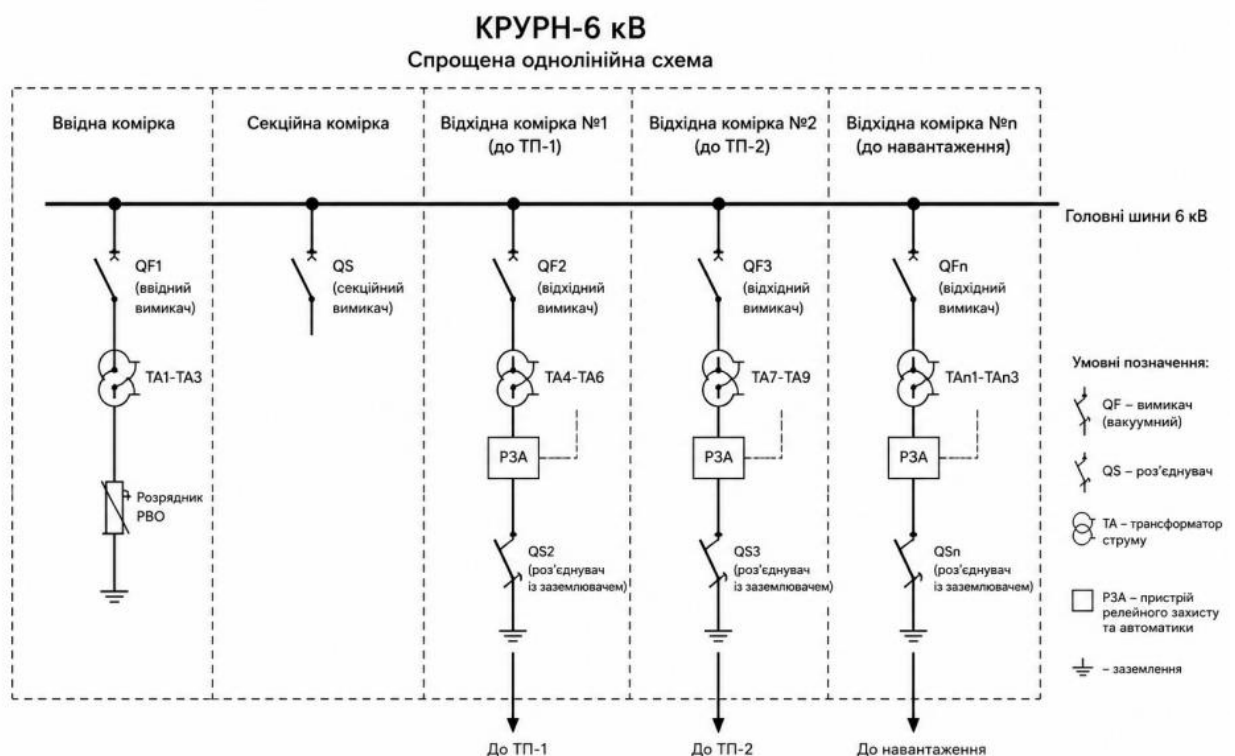
№ з/п	Назва параметру	Розрахунковий вираз та величина параметру	Одиниця вимірювання
1	Базисний струм	$I_0 = \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 9,164$	9,164 кА
2	Опір системи	$x_{*1} = \frac{100}{300} = 0,333$	0,333
3	Опір повітряної лінії, що живить ГПП	$x_{*2} = 0,35 \cdot 0,25 \cdot \frac{100}{6,3^2} = 0,243$	0,243
4	Опір реакторів РБА-6-2000, РБА-6-400	$x_{*3} = \frac{8}{100} \cdot \frac{9164}{2000} \cdot \frac{6}{6,3} = 0,349$ $x_{*4} = \frac{4}{100} \cdot \frac{9164}{200} \cdot \frac{6}{6,3} = 0,873$	0,349 0,873
5	Опір кабельної лінії: ГПП і ЦПП (1190 м); ЦПП (1190 м) і ЦПП (1270 м); ЦПП (1270 м) і ДТП	$x_{*5} = 0,08 \cdot 3,8 \cdot \frac{100}{6^2} = 0,844$ $x_{*6} = 0,08 \cdot 0,36 \cdot \frac{100}{6^2} = 0,08$ $x_{*8} = 0,08 \cdot 1,3 \cdot \frac{100}{36} = 0,289$ $x_{*7} = \frac{0,08 \cdot 0,08}{0,08 + 0,08} = 0,04$	0,844 0,08 0,289 0,04
6	Сумарний опір до точки K_1	$x_{*K1} = 0,333 + 0,243 + 0,349 + 0,873 + 0,844 + 0,04 = 2,862$	2,862
7	Сумарний опір до точки K_2	$x_{*K2} = 2,862 + 0,289 = 2,971$	2,971

8	Струм короткого замикання в точці K_1, K_2	$I_{\kappa 1}^{(3)} = \frac{0,95 \cdot 6,3}{2 \cdot 1,844} = 1,623$ $I_{\kappa 2}^{(3)} = \frac{0,95 \cdot 6,3}{2 \cdot 2,042} = 1,465$	1,623 кА 1,465 кА
9	Ударний струм в точці K_1, K_2	$i_{y\partial 1} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,421 = 8,709$ $i_{y\partial 2} = \sqrt{2} \cdot 1,8 \cdot 3,088 = 7,861$	8,709 кА 7,861 кА

3.3.3 Вибір обладнання мережі напругою вище 1кВ

1) Пристрій типу КРУРН-6 - призначений для приймання та розподілу електроенергії 6 кВ у шахтних і промислових мережах; комутації та захисту ліній живлення; живлення трансформаторних підстанцій, електродвигунів, підземних установок; оперативного вмикання/вимикання електричних ліній.

У сучасних проєктах КРУРН-6 поступово замінюється більш новими серіями вакуумних комплектних розподільних пристроїв з мікропроцесорним захистом, але в діючих шахтах широко використовується (див. рис. 3.2).



Примітка: Кількість відхідних комірок може змінюватися в залежності від схеми електропостачання.

Рисунок 3.2 – Спрощена однолінійна схема комірки КРУУН-6

Основні технічні характеристики КРУРН-6:

- номінальна напруга – 6 кВ;
- номінальний струм збірних шин – 1000 А;
- номінальний струм шафи – 630 А;
- струм відключення (КЗ) – 31,5 кА;
- струм електродинамічної стійкості – 51 кА;
- струм термічної стійкості – до 20 кА.

2) Вимикачі типу ВРС-6, ВР6 та їх аналоги.

Типові параметри вакуумного вимикача:

- номінальна напруга – 6 кВ;
- номінальний струм – 630–3150 А;
- струм відключення – 31,5–40 кА;
- струм електродинамічної стійкості – до 80–128 кА;
- час відключення – до 0,05–0,07 с;
- механічний ресурс – до 30 000 циклів.

3) Схема побудови КРУРН-6. Типова схема включає:

- ввідну комірку 6 кВ;
- секційний вимикач;
- відхідні коміртки до трансформаторів і навантажень;
- вимірювальні трансформатори струму та напруги;
- релейний або мікропроцесорний захист;
- систему заземлення та блокування;
- вакуумний вимикач у кожній комірці.

4) Перевірка вибраних кабелів за умовами термічною стійкістю.

Для перевірки кабелю за умовами термічної стійкості необхідно визначити значення усталеного струму короткого замикання та тривалість його протікання через кабель:

$$S \geq \frac{I_{\infty} \cdot \sqrt{t_{КЗ}}}{c}, \text{ мм}^2, \quad (3.14)$$

де I_{∞} – усталений струм короткого замикання, А;

$t_{КЗ} = t_{відкл} + t_{р.з.} = 1,57$ с – фактичний час дії струму короткого замикання (час відключення вимикача ВК-10 $t_{відкл} = 0,07$ с час спрацьовування реле МСЗ $t_{рз} = 1,5$ с);

$c = 145$ А·√с/мм² – термічний коефіцієнт для мідних жил кабелю.

а) Перевірка кабелю, що живить ЦПП:

$$S = \frac{3421 \cdot \sqrt{1,57}}{145} = 30 \text{ мм}^2$$

$$95 \text{ мм}^2 > 30 \text{ мм}^2.$$

Прийнятий переріз задовольняє умовам термічної стійкості.

б) Перевірка кабелю між ЦПП і ДПП:

$$S = \frac{3088 \cdot \sqrt{1,57}}{145} = 27 \text{ мм}^2$$

$$50 \text{ мм}^2 > 27 \text{ мм}^2.$$

Прийнятий переріз задовольняє умовам термічної стійкості.

5) Вимірювальні трансформатори струму

Трансформатори струму вибирають за номінальною напругою, номінальними значеннями первинного та вторинного струму, класом точності, допустимим вторинним навантаженням.

Для комерційного обліку електроенергії застосовують трансформатори класу точності не нижче 0,5; для технічного обліку допускається використання класу точності 1,0. Для підключення індикаторних електровимірювальних приладів необхідні трансформатори струму класу точності не нижче 3,0, для пристроїв релейного захисту – класу 10,0.

У режимі короткого замикання трансформатори струму підлягають перевірці на динамічну та термічну стійкість.

Вибір вимірювальних трансформаторів струму зведений до табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Вибір вимірювальних трансформаторів струму

Найменування комірки КРУ	Ввідна комірка		Секційна комірка		Відхідні лінії (фідери)			
					АД		Трансф.	
Умова вибору	Катал.	Розр.	Катал.	Розр.	Катал.	Розр.	Катал.	Розр.
$U_n \geq U_{уст}$	6	6	6	6	6	6	6	6
$I_{n1} \geq I_{р.ф}$	100	93,06	100	93,06	30	27,5	30	24,06
$I_{2н}$	5	-	5	-	5	-	5	-
Клас точності	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$Z_n > Z_2$	0,8	0,59	0,8	0,59	0,8	0,59	0,8	0,59
$i_{дмн} > i_y$	52	19,32	52	19,32	52	19,32	52	19,32
$I_r^2 \cdot t_r > B_k$	12,96	11,9	12,96	11,9	12,96	11,9	12,96	11,9
Тип ТС	ТОЛК-6,05		ТОЛК		6,05		ТОЛК	

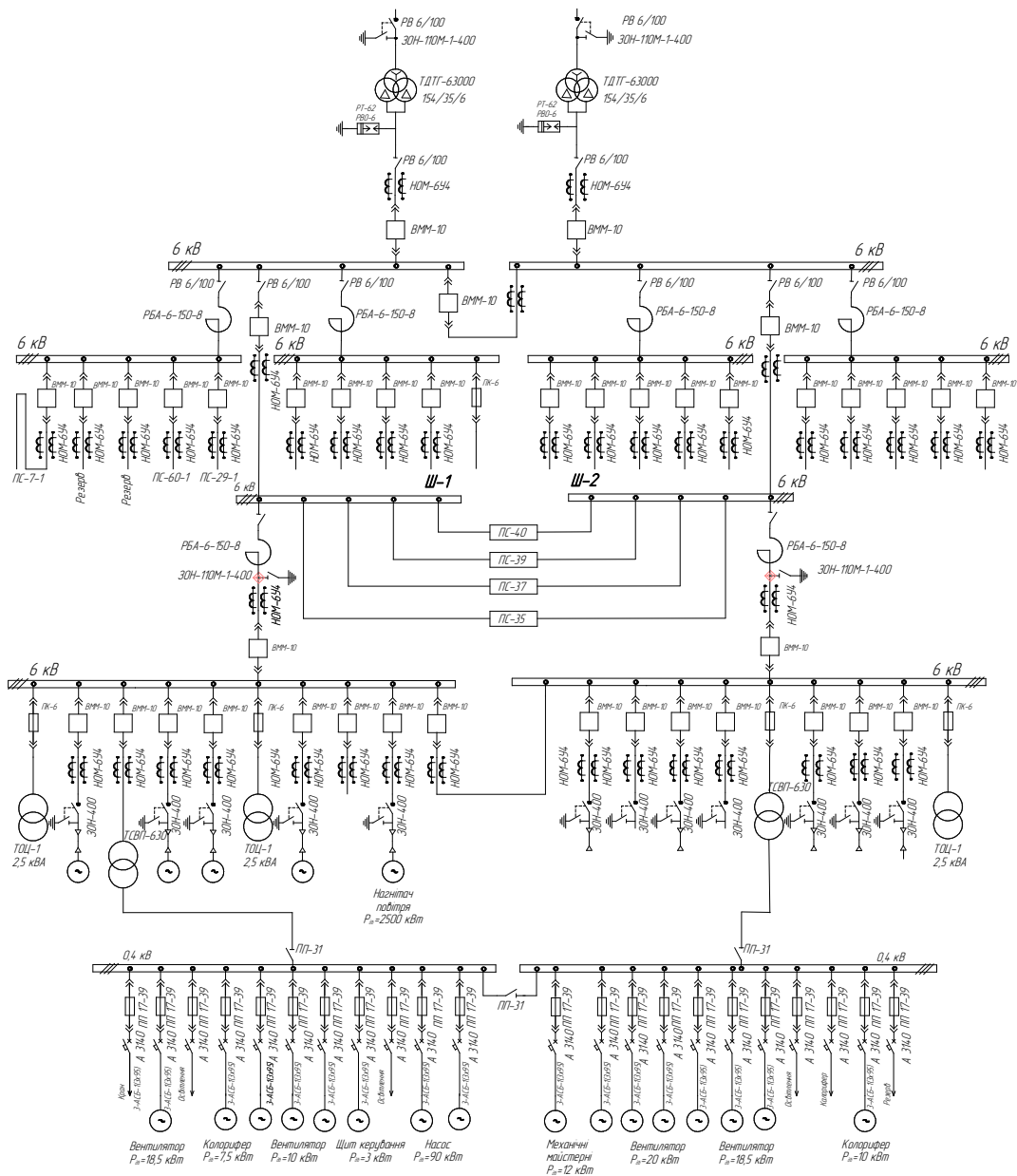


Рисунок 3.1 – Принципова схема однолінійного електропостачання гірничого підприємства «Ювілейна»

Висновки за розділом 3

У розділі наведено результати розрахунку системи електропостачання шахти Ювілейна. Розглянуто основних споживачів електроенергії та виконано розрахунок підземної системи електропостачання.

Визначено електричні навантаження, відповідно до яких за довідковими та каталожними характеристиками підібрано силові й вимірювальні

трансформатори. Також проведено розрахунок кабельних ліній напругою понад 1 кВ.

Виконано розрахунки режимів роботи електрообладнання в нормальних та аварійних умовах. Визначено струми короткого замикання на сторонах високої та низької напруги. На основі отриманих результатів здійснено вибір обладнання для мереж 6 кВ і 0,4 кВ, а також комутаційних і захисних пристроїв.

Загальні висновки до випускової роботи

1. У випусковій роботі виконано комплексний аналіз електромеханічних систем шахти Ювілейна ПрАТ Суха Балка, визначено їх роль у технологічному процесі видобутку та транспортування корисної копалини, а також встановлено, що найбільш енергоємними є підйомні установки.

2. Показано, що існуючі системи електропривода типу Г–Д характеризуються низькою енергоефективністю, значними втратами електроенергії та обмеженими можливостями регулювання, що обумовлює необхідність їх модернізації.

3. Обґрунтовано доцільність впровадження сучасних регульованих електроприводів типу ПЧ–СД як одного з найбільш ефективних напрямів підвищення енергоефективності та надійності шахтного обладнання.

4. Для модернізації клітьової підйомної установки обрано синхронний двигун СДМ2-22-41-60УХЛ4 потужністю 2000 кВт, 6 кВ, який забезпечує високий ККД, стабільні енергетичні показники та можливість роботи в складі частотно-регульованого електропривода.

5. Як систему керування електроприводом прийнято середньовольтний перетворювач частоти ABB ACS8080 потужністю 2500 кВт і напругою 6 кВ, що забезпечує чотириквadrantний режим роботи, рекуперацію енергії та високу точність регулювання швидкості і моменту.

6. Виконано моделювання статичних та динамічних режимів роботи електропривода, яке підтвердило можливість ефективного регулювання технологічних процесів підйому та забезпечення стабільних характеристик у всіх режимах роботи.

7. Встановлено, що застосування системи підлеглого керування дозволяє суттєво покращити динамічні показники привода: пусковий струм зменшено з 2200 А до 500 А, а динамічні перевантаження за моментом - з 2000 кН·м до 370 кН·м.

8. Доведено, що впровадження перетворювача частоти АВВ ACS8080 забезпечує підвищення енергоефективності за рахунок рекуперації електроенергії, покращення коефіцієнта потужності та зниження втрат у мережі.

9. Виконано розрахунок системи електропостачання шахти «Ювілейна», визначено електричні навантаження, підібрано трансформаторне обладнання та кабельні лінії, а також розраховано струми короткого замикання.

10. На основі розрахунків здійснено вибір комутаційного та захисного обладнання мереж 6 кВ і 0,4 кВ, що забезпечує надійну та безпечну роботу системи електропостачання.

11. Узагальнено, що запропоновані технічні рішення забезпечують підвищення надійності, безпеки та енергоефективності роботи електромеханічного обладнання шахти, а також створюють основу для подальшої автоматизації та модернізації гірничого виробництва.