

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка»
Форма навчання Денна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

магістра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Кітайгори Максима Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Електромеханічне обладнання шахти «Криворізька» АТ
«Кривбасзалізрудком». Модернізація системи керування електроприводом
скіпового підйомника

(повна назва теми)

за матеріалами з АТ «Кривбасзалізрудком»

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник ДОЦЕНТ, К.Т.Н. Пироженко А.В.
(наук. ступінь, вчене звання) (підпис) (прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від 15.01.26 2026р. № 6

Завідувач кафедри

(підпис)

ДОЦЕНТ, К.П.Н.

Наук. ступінь, вчене звання

Є.О. Модлю

Ініціали, прізвище

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації

Освітньо-кваліфікаційний рівень _____ магістр _____

Спеціальність _____ 141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка» _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

«_____» _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Китайгорі Максиму Юрійовичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи Електромеханічне обладнання шахти «Криворізька» АТ «Кривбасзалізрудком». Модернізація системи керування електроприводом скіпового підйомника

керівник випускної роботи Пироженко Андрій Володимирович, доцент, к.т.н.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «20» жовтня 2025 року
№ 726-ст

2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи 12.01.2026

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи: Об'єкт автоматизації – скіпова підйомна установка шахти «Криворізька» АТ «Кривбасзалізрудком»; двигуни П2Ш-800-255-7КУХЛ4 (5000 кВт, постійного струму); система Г-Д (генератор-двигун); висота підйому – 1425 м; вантажопідйомність скіпа – 50 т; швидкість підйому – до 13 м/с; контроль параметрів – струм якоря, струм збудження, положення скіпа; вимоги – точне зважування руди, GSM-передача даних, блискавкозахист, оперативний облік за зміну/добу/місяць.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити 4.1 Аналітична частина: особливості технологічного процесу видобутку руди; аналіз існуючої системи зважування на базі контролера «КОМПАКТ-24»; обґрунтування необхідності модернізації. 4.2 Основна частина: технічне завдання на створення мікропроцесорної системи зважування; розрахунок потужності двигуна та вибір електропривода ТП-Д; синтез системи підлеглого регулювання; розробка алгоритмів зважування з корекцією за струмом збудження та холостого ходу; вибір технічних засобів;

розрахунок економічної ефективності. Заходи з охорони праці: аналіз небезпечних факторів (електрика, шум, вібрація, пил); заходи щодо електробезпеки, пожежної безпеки, захисту від падіння з висоти; організація ЗІЗ та медичних оглядів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
ВРМ.141.726-ст.06.Е0.1 – Загальний вигляд підйомної установки; ВРМ.141.726-ст.06.Е1.1 – Структурна схема існуючої системи зважування; ВРМ.141.726-ст.06.Е2 – Схема електрична функціональна; ВРМ.141.726-ст.06.Е1.2 – Схема електрична структурна системи зважування; ВРМ.141.726-ст.06.Е0.2 – Спрощена блок-схема алгоритму роботи системи; ВРМ.141.726-ст.06.Е0.3 – Математична модель системи керування скіповим підйомом; ВРМ.141.726-ст.06.Е2 – Функціональна схема автоматизації системи зважування; ВРМ.141.726-ст.06.ТЕП – Техніко-економічні показники.

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Пироженко А.В.	20.10.2025	20.10.2025
Основна частина	Пироженко А.В.	20.10.2025	20.10.2025

7. Дата видачі завдання 20.10.2025

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів випускної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	28.11.2025	
2.	Основна частина	25.12.2025	
3.	Оформлення пояснювальної записки	29.12.2025	
4.	Виконання графічної частини	05.01.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	12.01.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	20.01.2026	

Студент _____
(підпис)

Китайгора М.Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи _____
(підпис)

Пироженко А.В.
(прізвище та ініціали)

№ рядка	Формат	Позначення	Назва	Кіл. листів	№ екз.	Прим.
1	A3	<i>ВРМ.141.726-ст.06.E0.1</i>	Загальний вигляд підйомної	1		
2			установки			
3	A3	<i>ВРМ.141.726-ст.06.E1.1</i>	Структурна схема існуючої	1		
4			системи зважування			
5	A3	<i>ВРМ.141.726-ст.06.E2.1</i>	Схема електрична	1		
6			функціональна			
7	A3	<i>ВРМ.141.726-ст.06.E1.2</i>	Схема електрична	1		
8			структурна			
9			системи зважування			
10	A3	<i>ВРМ.141.726-ст.06.E0.2</i>	Спрощена блок-схема	1		
11			алгоритму роботи системи			
12	A3	<i>ВРМ.141.726-ст.06.E0.3</i>	Математична модель	1		
13			системи керування скіповим			
14			підйомом			
15	A3	<i>ВРМ.141.726-ст.06.E2.2</i>	Функціональна схема	1		
16			автоматизації системи			
17			зважування			
18	A3	<i>ВРМ.141.726-ст.06.ТЕП</i>	Техніко-економічні	1		
19			показники			
20	A4	<i>ВРМ.141.726-ст.06.ПЗ</i>	Пояснювальна записка	112		
21						
22						
23						
				<i>ВРМ.141.726-ст.06.ВР</i>		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		
<i>Розроб.</i>		<i>Китайгора М. Ю.</i>			<i>Літера</i>	<i>Аркуш</i>
<i>Пров.</i>		<i>Пироженко А.В.</i>				<i>Аркушів</i>
<i>Н.контр.</i>		<i>Пироженко А.В.</i>			4 1	
<i>Затв.</i>		<i>Модло Є.О.</i>			ННТІ ДУЕТ Каф.ЕІА гр. ЕПА-24м	
				<i>Електромеханічне обладнання шахти «Криворізька» АТ «Кривбасзалізрудком». Модернізація системи керування електроприводом скіпового підйомника. Відомість роботи</i>		

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускної роботи магістра: 112 с., 46 рис., 18 табл., 30 джерел.

Об'єкт розробки — скіповий підйомник шахти «Криворізька» ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат».

Мета роботи: модернізація системи управління електроприводом скіпового підйомника та мікропроцесорного вимірювача ваги вантажу з метою підвищення точності обліку, надійності та ефективності роботи установки.

Методи та апаратура: виконано аналіз технологічного процесу та експлуатаційних недоліків існуючої системи автоматичного зважування. Застосовано методи інженерного аналізу для формулювання вимог до модернізованої системи. Запропоновано структуру системи на базі сучасних контролерів, засобів гальванічної розв'язки та цифрового зв'язку (GSM).

Результати роботи: виявлено критичні недоліки експлуатованої системи: застаріла елементна база, відсутність корекції ваги за струмом збудження та струмом холостого ходу, ненадійний модемний зв'язок, відсутність блискавкозахисту.

Наукова новизна та практична цінність: запропоноване рішення усуває систематичні похибки існуючого методу зважування шляхом комплексного обліку струмів якоря та збудження двигуна. Модернізація забезпечить стабільний дистанційний моніторинг, автоматичний архів даних та підвищення надійності системи в суворих умовах експлуатації. Результати можуть бути використані при реконструкції аналогічних підйомних установок на гірничодобувних підприємствах.

Ключові слова: автоматизація, зв'язок GSM, контроль струму збудження, мікропроцесорний вимірювач ваги, модернізація електроприводу, скіповий підйомник, система зважування.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	11
1.1 Технологічний процес роботи шахти «Криворізька».....	11
1.2 Основні відомості про скіпову підйомну установку	12
1.3 Особливості експлуатації існуючої системи та постановка задачі випускної роботи	18
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	35
2.1 Розрахунок системи управління скіповим підйомом	35
2.1.1 Розрахунок потужності і вибір електродвигуна, перетворювача і елементів силової частини	35
2.1.2 Складання схеми заміщення, розрахунок статичних характеристик привода	40
2.1.3 Функціональна схема електроприводу ШПУ	51
2.2 Дослідження динамічних режимів привода скіпової підйомної установки .	61
2.2.1 Складання математичної моделі САР ЕП	61
2.2.2 Моделювання перехідних процесів.....	64
2.3 Розробка функціональної схеми системи зважування скіпів	77
2.4 Методика експериментального визначення емпіричних коефіцієнтів.....	81
2.5 Вибір технічних засобів.....	86
2.5.1 Технічні дані проекрованої системи:	86
2.5.2 Вибір контролера.....	86
2.5.3 Блоки з гальванічною розв'язкою (БГР)	88
2.5.4 Уніфіковане одноканальне промислове джерело живлення	89
2.5.5 Пульт оператора	91
2.5.6 Модуль захисту від перенапруг	92
2.5.7 Оптичні датчики положення	93
2.5.8 Модем GSM	94
2.6 Розробка блок-схеми алгоритму роботи системи.....	95

2.7	Визначення похибки виміру ваги	98
2.8	Економічне обґрунтування проектного рішення	100
2.8.1	Вихідні техніко-економічні показники	101
2.8.2	Розрахунок капітальних витрат	101
2.8.3	Розрахунок річних амортизаційних відрахувань	103
2.8.4	Розрахунок економічного ефекту	103
2.9	Охорона праці при експлуатації модернізованої системи	106
2.9.1	Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів.....	107
2.9.2	Заходи зі зниження впливу шкідливих факторів	108
2.9.3	Організація медичного обслуговування та засобів індивідуального захисту	109
2.9.4	Пожежна безпека.....	110
	ВИСНОВКИ.....	111
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	112

ВСТУП

Значення горної промисловості в розвитку народного господарства нашої країни важко переоцінити. Видобуток руд, мінерального палива, сировини для хімічної промисловості, будматеріалів, мінеральних добрив й інших корисних копалин забезпечує технічний прогрес в індустрії й сільському господарстві, зміцнює економіку й обороноздатність України, підвищує добробут народу.

Видобуток залізних руд здійснюється підземним способом з постійно ускладненням гірничотехнічних умов. Основну увагу приділяємо вдосконалюванню технології підземного видобутку залізних руд як однієї з найбільш складних й актуальних. Успішне рішення цієї проблеми позитивно відіб'ється не тільки на економіці чорної металургії, але й на соціальних й екологічних аспектах розвитку країн.

Розширення сировинної бази металургії, підвищення ефективності видобутку руди й зниження її собівартості, підвищення якості продукції, ріст продуктивності праці й забезпечення конкурентоздатності гірничодобувних підприємств - актуальні завдання сучасної гірської науки.

Переоцінка мінерально-сировинних залізородних джерел і вибір раціональних шляхів їхнього освоєння обумовили комплексний підхід до використання залізородних родовищ.

У складі Криворізького залізородного комбінату (КЗРК) діють чотири шахти: «Криворізька», «Ювілейна», «Тернівська» та «Північна». Вони розташовані майже строго у південно-північному напрямку — від шахти «Криворізька» на півдні до шахти «Північна» на півночі. Відстань між крайніми шахтами становить близько 25 км. Адміністративне управління комбінату знаходиться за 9 км на північ від шахти «Криворізька».

Як правило, керівникам будь-якого рангу промислових підприємств потрібна оперативна інформація про виробництво кінцевого продукту. Для умов шахт Кривбасу - це відповідно технологічний і комерційний облік добутої

й відвантаженої споживачеві руди. Якщо комерційний облік в умовах КЗРК виконується на залізничних вагах і достатній для розрахунків зі споживачами, хоча він і не є оперативним, то технологічний облік відсутній.

Для аналізу однієї із складових виробництва (облік кількості вантажених скіпів і ваги виданої руди протягом години, зміни, доби й т.д.) у цей час використовується впроваджена в 2002 р. комбінатом система зважування. Основу системи представляє спеціалізований контролер, що визначає вагу руди в скіпі по струму привода піднімальної установки й пов'язаний з диспетчером шахти телефонною парою на базі модемів GVC. Зв'язок ПЕОМ диспетчера комбінату з ПЕОМ диспетчерів шахт - модемна з використанням виділеної телефонної лінії й тих же модемів. На даний момент система має потребу в модернізації по наступних причинах:

- кліматика модемів (вони офісного виконання) вимагає їхнього підігріву в зимовий час;

- модеми й контролери, основу яких представляє застарілий мікропроцесор ADUQ 812, періодично «зависають» і для їхнього перезапуску в системі передбачені апаратно-програмні засоби;

- у системі не передбачені засоби блискавкозахисту, що іноді приводить до виходу з ладу мікропроцесорних засобів системи;

- телефонна пара також є слабким місцем системи.

В міру впровадження комплексної механізації й автоматизації виробничих процесів, оснащення шахт усе більш складною апаратурою керування, безупинно підвищуються вимоги до електропривода стаціонарних установок, як основних ланок створюваних автоматизованих систем керування технологічними процесами шахти. Удосконалювання електропривода не тільки веде до підвищення таких показників роботи установки, як продуктивність, якість продукції, к.к.д., надійність, але і впливає на конструкцію самих машин.

У зв'язку із чим, основні завдання роботи - це модернізація експлуатованої системи з метою усунення згаданих недоліків.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Технологічний процес роботи шахти «Криворізька»

Кривбас у радянські часи по обсягу видобутку руди посідав третє місце у світі. У цей час у сайтах Інтернету інформація про кількість відвантаженої руди, наприклад, за рік відсутня. Обсяг розвіданих запасів по вмісту заліза руди в Кривбасі становить 32 мільярда тонн. Тобто запасів криворізької руди досить на 3-5 сторіч. Вміст заліза в тонні руди 50-56,7%. Наприклад, шахта Жовтнева 56,4%, шахта Тернівська 56,5%. Промисловий обсяг запасів для цих шахт відповідно становить 7,8 і 14,5 млн. тонн.

Глибини очисних робіт для Кривбасу на сьогоднішній день 1300 м. Наприклад, для шахти Тернівська 1200 - 1125 і 1125-1050 метрів.

Однак, необхідно знати, що видобуток руди супроводжується серйозними екологічними наслідками. А саме: одна тонна руди дає 4-5 тонн відходів, в атмосферу викидається 10-11 кг шкідливих речовин. За рік із шахт відкачується 18-22 млн. тонн вод з мінералізацією 5-96 грам на літр.

Шахта «Криворізька». Шахта розташована в лежачому боці покладів першого Саксаганського шару. Стовбур шахти - круглого перетину, діаметром 8м у світлі кріплення, пройдено до глибини 680м і зданий в експлуатацію в 1958р. Річна виробнича потужність шахти 3млн. т по товарній руді й 500 тис. т по збідній. Стовбур обладнують двома піднімальними установками: скіповою, клітьовою. Скіпова піднімальна машина призначена для 20-тонних скіпів, що забезпечують видобуток заданої кількості руди.

Клітьовий підйом обладнаний двома двоповерховими клітьями, що дозволяє спускати в шахту 10-тонні вагонетки й електровози в зібраному виді. Для клітьового підйому прийнята біциліндроконічна піднімальна машина, така ж, як і для скіпового підйому.

Рудні поклади розкривають головним квершлагом, польовими штреками в лежачому боці й бортовими заїздами. Висота здвоєного поверху 140м із проміжним поверхом висотою 70м. На основному обрії обладнаний кільцевий

білястовбурний двір зі скіпової й клітьової галузями. Відкочування на основному обрії - човникове, кожен состав має два електровози.

На флангах родовища проходять вентиляційні стовбури діаметром 5.5м, які обладнані багатоканатними піднімальними машинами, установлюваними на копрі шахти. На поверхні поблизу устя вентиляційних стовбурів шахти встановлено по два потужних вентилятора. Крім того, на поверхні розташовані: надшахтний копер, клітьове й скіпове надшахтні будинки, бункера із дробильно-сортувальним корпусом, склад мокрої руди, машинний будинок з підстанцією, комбінат побутового обслуговування, котельня й інші спорудження.

Технологічний процес, включає почергове проходження обріїв зверху вниз. Для буравлення шпурів (близько 100) застосовують перфоратори й самохідні бурильні установки. У шпури закладається вибухова речовина. Після вибуху провітрюється, виробляється навантаження гірської маси й зведення кріплення. Гірське кріплення - штучне спорудження, яке зводиться в підземних виробітках для запобігання обвалення навколишніх порід і збереження необхідних розмірів поперечних перерізів виробітків.

Навантаження гірської маси в транспортні засоби відкаточного обрію здійснюються на вантажно-розвантажувальних пунктах, обладнаних вібролюками, віброживителями й перекидувача вагонеток.

1.2 Основні відомості про скіпову підйомну установку

Шахта «Криворізька» належить до ВАТ «Кривбасзалізорудком». Скіпова підйомна установка шахти «Криворізька» є головною (призначеною для транспортування корисних копалин), двохсудинною (оснащеною двома скіпами типу 2СДМ), багатоканатною системою (скіпи підвішені на восьми канатах, перекинутих через фрикційний шків), врівноваженою конструкцією з двома двигунами постійного струму. Загальний вигляд підйомної установки наведено на рис. 1.1. Привод органу навивки вапняки здійснюється безредукторним

електроприводом по системі Г-Д на основі двох тихохідних двигунів постійного струму.

Кінематична схема підйомної машини зображена на (рис. 1.2)

Силова схема підйомної установки виконана за системою генератор-двигун (Г-Д) з тиристорним збудженням. Живлення двох двигунів виконується від двох генераторів, з'єднаних за схемою Г-Д-Г-Д (рис. 1.3). В цьому з'єднанні якоря двигунів підключені через один с якорями генераторів. Напряга генераторів дорівнює напрузі електродвигунів. Таке з'єднання якорів генераторів і двигунів забезпечує зниження потенціалу головного кола відносно землі. Максимальний потенціал головного кола не перевищує напруги одного генератора, що має велике значення в процесі експлуатації.

Схема передбачає роботу с половинною продуктивністю підйомної установки при виході зі строю одного Приводного двигуна чи генератора.

Реверсування підйомної установки здійснюється реверсуванням току збудження при незмінному напрямку току якоря двигуна. Дані про електричні машини СПУ ш. «Криворізька» зведені у табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Електричні машини СПУ ш. «Криворізька» [1; 2]

Позиція	Тип	Номінальні параметри			
		Потужність, кВт	Напряга, В	Струм, А	Швидкість обертання, об/хв
1	2	3	4	5	6
Синхронний двигун					
СД ₁ -СД ₂	СДС 3290 12/10	5800	6000	650	375
Збуджувач синхронного двигуна					
В ₁ -В ₂	ПВ-101	55/5,7	110/30	500/190	1500

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6
Генератор постійного струму					
Γ_1 - Γ_2	П6000/375	5500/4620	1000/840	5500	375
Збуджувач генератора					
TB_1 - TB_2	ПЕА 4093-32А	1078	37	230	160
Двигун постійного струму					
D_1 - D_2	П2Ш-800-255	5000	930	5740	46
Збуджувач підйомного двигуна					
ВПД	ТВ-400Р1	176	440	40	
ВПД _{рез}	ПЕЛ 4093	37	230	160	

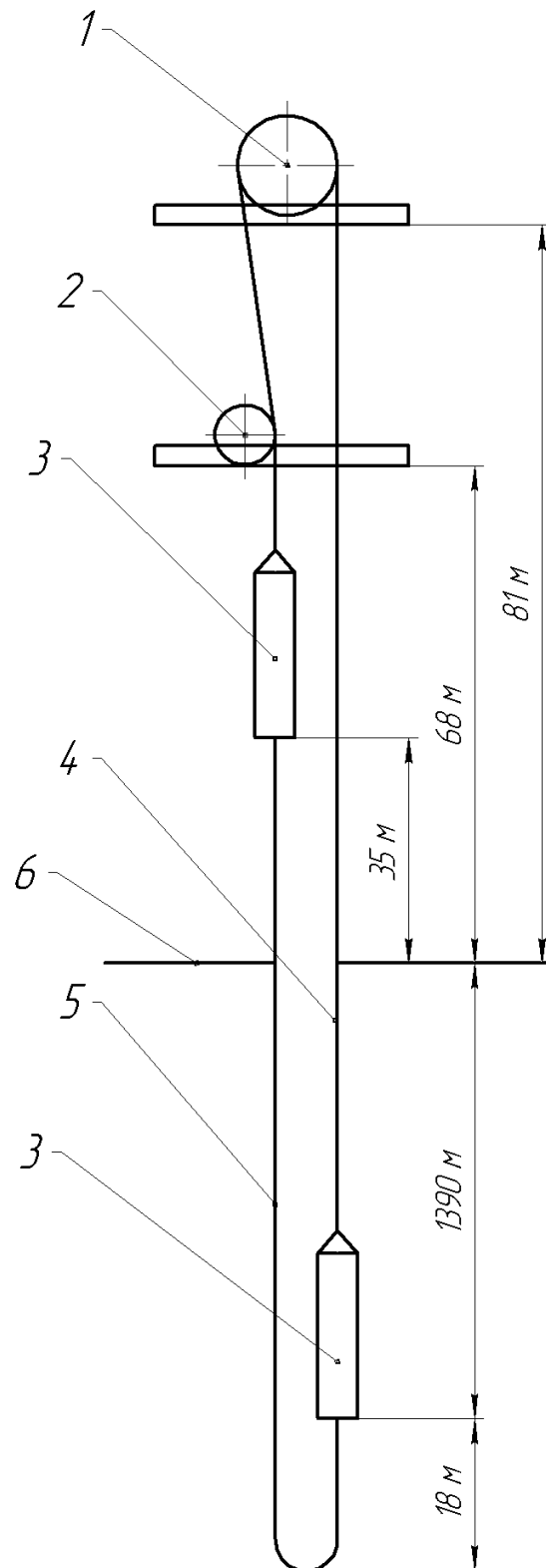


Рис. 1.1. Загальний вигляд підйомної установки

1 – шків тертя; 2 - відхиляючий шків; 3 – скіп; 4 – головний канат;

5 – хвостовий канат; 6 – “нульова” відмітка

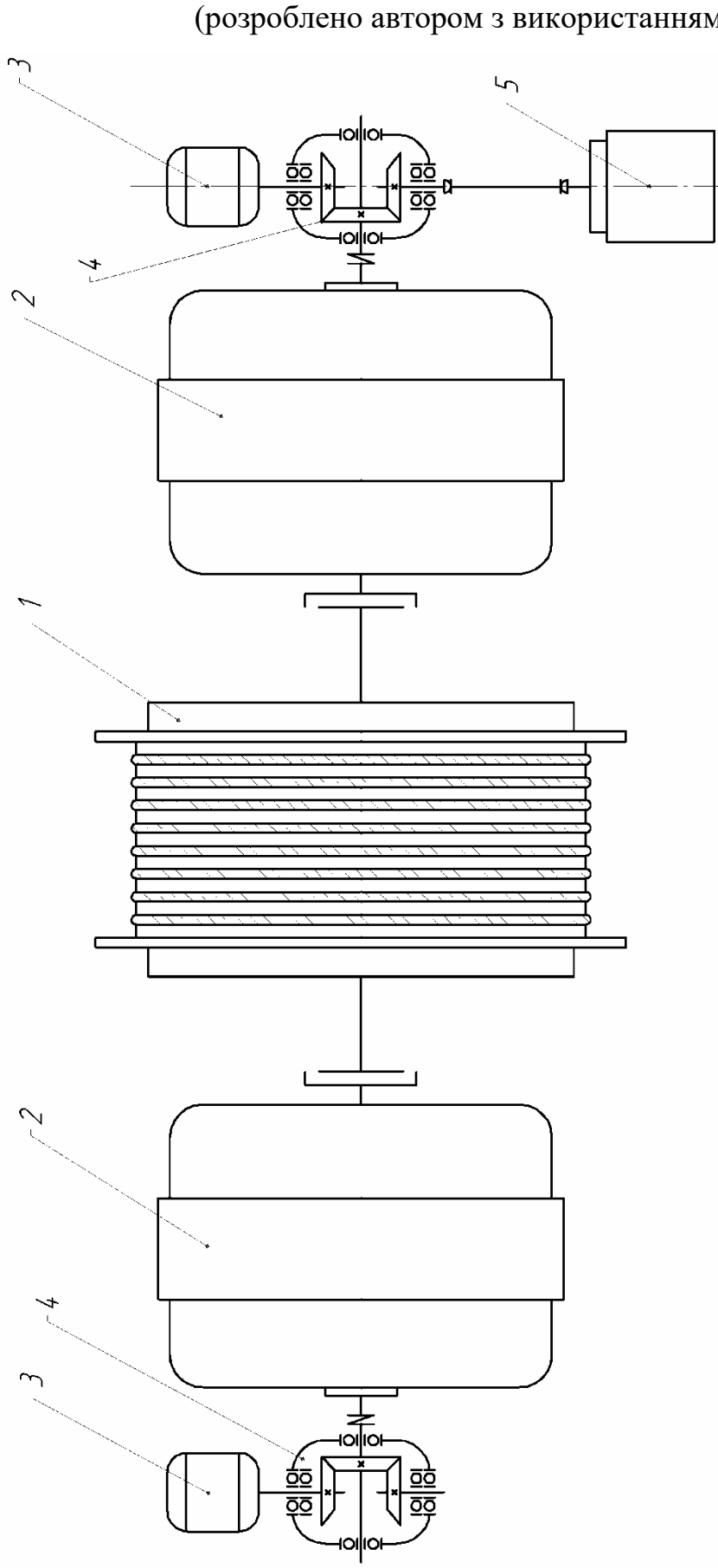


Рис. 1.2. Кінематична схема підійомної установки

1 – шків тертя; 2 – електродвигун; 3 – тахогенератор; 4 – редуктор; 5 - АЗК

(розроблено автором з використанням [2])

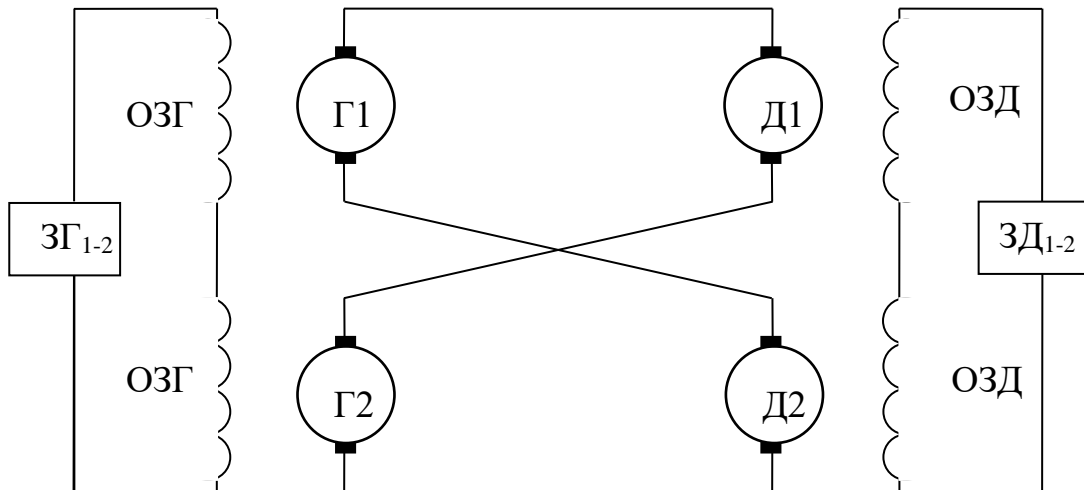


Рис.1.3. Силова схема приводу СПУ ш. «Криворізька»

(розроблено автором з використанням [2])

Основні відомості про скіпову підйомну установку шахти «Криворізька»:

Висота підйому, м.....	1425
Підйомна посудина	скіп 2СДМ
Ємність, м ³	21,5
Вантажопідйомність, кг	50000
Вага з причіпним пристроєм, кг.....	4750
Підйомна машина.....	ЦШ 5×8М
Діаметр барабана, мм.....	5000
Ширина барабана, мм.....	2200
Відстань між осями підйомних канатів, мм.....	300
Максимальне статичне на тяжіння вітки канатів, кН	2500
Маховий момент машини, кг	11000
Вага машини, кг.....	250000
Маховий момент відхиляючих шківів, кг	8640
Діаметр відхиляючих шківів, мм	3000
Канат підйомний.....	42-Г-В-Н-Ж-Т-1570(160) згідно вимог [3]
Діаметр підйомного канату, мм.....	42

Маса одного метру підйомного канату, кг/м	7,966
Розривне зусилля, кН	1320
Кількість, шт.....	8
Канат врівноважуючий.....	РТК-1-16,2-206*35/8 згідно вимог [3]
Розміри врівноважуючого канату.....	206×35мм
Маса одного метру врівноважуючого канату, кг/м.....	16,2
Кількість врівноважуючи канатів, шт.....	4
Максимальна швидкість підйому, м/с	13

1.3 Особливості експлуатації існуючої системи та постановка задачі випускної роботи

Вантажні підйоми обладнані в цей час в основному скіпами, що є сполучною ланкою між підземними й поверхневими установками в загальному технологічному ланцюзі видобутку корисної копалини й тому режим роботи пов'язаний з необхідною продуктивністю й визначається режимом роботи шахти. Режимом роботи піднімальної установки як технологічної ланки необхідно управляти через регулювання її продуктивності шляхом зміни:

- ступеня завантаження піднімальних посудин при незміненому числі циклів підйому в одиницю часу;
- паузи при незмінному інтервалі руху;
- інтервалу руху в кожному циклі при незмінній паузі.

Рудничні піднімальні установки, призначені для підйому корисних копалин працюють у певних технічних режимах. Кожен цикл складається з інтервалу руху (підйому, спуску) і паузи. В інтервал руху скіпової піднімальної установки ш. "Криворізька" входять періоди:

Розгальмовування, с.....	3,12
Розгін до сталого значення швидкості, с.....	22

Рух з постійною швидкістю, с.....	85
Уповільнення до швидкості дотягування, с.....	8
Рух зі швидкістю дотягування, с.....	7,5
Зупинка посудин у приймальних площадок шляхом стопоріння машини.	

Принцип роботи існуючого мікропроцесорного вимірника ваги руди (МВВ) складається у вимірі струму навантаження піднімальної установки в крапці переваги за умови сталості струму збудження двигуна.

Вага скіпа P визначається як:

$$P = k \cdot I_{я} \quad (1.1)$$

де k - коефіцієнт пропорційності, обумовлений експериментальним шляхом;

$I_{я}$ – струм якоря двигуна.

Інформаційний сигнал знімається із шунта, ввімкненого в коло тиристорного перетворювача - двигуна, які разом з обмотками збудження входять до складу силового устаткування піднімальної установки.

Це устаткування розташоване на відстані 20м від приміщення машиніста, де можна встановити контролер МВВ. Щоб виключити вплив перешкод і захистити встаткування, сигнал із шунта був гальванічно розв'язаний. Для цього використаємо чотирьохканальний перетворювач, що нормує, з індивідуальної гальванорозв'язкою каналів в 1500В:

Вхідна напруга, мВ.....	±75
Вихідна напруга, В.....	0..10
Смуга частот, кГц.....	3
Основна погрішність перетворення, %.....	±0,2..±0,5
Не лінійність, %.....	0,1
Додаткова погрішність не більше на 10°С; %.....	0,15
Придушення перешкоди загального виду, дБ (50) Гц.....	не менш 100
Напруга живлення, В.....	10..30
Діапазон робочих температур, °С.....	від мінус 10 до плюс 70

Споживана потужність, В.....0,3

Система побудована на контролері типу «КОМПАКТ-24». Для виключення зависання контролера вводиться сторожовий таймер і програма на одному з каналів контролера імпульсний канал частотою 1Гц. Відсутність цього сигналу протягом трьох секунд приводить до перезапуску контролера.

Вимір струму приводного двигуна й розрахунок ваги руди в скіпі виконується в момент, коли спрацьовує датчик переваги. Він активізується, коли скіп, який піднімають розходиться із тим, який опускають. При цьому струм приводного двигуна пропорційний масі руди.

Якщо є зв'язок із ПК диспетчера, то значення ваги скіпа передається в диспетчерську, а якщо зв'язок відсутній, то запам'ятовується в ОЗУ контролера. Так як приміщення диспетчера шахти, де встановлений ПК, розташовано на відстані близько 900м від приміщення машиніста, то для зв'язку з контролером використано модеми. Найбільш імовірна причина відсутності зв'язку - зависання модему. Якщо зв'язок відсутній більше 5 хвилин, контролер перезапускає модем, відключаючи його живлення, і повторно робить його ініціалізацію.

Всі технічні засоби МВВ розміщені в шафах, установлених на металоконструкціях у приміщеннях машиніста піднімальної установки. Також є можливість користувачам на комбінаті, розташованим на відстані до 16 км від шахти одержувати інформацію про кількість і вагу скіпів через модемний канал зв'язку.

Модем з боку диспетчера перезапускається вручну. Факт зависання модему визначається автоматично в ПК, при цьому ПК формує звуковий аварійний сигнал.

Функціональна схема існуючої системи автоматичного зважування руди наведено на рис. 1.4.

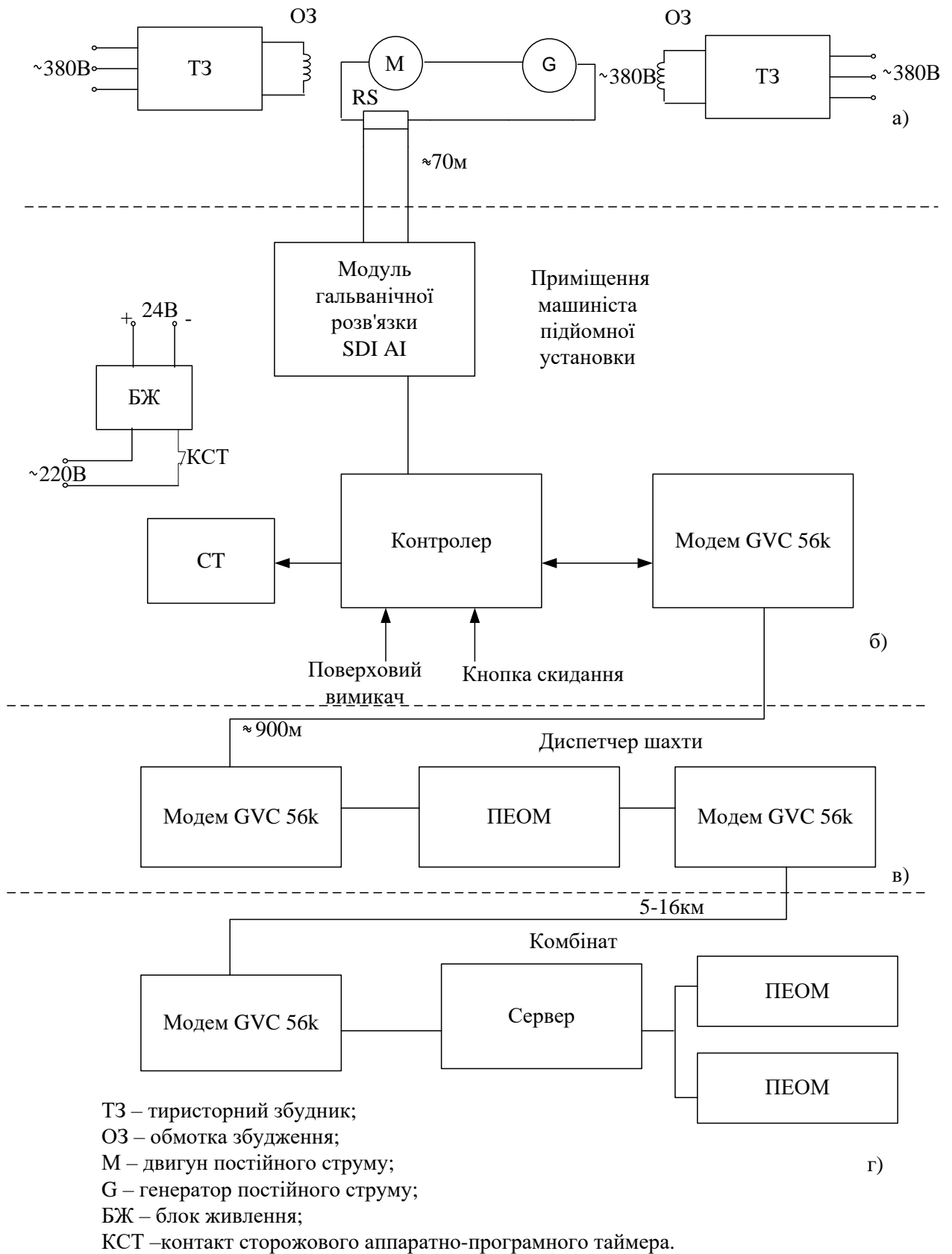


Рис.1.4. Функціональна схема існуючої системи автоматичного зважування руди

(розроблено автором з використанням [1; 11])

Технічні данні існуючого вимірника наведено нижче.

Контролер «КОМПАКТ24». Виробник - місто Олександрія.

Процесор

Центральний процесор ADUC812 - архітектури MCS-51.

Продуктивність - 1 млн. операцій у секунду.

Ємність пам'яті програм, Кбайт32

Ємність пам'яті даних, Кбайт.....8

Енергонезалежна пам'ять, байт.....640

Номінальна напруга живлення, В.....24

Діапазон живлячої напруги, В.....від 18 до 32

Порт дискретних входів призначений для уведення дискретних сигналів постійного струму.

Кількість каналів введення, шт.....16

Напруга гальванічного розв'язку, В.....1500

Напруга рівня «1»,В.....від 17 до 30

Напруга рівня «0»,В.....від 0 до 10

Номінальний вхідний струм, мА.....10

Порт дискретних виходів

Призначений для комутації сигналів постійного струму.

Кількість каналів, шт.....16

Напруга гальванічної розв'язки, В.....1500

Тип вихідного елемента - транзисторний ключ.

Комутуєма напруга, В.....не більше 32

Максимально комутуємий струм, А.....0,3

Порт клавіатури

Число каналів введення, шт.....16

Рівні вхідних сигналів відповідають рівням TTL логіки.

Порт цифро-аналогового перетворення

Кількість каналів, шт.2

Розрядність перетворення, біт	12
Час установлення вихідної напруги, не більше, мкс.....	6
Діапазон вихідних напруг, В.....	±10
Опір навантаження, не більше кОм.....	2
Погрішність перетворення, не більше %	1

Порт аналого-цифрового перетворення

Кількість каналів.....	2
Діапазон вхідних сигналів, В.....	±10
Розрядність АЦП, біт.....	12
Час перетворення АЦП, не більше, мкс.....	10
Вхідний опір, кОм не менш.....	100
Погрішність перетворення, не більше %.....	0,5

Порт RS 232

Число портів	2
Швидкість передачі по інтерфейсі RS 232, біт/сек.....	від 1200 до 19200
Потужність, споживана від джерела живлення, не більше Вт.....	3

Перетворювач сигналів з гальванічною ізоляцією SDI-AI:

Вхідний сигнал постійної напруги, мВ.....	±75
Нормований вихідний сигнал постійної напруги, В.....	від 0 до 10
Кількість каналів, шт.....	4
Основна наведена до діапазону перетворення погрішність,%.....	±0,25
Погрішність нелінійності, %.....	0,1

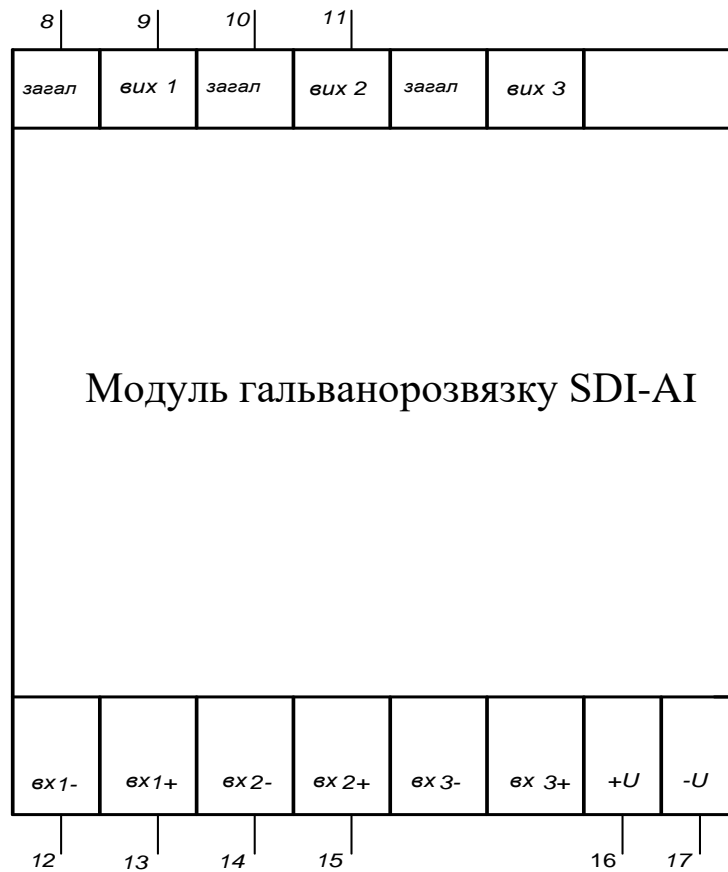


Рис.1.5. Модуль гальванічної розв'язки
(розроблено автором з використанням [1; 2])



Рис.1.6. Одноплатний контролер(позначення контактів)
(розроблено автором з використанням [1; 2; 11])

Час установлення вихідної напруги від 10% до 90%, мс.....1
 Вхідний опір не менш, кОм.....500
 Опір навантаження не менш, кОм.....5
 Вихідний опір не більше, Ом.....0,1
 Вхідні (локанально) і вихідні ланцюги гальванічно ізольовані між собою й живленням модуля.

Напруга гальванічної ізоляції, В.....1500
 Напруга живлення, В.....від 10 до 30
 Споживана потужність, Вт.....не більше 0,3

Умови експлуатації:

Робоча температура навколишнього повітря для модуля...від - 10 до + 60°C
 Відносна вологість,% при температурі +35°C.....98

Модем GVC 56k:

Стандарт зв'язку. V.90, K56Flex, V.34+, V.34,
 V.32bis, V.23, V.22, V.21, V.17,
 Протокол стиску: V.42bis/MNP5
 Протокол корекції помилок: V.42/MNP2-4
 Інтерфейс: RS232C
 FAX група: Group III Стандарт Send/Receive
 FAX набір команд: EIA/TIA-578Service Class 2
 Рівень передачі: - 11 dBm +/- 1 Db
 Чутливість приймача: -48 dBm
 UART: 16550 сполучимо
 Формат даних:300-115200 bps
 Живлення: 0.75
 Температура:0 to 55 градусів з(Operating)
 Caller ID: Так
 Pn: Виправлення 1.0a
 Speakerphone: повністюдуплексний з шумоподавленням.

Блок живлення МВВ (див. рис. 1.7):

Забезпечує подачу напруги постійного струму на всі елементи мікропроцесорного вимірника ваги. До складу входить трансформатор 220/24В, випрямляч, зібраний за мостовою схемою, дві мікросхеми стабілізатори напруги на 12 й 24 В. Індикація присутності напруг на 12 й 24 В світлодіодна.

Технічний опис сторожового таймера:

Сторожовий таймер призначений для виробітку сигналу «Скидання» контролера у випадку зависання останнього.

Принцип роботи таймера заснований на обробці сигналу «Робота», вироблюваного в контролері програмним шляхом. Сигнал «Робота» являє собою послідовність імпульсів частотою порядку 1 Гц. Після зникнення сигналу «Робота» (зависання контролера) приблизно через 2 секунди таймер відключає напругу живлення контролера на 10 секунд, що й приводить до виробітку сигналу «Скидання» у контролері і його перезапуску в момент подачі напруги живлення. Виробіток сигналу таймером приводить до розриву ланцюгів живлення контролера й модему нормально закритими контактами реле на час 10 секунд.

Одновібратор призначен для вироблення сигналу поверхневого вимикача, тривалістю 15 секунд. Необхідність тимчасового розширення сигналу поверхневого вимикача обумовлена можливістю втрати інформації контролером при його запуску.

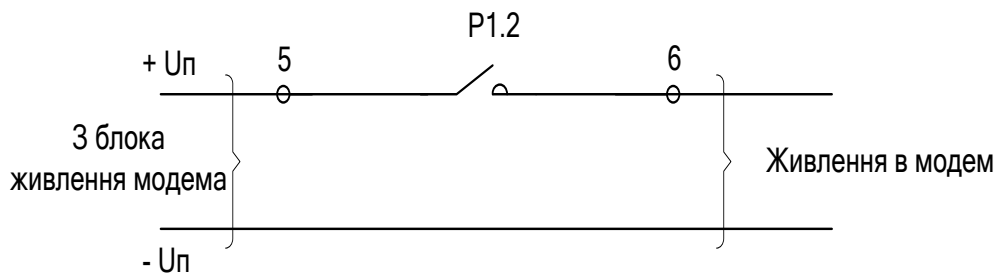
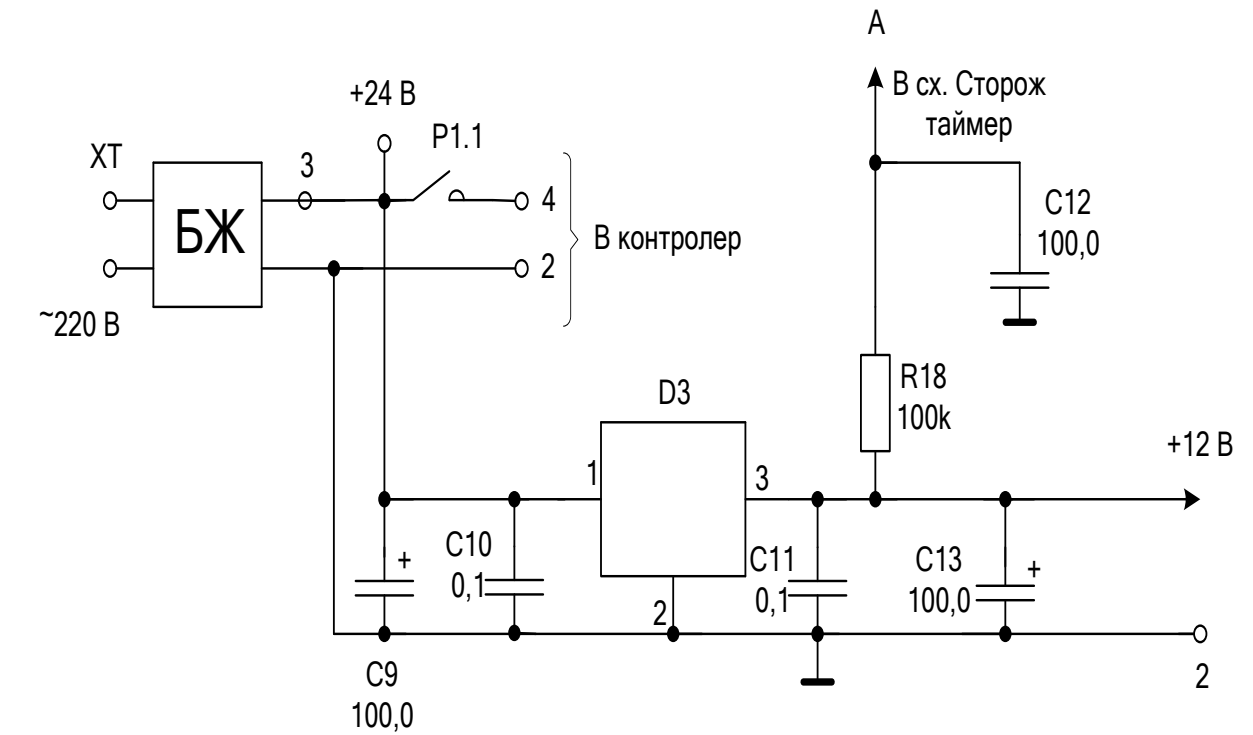
На схемі таймера призначення окремих вузлів наступне:

Vt1- для узгодження виходу контролера із входом таймера,

R2, C1, VD1, R4, R6 - ланцюг, що диференціює, для виробітку імпульсу по приходу переднього фронту сигналу «Робота»,

Д1.3 - формувач сигналу кола, що диференціює,

C2, R5 - диференціююче коло, для виробітку сигналу про факт розряду конденсатора в колі, що диференціює.



Мікросхема D3 :142 ЕН 8Б

Рис.1.7. Вузол живлення

(розроблено автором з використанням [1; 2; 11])

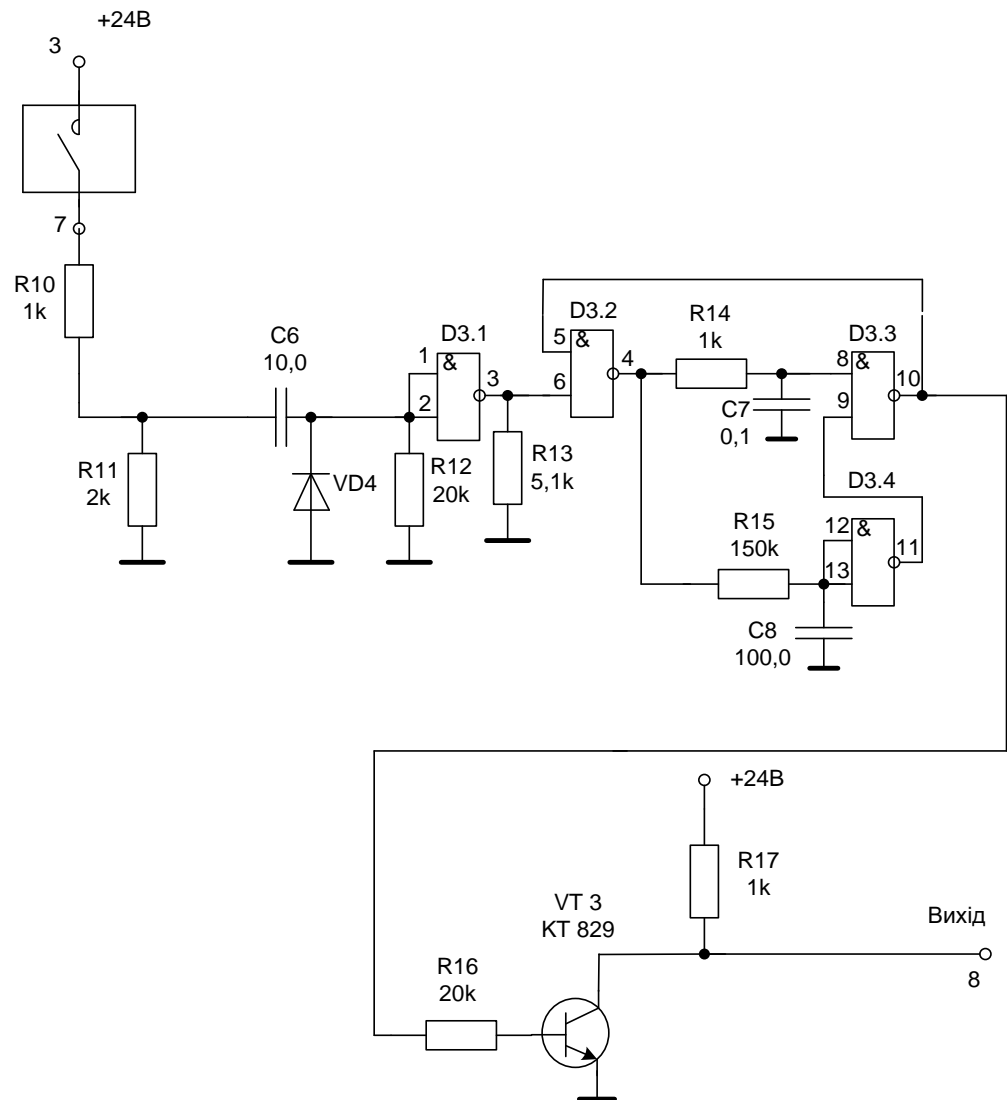


Рис.1.9. Вироблення сигналу поверхового вимикача
 (розроблено автором з використанням [1; 2; 11])

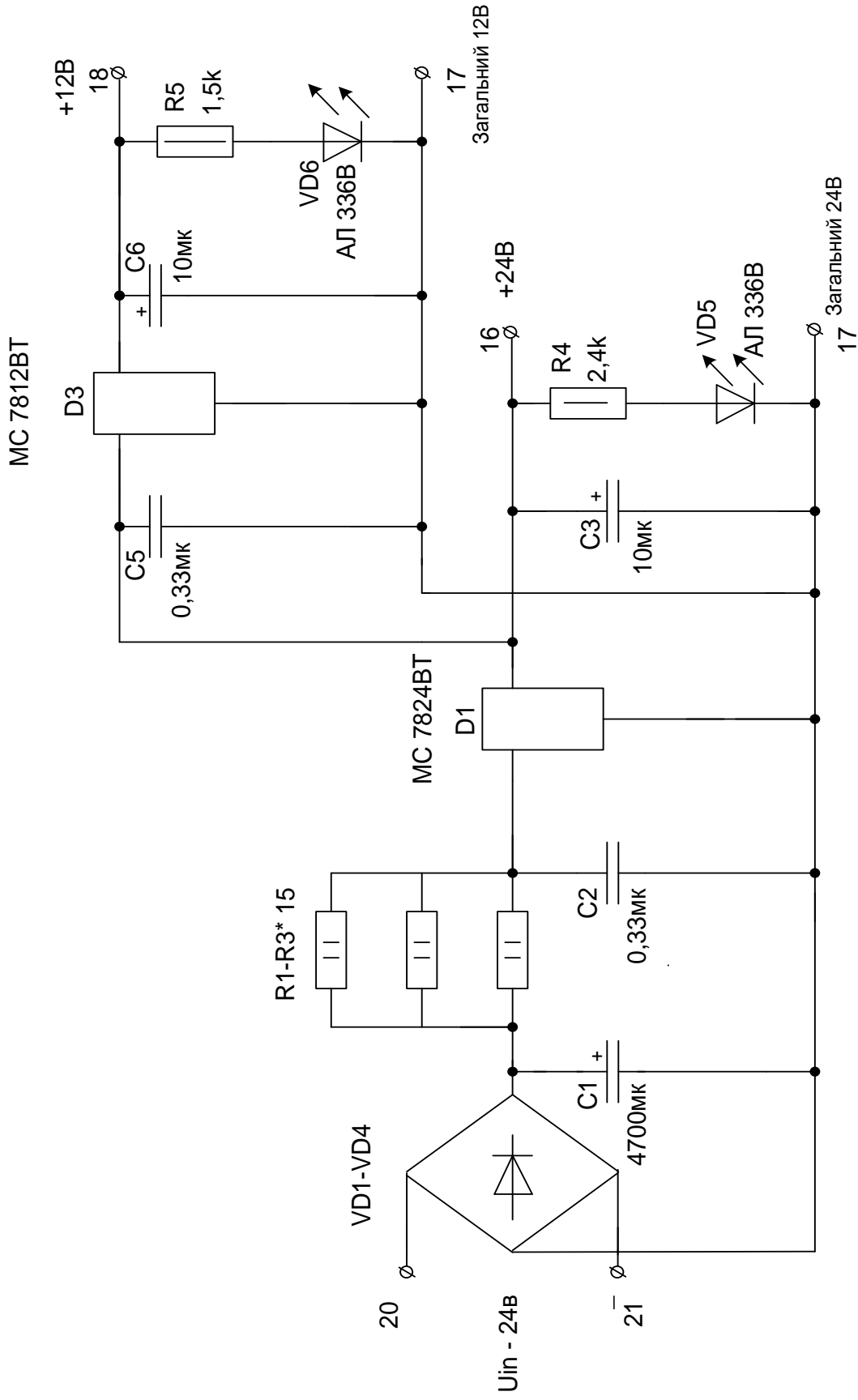


Рис. 1.10. Блок живлення МВВ . Схеми принципова

(розроблено автором з використанням [1; 2])

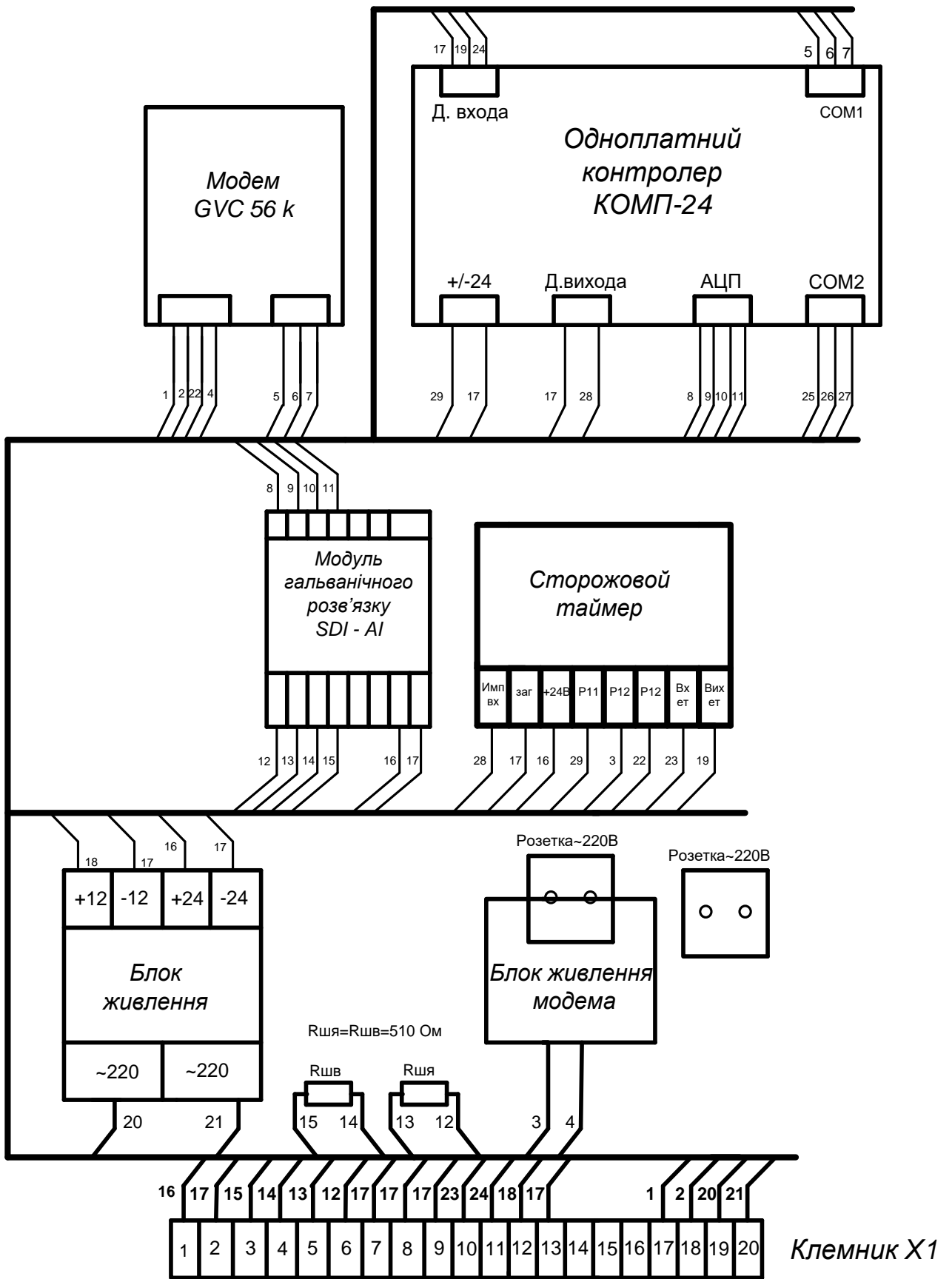


Рис.1.11. Принципова схема існуючого МВВ
(розроблено автором з використанням [1; 2;11])

Перелік компонентів МВВ

№	Пристрій	Характеристика	Виробник
1	Одноплатний контролер	Див. технічні дані	м.Олександрія, вул.Ушанського12/1
2	Модем	56к	www.vector.kharkov.com
3	Модуль гальванічної розв'язки	4 канали, вхід: +/- 75мВ, вихід: 0-10В, напруга гальванічної ізоляції 1500В.	ТОВ "Промстат", м. Київ, Шутова, 9
4	Блок живлення	Вхід: ~220В, Вихід: 12В, 24В, Ін 1.5А	ТОВ "АВТОМЕЛ"
5	Сторожовий таймер	Час виявлення зависання 3с	ТОВ "АВТОМЕЛ"

Недоліки існуючої системи вимірювання:

- система, введена в експлуатацію в 2002 р., використовуване обладнання морально застаріле;
- відсутня корекція ваги по реальному струму збудження;
- відсутня періодична корекція результатів зважування за обмірюваним значенням струму холостого ходу;
- кліматика модемів (вони офісного виконання), що вимагає їхнього підігріву в зимовий час;
- контролери, основу яких представляє застарілий мікропроцесор ADUC 812, і модеми періодично «зависають» і для їхнього перезапуску в системі передбачені апаратно-програмні засоби;
- у системі відсутні засоби блискавкозахисту, що іноді приводить до виходу з ладу мікропроцесорних засобів системи;
- телефонна пара також є слабким місцем системи.

Тому метою і завданням даної випускної роботи є розробка системи автоматичного управління шахтним скіповим підйомом та впровадження мікропроцесорного вимірювача ваги руди.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок системи управління скіповим підйомом

2.1.1 Розрахунок потужності і вибір електродвигуна, перетворювача і елементів силової частини

Потужність приводного двигуна підйомної установки визначатиметься з діаграми рушійних зусиль на валу барабана. Для складання діаграми рушійних зусиль необхідно визначити вагу поступально рушійних елементів підйомної системи, що рухаються і обертаються.

Вага поступально рушійних елементів підйомної машини, визначається за формулою:

$$G_{\text{пос}} = Q_{\text{тр}} + 2 \cdot Q_{\text{м}} + p \cdot n_{\text{г.к.}} \cdot H_0 + q \cdot n_{\text{х}} \cdot H_0 = 50000 \text{ кг} + 2 \cdot 47500 \text{ кг} + 8 \cdot 7,966 \text{ кг/м} \cdot 1489 \text{ м} + 4 \cdot 16,2 \text{ кг/м} \cdot 1502 \text{ м} = 152808,96 \text{ кг} \quad (2.1)$$

де $Q_{\text{тр}}$ - вага транспортуємого вантажу, $Q_{\text{тр}} = 50000$ кг.

$Q_{\text{м}}$ - вага скіпа, $Q_{\text{м}} = 47500$ кг.

$p, n_{\text{г.к.}}$ - відповідно вага погонного метра і кількість головних канатів.

$$p = 7,966 \text{ кг/м}, n_{\text{г.к.}} = 8$$

$q, n_{\text{х}}$ - відповідно вага погонного метра і кількість хвостових (врівноважуючих) канатів. $q = 16,2$ кг/м, $n_{\text{х}} = 4$.

H_0 - відпрацьовувана висота.

$$H_0 = H + h_{\text{к}} + h_{\text{зум}} = 1423 + 81 + 18 = 1502 \text{ м};$$

де $h_{\text{к}} = 46$ м. - висота копра.

$h_{\text{зум}} = 18$ м. - глибина зумпфа.

Вага елементів підйомної системи, що обертаються, визначається з формули:

$$G_{\text{і вр}} = G_{\text{і б}} + G_{\text{і як}} + G_{\text{і від.ш}} = 11000 \text{ кг} + 12800 \text{ кг} + 8640 \text{ кг} = 32440 \text{ кг} \quad (2.2)$$

де: $G_{\text{і б}}$ - приведена вага підйомної машини. $G_{\text{і б}} = 11000$ кг.

$G_{\text{і як}}$ - приведена вага якоря двох двигунів П2Ш – 800 – 255 – 7КУХЛ4.

Визначається з формули:

$$G_{\text{і як}} = \frac{2 \cdot GD^2}{D_B^2} = \frac{320000}{5^2} = 12800 \text{ кг} \quad (2.3)$$

де (GD^2) - приведена вага двигуна $(GD^2)=160000 \text{ кгм}^2$.

$D_{\text{і Б}}$ - діаметр барабана підйомної машини, $D_{\text{і Б}}=5 \text{ м}$.

$G_{\text{і від.ш.}}$ - приведена вага відхиляючих шківів $G_{\text{і від.ш.}}=8640 \text{ кг}$.

Маса елементів підйомної системи, що рухаються, приведена до кола жолоба шківа тертя, обчислюється з наступної формули:

$$m_i = \frac{G_{\text{пос}} + G_{\text{вр}}}{9,8} = \frac{334578,8 + 32440}{9,8} = 37412,722 \text{ кг} \quad (2.4)$$

де: $G_{\text{пос}}$ - вага поступально елементів підйомної машини, що рухаються.

$G_{\text{вр}}$ - вага елементів підйомної системи, що обертаються.

Рівняння динаміки підйому за умови врівноваженості системи, коли маса головних і хвостових канатів однакова ($p \cdot \pi_{\text{г.к}} = q \cdot nX$):

$$F_p = k \cdot Q_{\text{тр}} + m_i \cdot a \quad (2.4)$$

де k - коефіцієнт шахтних опорів. $k=1,15$;

$Q_{\text{тр}}$ - вага вантажу, що транспортується;

m_i - маса елементів підйомної системи, що рухаються;

a - прискорення.

За допомогою рівняння динаміки (2.4) обчислюються значення рушійної сили F_p в різні отрізки тахограми руху.

F_p в період рівномірного руху:

$$F_1 = 1,15 \cdot 50000 \text{ кг} = 57500 \text{ кг}$$

F_p в період розгону:

$$F_2 = 1,15 \cdot 50000 \text{ кг} + 37412,722 \text{ кг} \cdot 0,6 \text{ м/с}^2 = 79947,633 \text{ кг}$$

F_p в період уповільнення:

$$F_3 = 1,15 \cdot 50000 \text{ кг} - 37412,722 \text{ кг} \cdot 0,6 \text{ м/с}^2 = 35052,367 \text{ кг}$$

Еквівалентне рушійне зусилля на колі шківа тертя:

$$\begin{aligned}
 F_{\text{ЕКВ}} &= \sqrt{\frac{F_2^2 \cdot t_1 + F_1^2 \cdot t_2 + F_2^2 \cdot t_3 + F_1^2 \cdot t_4 + F_3^2 \cdot t_5 + F_1^2 \cdot t_6 + F_3^2 \cdot t_7}{T}} = \\
 &= \sqrt{\frac{79947,63^2 + 57500^2 \cdot 5 + 79947,63^2 \cdot 19,2 + 57500^2 \cdot 98,2}{169}} + \\
 &+ \sqrt{\frac{35052,36^2 \cdot 19,2 + 57500^2 + 35052,36^2 \cdot 18}{169}} = 55029,68 \text{ кг}
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

На основі розрахованих даних можна побудувати діаграму рушійних зусиль.

Еквівалентна потужність двигуна визначається по формулі:

$$P_{\text{ЕКВ}} = \frac{F_{\text{ЕКВ}} \cdot v_{\text{max}}}{102 \cdot 0,975} = \frac{55029,68 \text{ кг} \cdot 14,4 \text{ м/с}}{102 \cdot 0,975} = 7968 \text{ кВт} \tag{2.6}$$

де: v_{max} - максимальна швидкість руху скіпа. $v_{\text{max}}=14,4 \text{ м/с}$.

$F_{\text{ЕКВ}}$ - еквівалентне рушійне зусилля на колі шківа тертя.

$$F_{\text{ЕКВ}}=55029,68 \text{ кг.}$$

0,975 - коефіцієнт корисної дії безредукторного приводу.

На підставі отриманих даних можна визначити потужність приводного двигуна. Виходячи з умови, що $P_{\text{НОМ}} \geq P_{\text{ЕКВ}}=7968 \text{ кВт}$, вибираємо 2 приводних двигуни П2Ш – 800 – 255 – 7КУХЛ4.

Номинальне зусилля, що розвивається двома двигунами:

$$F_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{ДВ}} \cdot 102}{v_{\text{max}}} = \frac{10000 \text{ кВт} \cdot 102}{14,4 \text{ м/с}} = 70833,33 \text{ кг} \tag{2.7}$$

Короткочасне перевантаження двигуна складе:

$$\gamma_{\text{Розр}} = \frac{F_{\text{max}}}{F_{\text{НОМ}}} = \frac{79947,633 \text{ кг}}{70833,333 \text{ кг}} = 1,12 \tag{2.8}$$

де F_{max} - максимальне зусилля на барабані, яке дорівнює $F_2=79947,633 \text{ кг}$.

Оскільки $\gamma_{\text{розр}}=1,12 < \gamma_{\text{зад}}=2,5$, то двигуни П2Ш – 800 – 255 – 7КУХЛ4 підходять до установки.

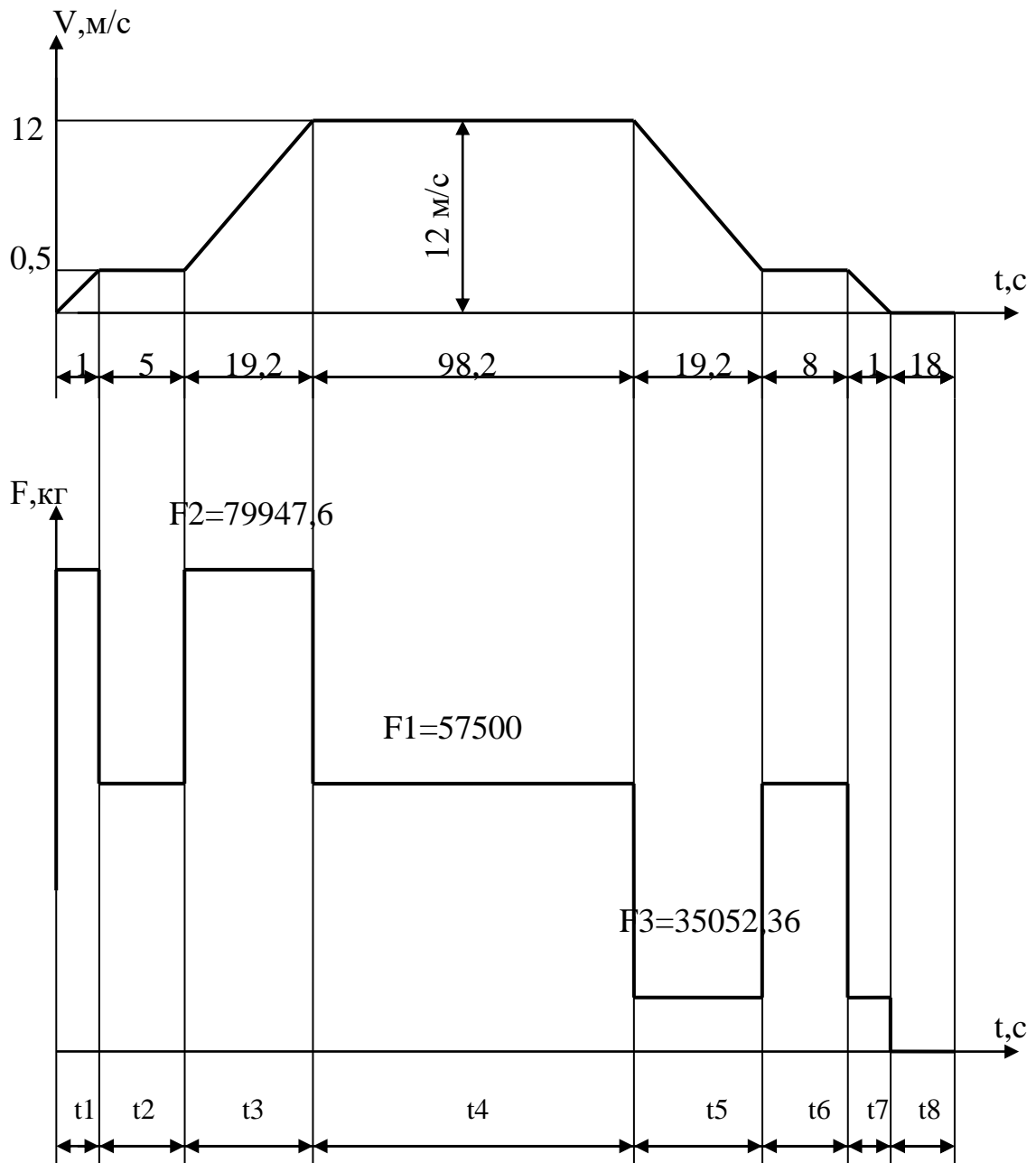


Рис.2.1. Діаграма рушійних зусиль
(розроблено автором)

Відповідно отриманої потужності двигуна і умов експлуатації проводимо вибір встановлююмого електрообладнання.

Характеристики встановлююмого електрообладнання:

Приводний двигун [4]

Тип.....П2Ш-800-255-7КУХЛ

Номінальна потужність, кВт.....5000

Номінальна напруга, В.....930

Номинальна швидкість обертання, об/хв.....	46
Номинальний струм якоря, А	5740
Активний опір двигуна $R_{дв}$, Ом	$21,9 \cdot 10^{-3}$
Активний опір якіра $R_{я}$, Ом	0,0149
Активний опір компенсаційної обмотки $R_{КО}$, Ом	0,006
Активний опір додаткових полюсів $R_{дп}$, Ом.....	0,006
Активний опір щіток $R_{щ}$, Ом	0,011
Індуктивність двигуна $L_{дв}$, Гн.....	$28,3 \cdot 10^{-3}$
Комплектний тиристорний електропривод КТЕУ 6300/930-1248334-500P	

УХЛ 4

Трансформатор ТДТП -8000/10У2

Мережна обмотка:

Потужність P_m , кВА.....8000

Напруга U_m , кВ.....6

Вентильна обмотка:

Напруга $U_{в.о.}$, В.....900

Струм $I_{в.о.}$, А
 2·2570 |

Перетворювач

Напруга U , В.....1050

Струм I , А
 2·3200 |

Витрати:

Потужність к.з. $P_{к.з.}$, Вт.....67000

Потужність х.х $P_{х.х.}$,Вт.....9800

Напруга короткого замикання $U_{к.з.}$, %.....6,3

Струм холостого ходу $I_{х.х.}$, %.....0,9

Кількість, шт
 2 |

Реактор:

Тип СРОСЗ-2000М УХЛ4.

Втрати у міді при I_n Р, Вт.....4000

Паралельне з'єднання обмоток реактора: $I_n=4000$ А, $L=0,2$ мГн.

Послідове з'єднання обмоток реактора: $I_n=2000$ А, $L=0,8$ мГн.

Кількість, шт	4
Вентильна секція.....	СВ 9134/1592
Кількість, шт	4
Агрегат тиристорний.....	ТПР9 – 500/460Р – УХЛ4
Номинальний струм I_n , А.....	500
Номинальна напруга U_n , В.....	460
Кількість, шт	2
Тахогенератор.....	ПТ – 42
Частота обертання n , хв. ⁻¹	200
Напруга, В.....	230
Струм якоря $I_{я}$, А	0,25
Напруга збудження $U_{зб}$, В.....	55
Струм збудження $I_{зб}$, А.....	1,1

2.1.2 Складання схеми заміщення, розрахунок статичних характеристик привода

Складемо схему заміщення силового кола (рис. 2.2).

Маючи схему заміщення можливо тепер розрахувати значення активного і індуктивного опорів якорного кола, а також інші параметри схеми.

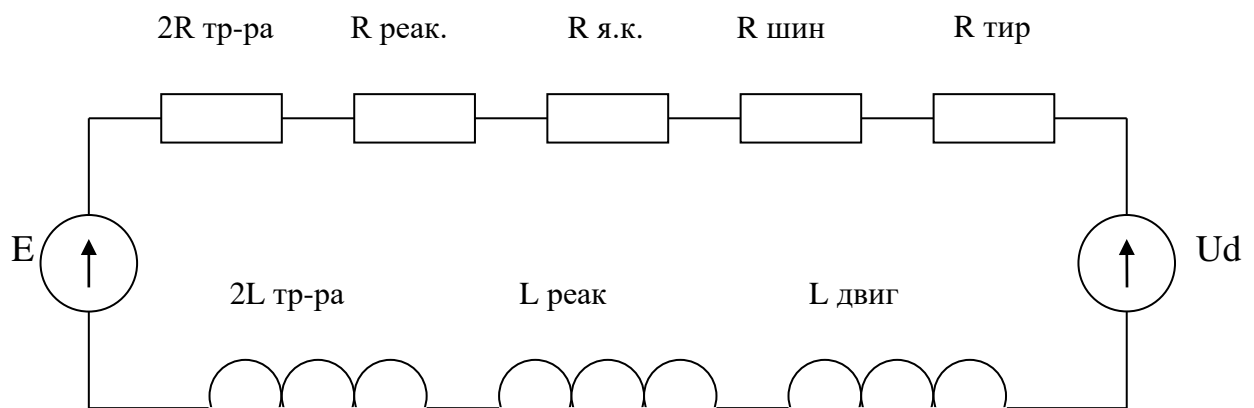


Рис. 2.2.Схема заміщення кола випрямленого струму
(розроблено автором)

Сумарне значення активного опору якірного кола:

$$R_{\Sigma} = 2 \cdot R_{\text{ТР}} + R_{\text{ДВИГ}} + R_{\text{РЕАК}} + R_{\text{ШИН}} + R_{\text{ТИР}}$$

де: $R_{\text{ТР}}$ - активний опір фази трансформатора; (2.9)

$R_{\text{РЕАК}}$ – активний опір (фази трансформатора) реактора;

$R_{\text{ДВИГ}} = 21,9 \cdot 10^{-3}$ Ом – активний опір якірного кола електродвигуна ,
приведений до робочої температури;

$R_{\text{ШИН}} = 0,0005$ Ом – активний опір шин , беремо з умови падіння напруги на них 2В;

$R_{\text{ТИР}}$ – опір від комутації тиристора;

$$R_{\text{тр-ра}} = \frac{\Delta P_{\text{к.з}}}{(S_{\text{Y}}/U_{2\phi} \cdot \sqrt{3})^2} \quad (2.10)$$

Де $\Delta P_{\text{кз}} = 67000$ Вт – втрати к.з.;

$S_{\text{H}} = 8000$ кВт – потужність трансформатора ;

$U_{2\phi} = 900$ В – напруга вентильної обмотки.

$$R_{\text{тр-ра}} = \frac{67000}{(8000 \cdot 10^3 / 900 \cdot \sqrt{3})^2} = 0,0025 \text{ Ом}$$

Активний опір сгладжуючого реактора:

$$R_{\text{реак}} = \frac{P_{\text{міді}}}{I_{\text{дн}}^2} \quad (2.11)$$

Де $P_{\text{міді}} = 4000$ Вт – втрати у міді;

$I_{\text{дн}} = 4000$ А – номінальний випрямлений струм.

$$R_{\text{реак}} = \frac{4000}{4000^2} = 0,00025 \text{ Ом}$$

Опір від комутації тиристорів:

$$R_{\text{тир}} = \frac{m \cdot X_{\text{тр}}}{2\pi} \quad (2.12)$$

де $m=12$ – пульсність схеми;

$X_{\text{ТР}}$ – індуктивний опір трансформатора;

Індуктивний опір трансформатора:

$$X_{\text{ТР}} = \frac{U_{\text{К}\%} \cdot U_{2\Phi}}{100 \cdot I_{2\text{Н}}} = \frac{U_{\text{К}\%} \cdot U_{2\Phi}}{100 \cdot (S_{\text{Н}} / U_{2\Phi} \cdot \sqrt{3})} \quad (2.13)$$

де $U_{\text{К}\%} = 6,3\%$ - напруга короткого замикання.

$$X_{\text{тр-ра}} = \frac{6,3 \cdot 900}{100 \cdot (8000 \cdot 10^3 / 900 \cdot \sqrt{3})} = 0,011 \text{ Ом}$$

Маючи $X_{\text{тр-ра}}$ за формулою (2.13) знаходимо опір від комутації тиристорів:

$$R_{\text{тир}} = \frac{12 \cdot 0,011}{2 \cdot 3,14} = 0,02 \text{ Ом}$$

Активний опір якрного кола електродвигуна, приведений до робочої температури:

$$R_{\text{я.к.}} = \beta \cdot (R_{\text{я}} + R_{\text{к.о.}} + R_{\text{д.п.}} + R_{\text{щ}}) \quad (2.14)$$

Де $\beta = 1,15$ – температурний коефіцієнт;

$R_{\text{я}} = 0,0149$ Ом – опір якоря;

$R_{\text{к.о.}} = 0,006$ Ом – опір компенсаційної обмотки;

$R_{\text{д.п.}} = 0,006$ Ом – опір додаткових полюсів;

$R_{\text{щ}} = 0,0011$ Ом – опір щіток.

$$R_{\text{я.к.}} = 1,15 \cdot (0,0149 + 0,006 + 0,006 + 0,0011) = 0,0319 \text{ Ом}$$

Підставляючи усі складові до формули (2.10) знайдемо сумарний опір:

$$R_{\Sigma} = 2 \cdot 0,0025 + 0,00025 + 0,0319 + 0,0005 + 0,02 = 0,05765 \text{ Ом}$$

Відповідно схеми заміщення (рис.2.2) сумарне значення індуктивності:

$$L_{\Sigma} = 2L_{\text{ТР-РА}} + L_{\text{ДВ}} + L_{\text{РЕАК}}$$

де $L_{\text{ТР-РА}}$ - індуктивність фази трансформатора;

$L_{\text{ДВ}} = 2,83 \cdot 10^{-3}$ Гн - індуктивність двигуна;

$L_{\text{РЕАК}} = 0,2 \cdot 10^{-3}$ Гн – індуктивність реактора.

Знаходимо індуктивність трансформатора:

$$L_{\text{тр-ра}} = \frac{X_{\text{тр-ра}}}{2\pi f} \quad (2.15)$$

де $f = 50$ Гц – частота мережі.

$$L_{\text{тр-ра}} = \frac{0,011}{2,3,1450} = 3,503 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$$

Підставляючи усі складові до формули (2.16) знайдемо сумарний індуктивний опір якірного кола:

$$L_{\Sigma} = 2 \cdot 3,503 \cdot 10^{-5} + 2,83 \cdot 10^{-3} + 0,2 \cdot 10^{-3} = 2,9836 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} \quad (2.16)$$

Маючи R_{Σ} і L_{Σ} знайдемо електромагнітну постійну часу якірного кола:

$$T_e = \frac{L_a}{R_a} = \frac{2,9836 \cdot 10^{-4}}{0,05767} = 0,0052 \text{ с} \quad (2.17)$$

Електромеханічна постійна часу:

$$T_M = J \frac{R_{\Sigma}}{K_e \cdot K_M} \text{ с} \quad (2.18)$$

де J – момент інерції механізму;

K_E – коефіцієнт ЕРС двигуна;

K_M – коефіцієнт моменту двигуна.

Номінальна частота обертання двигуна:

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} \text{ рад/сек} \quad (2.19)$$

де $n_H = 46$ об/хв.- номінальна швидкість обертання.

$$\omega_H = \frac{3,14 \cdot 46}{30} = 4,8 \text{ рад/сек}$$

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H} = \frac{5000 \cdot 10^3}{4,8} = 1041666,667 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (2.20)$$

Коефіцієнт ЕРС двигуна:

$$K_e = \frac{U_H - I_H \cdot R_{\text{я.к.}}}{\omega_H} \quad (2.21)$$

де $U_H = 930$ В – номінальна напруга двигуна;

$I_H = 5740$ А – номінальний струм двигуна.

$$K_e = \frac{930 - 5740 \cdot 0,0319}{4,8} = 155,603 \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{рад}}$$

Коефіцієнт моменту двигуна:

$$K_M = \frac{P_H}{\omega_H \cdot I_H} = \frac{5000 \cdot 10^3}{4,8 \cdot 5740} = 181,48 \text{ В} \cdot \text{с} \quad (2.22)$$

Момент інерції двигуна:

$$J = 0,0015 \cdot M^{1,5} = 0,0015 (104166,667)^{1,5} = 50429,47 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (2.23)$$

Підставляючи усі складові до формули (2.18) знайдемо електромеханічну постійну часу:

$$T_M = 50429 \frac{0,05765}{155,603 \cdot 181,48} = 0,103 \text{ с}^{-1} \quad (2.24)$$

Розрахувавши усі складові схеми заміщення, можливо тепер знайти статизм розімкнутої системи; з діапазоном $D=5$.

Просадка швидкості:

$$\Delta \omega_c = \frac{I_H \cdot R_a}{K_E} = \frac{5740 \cdot 0,05764}{155,603} = 2,126 \text{ с}^{-1}$$

$$\Delta \omega_c = \frac{M_H \cdot R_{яа}}{K_e \cdot K_M} = \frac{1041666,667 \cdot 0,0319}{155,603 \cdot 181,48} = 1,177 \text{ с}^{-1} \quad (2.25)$$

Статизм для верхньої характеристики:

$$\Delta = \frac{\Delta \omega_c}{\omega_0} \cdot 100\% \quad (2.26)$$

де ω_0 – швидкість холостого ходу

$$\omega_0 = \frac{U_H}{K_E} = \frac{930}{155,603} = 5,977 \text{ с}^{-1} \quad (2.27)$$

Маючи ω_0 , знайдемо по (2.27) Δ :

$$\Delta = \frac{1,178 \cdot 100}{5,977} = 19,7\%$$

Статизм для нижньої характеристики:

$$\Delta^* = \Delta \cdot D = 19,7 \cdot 5 = 98,54\% \quad (2.28)$$

98,54% - дуже високий, і не може задовольнити вимогам статичної похибки. Схема потребує корекції.

Визначимо параметри жорсткого зворотного зв'язку за швидкістю, для системи стабілізації швидкості забезпечуючої похибку регулювання або статизм в замкнутій системи с $D=5$ не більше 0,5%.

В якості датчика швидкості використовуємо тахогенератор постійного струму ПТ – 42 з наступними даними:

Частота обертання n , хв. ⁻¹	200
Напруга U , В.....	230
Струм якоря $I_{я}$, А	0,25
Напруга збудження $U_{зб}$, В.....	55
Струм збудження $I_{зб}$, А.....	1,1

Максимальний коефіцієнт форсування замкнутої системи:

$$\frac{U_{ЗАВ.ЗАМКН.}}{U_{ЗАВ.РОЗІМКН.}} = K_{\text{ФОРСИР.}} \leq 2 \quad (2.29)$$

Знаходимо коефіцієнт системи:

$$K_{\text{ПОТРІБ.}} = \frac{\Delta_P}{\Delta_3^*} \cdot D - 1$$

$$\text{або:} \quad K_{\text{ПОТРІБ.}} = K_{\text{ТП}} \cdot K_{\text{ДВ}} \cdot K_{\text{Т.Г.}} \cdot K_{\text{Д.Н.}} \quad (2.30)$$

де $K_{\text{ТП}}$ - коефіцієнт перетворювача;

$K_{\text{ДВ}}$ – коефіцієнт двигуна;

$K_{\text{Т.Г.}}$ – коефіцієнт тахогенератора;

$K_{\text{Д.Н.}}$ – коефіцієнт дільника напруги.

$$K_{\text{ПОТРІБ.}} = \frac{19,7}{0,5} \cdot 5 - 1 = 196$$

Знаходимо з (2.30) коефіцієнт дільника напруги:

$$K_{\text{Д.Н.}} = \frac{K_{\text{ПОТРІБ.}}}{K_{\text{Т.П.}} \cdot K_{\text{ДВ}} \cdot K_{\text{Т.Г.}}} \quad (2.31)$$

Коефіцієнт двигуна:

$$K_{\text{ДВ}} = \frac{1}{K_E} = \frac{1}{155,603} = 0,0064 \quad (2.32)$$

Коефіцієнт тахогенератора:

$$K_{Т.Г.} = \frac{U_{Н.Т.Г.}}{\omega_{Н.Т.Г.}} = \frac{230}{200 \cdot \frac{3,14}{30}} = 10,987 \quad (2.33)$$

Щоб знайти $K_{Т.П.}$ потрібно побудувати характеристики $U_d=f(\alpha)$, $U_y=f(\alpha)$.

Характеристика керування багатофазного перетворювача має вид $U_d=f(\alpha)$, при його роботі на незкінченно велику індуктивність і є косинусною функцією:

$$U_d = U_{dm} \cdot \cos \alpha \quad (2.34)$$

$$\text{де } U_d = U_{2Л ТР-РА} \cdot K_{СХ} \cdot \cos \alpha \quad (2.35)$$

де $U_{2Л ТР-РА} = 930 \text{ В}$ – вторинна лінійна напруга трансформатора.

$K_{СХ} = 1,35$ – коефіцієнт трьохфазної мостової схеми.

Потім маємо:

$$U_d = 930 \cdot 1,35 \cdot \cos \alpha = 722,25 \cdot \cos \alpha$$

Побудуємо залежність $U_d = f(\alpha)$.

Таблиця 2.1

Залежність $U_d = f(\alpha)$

Кут $\alpha, ^\circ$	0	15	30	45	60	75	90
Напруга $U_d, \text{В}$	1255,5	1212,7	1087,29	887,77	627,75	324,94	0

Побудуємо регулюючу характеристику перетворювача.

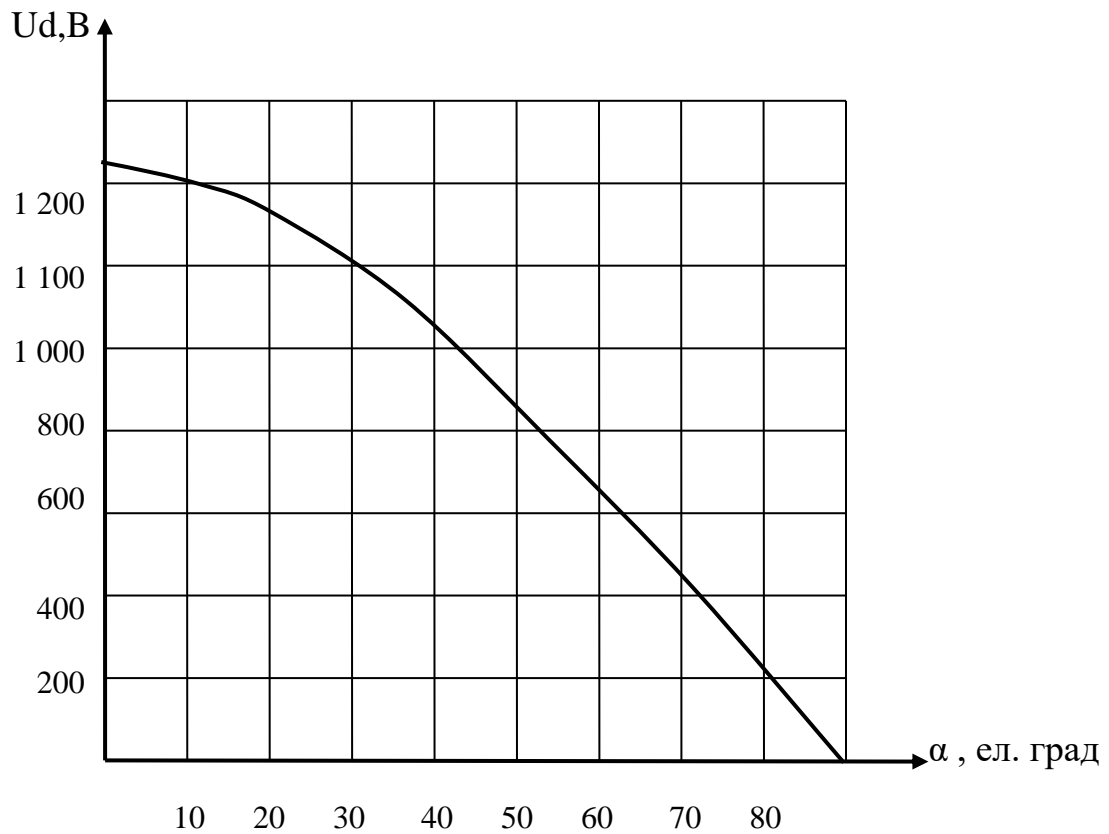


Рис. 2.3. Регулююча характеристика перетворювача
(розроблено автором)

Побудуємо залежність $U_y = f(\alpha)$.

Таблиця 2.2

Залежність $U_y = f(\alpha)$

Кут $\alpha, ^\circ$	0	15	30	45	60	75	90
Напруга $U_y, В$	12	10	8	6	4	2	0

Побудуємо залежність $U_y = f(\alpha)$.

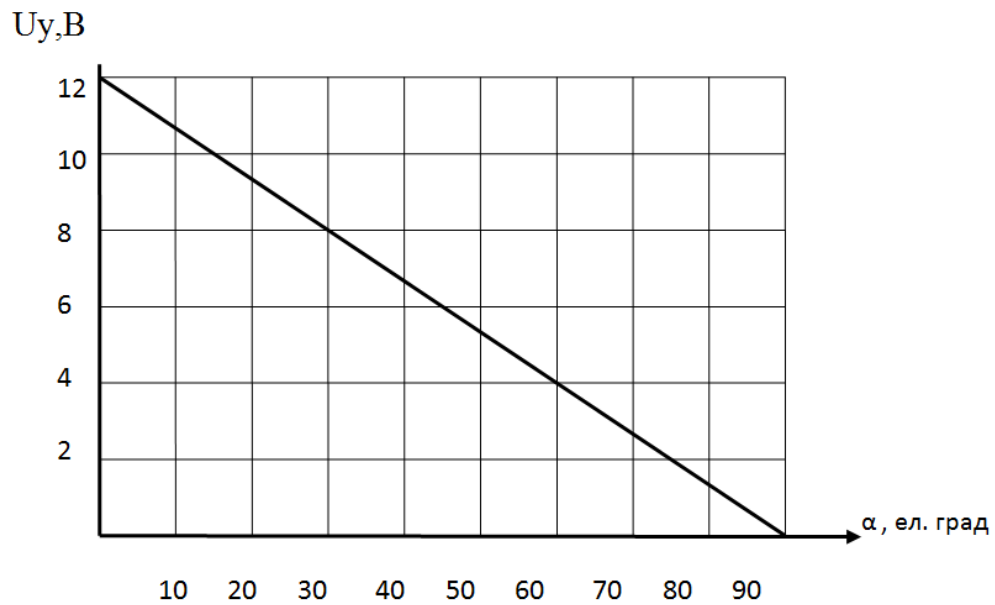


Рис. 2.4.Графік залежності $U_y=f(\alpha)$

(розроблено автором)

Для отримання характеристики керування у вигляді $U_d=f(U_y)$ використовуємо рисунки (рис. 2.3) і (рис. 2.4).

Передаточний коефіцієнт перетворювача, як ланки системи керування знаходимо за формулою:

$$K_{\text{ТП}} = \frac{\Delta U_d}{\Delta U_y} \quad (2.36)$$

Характеристика керування приведена на (рис.2.5).

Розділяємо графік на три ділянки і визначаємо коефіцієнт перетворювача.

$$K_{\text{ТП}}^1 = \frac{324,94}{2} = 162,47$$

$$K_{\text{ТП}}^2 = \frac{887,77 - 324,94}{6 - 2} = 140,7$$

$$K_{\text{ТП}}^3 = \frac{1255,5 - 887,77}{12 - 6} = 61,288$$

$$K_{\text{ТП}} = \frac{162,47 + 140,7 + 61,288}{3} = 121,48$$

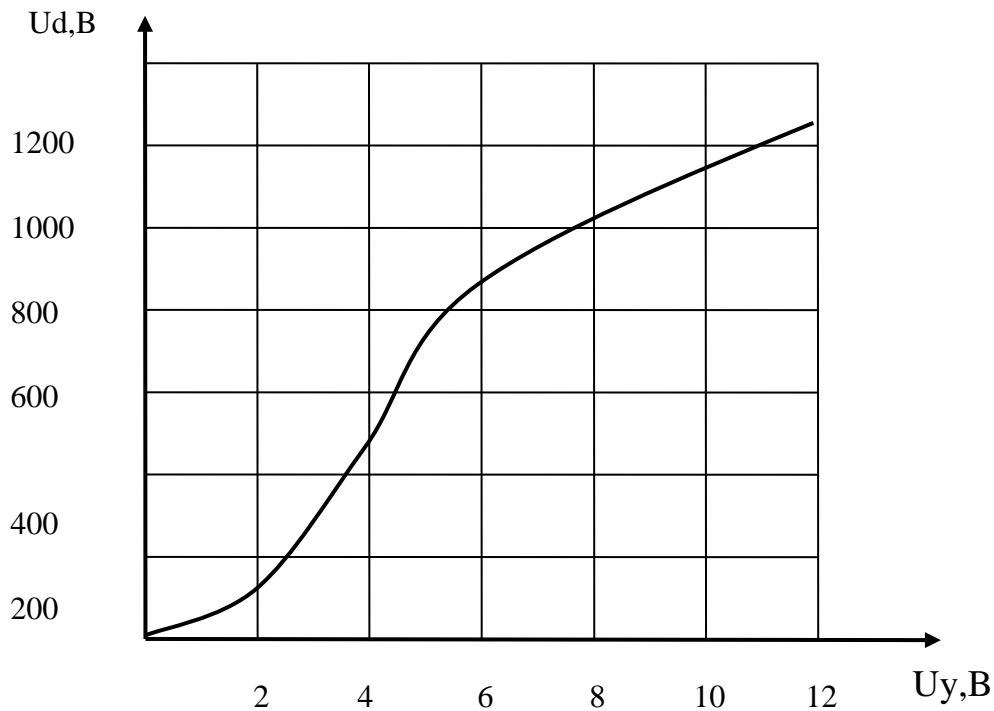


Рис. 2.5. Характеристика керування перетворювачем
(розроблено автором)

Маючи усі складові за формулою (2.24) знаходимо коефіцієнт дільника напруги.

$$K_{\text{д.н.}} = \frac{196}{121,48 \cdot 0,0064 \cdot 10,987} = 22,95$$

Бачимо, що дільник напруги повинен підсилювати сигнал. Таким чином, виконання заданих умов у нашому варіанті не можливо оскільки добитися потрібного підсилення без додаткового підсилювача неможливо. Структурно вирішується це питання наступним чином: на вході тиристорного перетворювача ставиться електронний підсилювач з відповідним коефіцієнтом підсилення.

$K_{\text{ПОТРІБ}}$ буде складатися з:

$$K_{\text{ПОТРІБ}} = K_{\text{Е.П.}} \cdot K_{\text{Т.П.}} \cdot K_{\text{ДВ}} \cdot K_{\text{Т.Г.}} \cdot K_{\text{Д.Н.}} \quad (2.37)$$

Приймаємо $K_{\text{ЕП}} = 100$, тоді $K_{\text{Д.Н.}} = 0,2295$

Розрахунок дільника напруги.

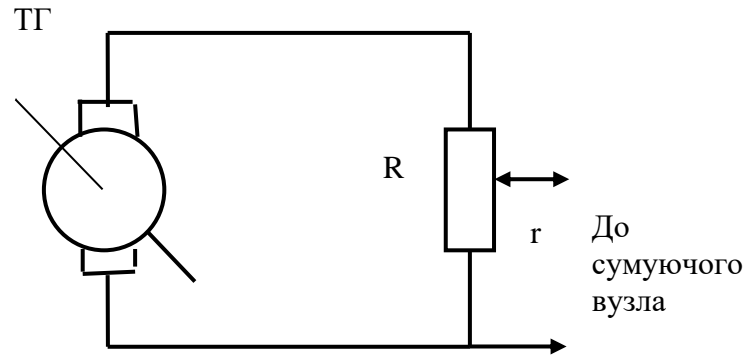


Рис. 2.6. Схема підключення дільника напруги
(розроблено автором)

Приймаємо, що у нормальному режимі роботи:

$$P_{Т.Г.} = (0,7 \div 0,8) \cdot P_{НТ.Г}$$

де $P_{НТ.Г} = 42$ Вт – номінальна потужність тахогенератора.

$$P_{Т.Г.} = 0,75 \cdot 42 = 31,5 \text{ В}$$

Напруга тахогенератора, що розвивається при номінальній швидкості двигуна:

$$U_{Т.Г.} = 230 \text{ В}$$

Тоді струм тахогенератора буде:

$$I_{ТГ} = \frac{P_{ТГ}}{U_{ТГ}} = \frac{31,5}{230} = 0,137 \text{ А} \quad (2.38)$$

Опір дільника напруги буде:

$$R_{дн} \geq \frac{U_{ТГ}}{I_{ТГ}} = \frac{230}{0,137} = 1678,8 \text{ Ом} = 1,68 \text{ кОм}$$

Приймаємо у якості дільника напруги проволочний резистор типу ПЕВ-8 з опором $R=2$ (кОм).

Коефіцієнт підсилення замкненої системи по керуючому збуренню:

$$\begin{aligned} K_3^{КЗ} &= \frac{K_{ЕП} \cdot K_{ТП} \cdot K_{ДВ}}{1 + K_{ЕП} \cdot K_{ДВ} \cdot K_{ТП} \cdot K_{ТГ} \cdot K_{дн}} = \\ &= \frac{100 \cdot 121,48 \cdot 0,0064}{1 + 100 \cdot 0,0064 \cdot 121,48 \cdot 10,987 \cdot 0,2295} = 0,395 \end{aligned} \quad (2.39)$$

Швидкість холостого ходу $\omega_0 = 5,977 \text{ c}^{-1}$. Для отримання цієї швидкості у розімкненій системі необхідно мати значення $U_{\text{з.розімкн}}$:

$$U_{\text{з.розімкн}} = \frac{\omega_0}{K_{\text{Е.П}} \cdot K_{\text{Т.П}} \cdot K_{\text{Д.В}}} = \frac{5,977}{100 \cdot 121,48 \cdot 0,0064} = 0,077 \text{ В}$$

У замкнутій системі необхідно отримати таку ж саму швидкість:

$$U_{\text{з.ЗАМК}} = \frac{\omega_0}{K_3^{\text{КЗ}}} = \frac{5,977}{0,395} = 15,13 \text{ В}$$

Тобто
$$K_{\text{форс}} = \frac{U_{\text{зав.замкн}}}{U_{\text{зав.розімкн}}} = \frac{15,13}{0,077} = 196,49 \gg 2$$

Видно, що $K_{\text{форс}}$. Набагато вище заданого коефіцієнта форсування.

Таким чином, вихідний вузол повинен витримати 196 кратне форсування, що значно перевищує вимоги. Саме просте рішення здійснити шунтування сумуючого вузла нелінійним опором, наприклад стабілітронами, рівень нечутливості яких вибирають на рівні:

$$U_0 = U_{\text{КЕРmax}} \leq U_{\text{з.РОЗІМК}} \cdot K_{\text{форс.доп}} = 0,077 \cdot 2 = 0,15 \text{ В}$$

Вибираємо стабілітрони на напругу 0,15 В.

Таким чином, за допомогою вище описаних технічних рішень вдалося отримати статизм не вище 0,5% у замкнутій системі, що відповідає вимогам до електроприводу шахтних скіпових підйомних установок по системі ТП-Д.

2.1.3 Функціональна схема електроприводу ШПУ

Якорі двигунів ШПУ живляться за системою ТП-Д, а обмотки збудження одержують живлення від збудника. Бажаний технологічним процесом режими роботи приводу забезпечуються системою управління приводу ШПУ, в яку включений і командоконтролер.

Оскільки частоту обертання двигуна постійного струму можна регулювати як за рахунок напруги що підводиться до якоря, так і шляхом зміни магнітного потоку, то система має вузол управління напругою, впливаючу на

джерело енергії якорів двигунів, і вузол управління збудженням, впливаючий на обмотки збудження двигунів. Необхідний швидкісний режим двигунів забезпечується командоконтролером, впливаючим через систему управління на зміну напруги або магнітного потоку двигунів.

Як вже наголошувалося, робота ШПУ характеризується піковими навантаженнями в динамічних режимах. Для обмеження максимальної сили струму в системі електроприводу ШПУ служить регулятор навантаження, який досягши максимального струму запобігає подальшому його зростанню.

Система управління тиристорний перетворювач-двигун постійного струму будується за принципом підлеглого регулювання. Живлення кола якоря двигуна здійснюється від неререверсивного перетворювача.

На (рис.2.7) представлена функціональна схема електроприводу. Канатоведучий шків приводиться в обертання двома індивідуальними електродвигунами М1 і М2. Якорі двигунів одержують живлення від неререверсивних тиристорних перетворювачів ТП1, ТП2, а обмотки збудження ОЗ1М, ОЗ2М двигунів – від реверсивних тиристорних перетворювачів ТПЗ1, ТПЗ2.

Управління напругою якорів двигунів згідно технологічного процесу здійснюється вузлами ПУНЯ1, ПУНЯ2, а управління збудженням двигунів забезпечуються вузлами ПУЗ1, ПУЗ2. Сигнали, формовані у вузлах управління, поступають на управляючі електроди тиристорних агрегатів, змінюючи необхідним чином величину вихідної напруги, і як наслідок – швидкість обертання робочих двигунів.

За допомогою сильсинного апарату СКА оператор задає необхідний режим роботи. Сам процес підйому здійснюється автоматично, за допомогою апаратури автоматичного управління, яка входить як складова частина у вузли управління. Апаратура автоматики містить різні датчики, підсилувачі, регулятори і т.п.

Схема автоматизованого електроприводу ШПУ містить схему регулювання напруги двигуна; регулювання магнітного потоку; обмеження максимальної сили струму двигуна ВОС.

Вузол обмеження струму ВОС оберігає двигун від перевантаження, обмежуючи струм якоря $I_{\text{я}}$ відповідно до перевантажувальної здатності двигуна. Схема містить також вузол вирівнювання навантажень ВВН.

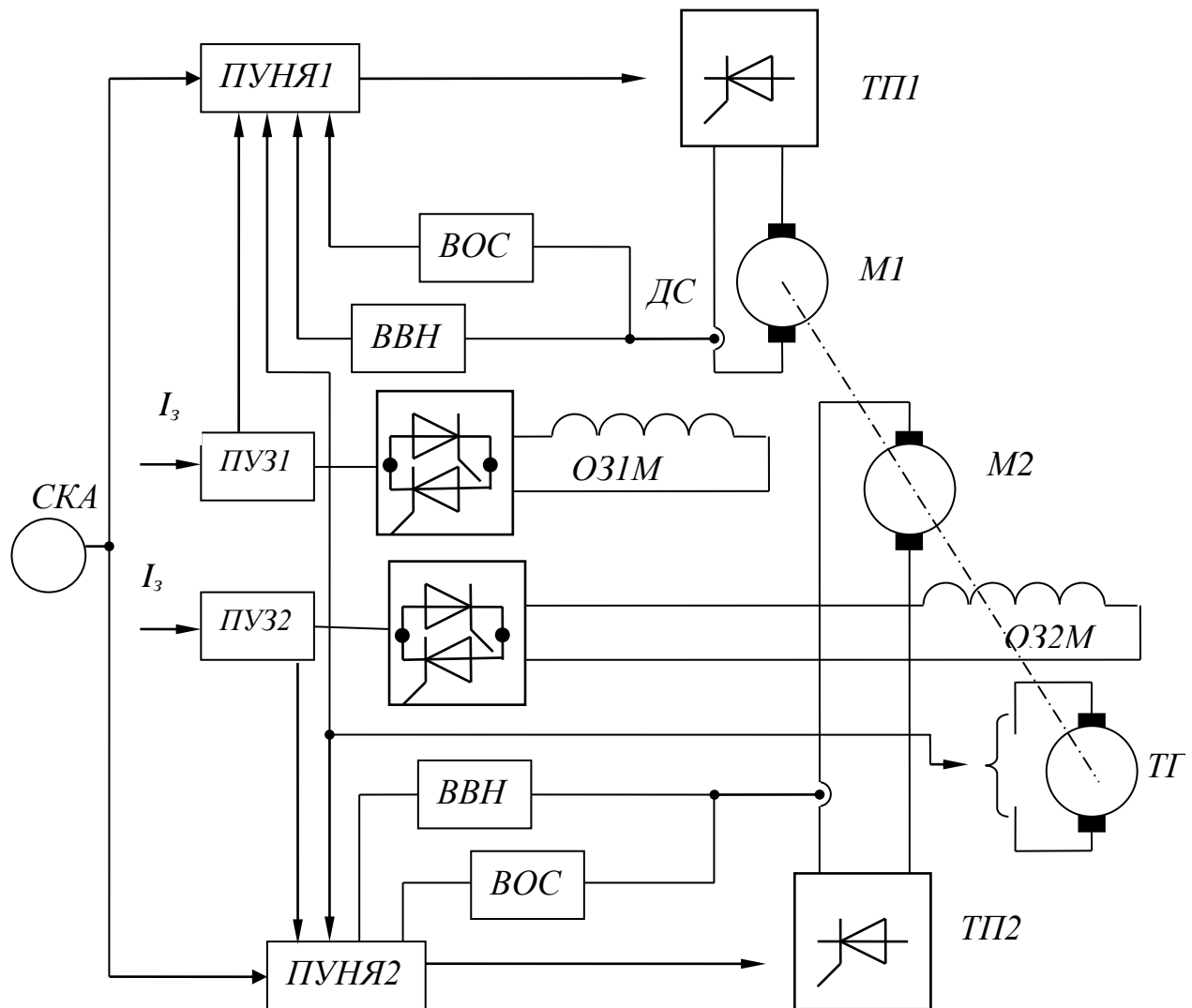


Рис.2.7. Функціональна схема електроприводу ШПУ

(розроблено автором)

Вирівнювання навантаження здійснюється шляхом дії на напругу якоря двигуна так, щоб більш завантажений двигун зменшував струм якоря, а менш завантажений – збільшував. Зокрема при розбіжності струмів двигунів напруга

менш завантаженого двигуна збільшується. При цьому відбувається вирівнювання навантаження.

2.1.4 Обґрунтування, вибір і розрахунок основних параметрів регуляторів САР. Структурна схема САР

Розрахунок системи підлеглого регулювання полягає у визначенні типу регуляторів і параметрів елементів даних регуляторів і похідних послідовною оптимізацією окремих контурів, починаючи з внутрішніх. Під оптимізацією розуміється приведення передавальної функції замкнутого контуру у відповідність з поставленими вимогами. Вимоги до систем управління і до конкретних регулюючих параметрів обумовлені технологічним процесом, який забезпечується роботою даного регульованого електроприводу.

Оптимізація замкнутого контуру буде досягнута, якщо перехідний процес регульованої величини при стрибкоподібному завданні не залежить від параметрів об'єкту управління і кола зворотного зв'язку. Це можливо, якщо регулятор контуру має передавальну функцію, зворотну передавальній функції об'єкту і кола зворотного зв'язку. Регулятор повинен здійснювати абсолютну компенсацію інерційних властивостей об'єкту регулювання і кола зворотного зв'язку.

Внутрішнім контуром є контур струму. Для повної компенсації електромагнітної постійної часу електродвигуна передавальна функція регулятора струму має вигляд:

$$W_{pc} = \frac{R_s(T_c p + 1)}{2 \cdot T_m \cdot p \cdot K_{тп} \cdot K_{зс}} ; \quad (2.40)$$

де $K_{зс}$ – коефіцієнт зворотного зв'язку по струму;

$$K_{тп} = 120;$$

$T_m = 0,01$ – некомпенсована постійна.

Визначимо коефіцієнт зворотного зв'язку по струму, вважаючи що напруга завдання струму $U_{зс} = 10$ В.

$$K_{zc} = \frac{10}{2 \cdot I_n} = \frac{10}{2 \cdot 5740} = 0,000871 \quad (2.41)$$

де $I_n = 5740$ А – номінальний струм двигуна, береться з паспортних даних.

Пропорційна частина регулятора струму:

$$W_{pci} = \frac{R_\Sigma \cdot T_e}{2 \cdot T_\mu \cdot K_{тп} \cdot K_{zc}} = \frac{0,05767 \cdot 0,052}{2 \cdot 0,01 \cdot 120 \cdot 0,00087} = 1,436 \quad (2.42)$$

Інтегральна частина регулятора струму:

$$W_{pci} = \frac{R_\Sigma}{2 \cdot T_\mu \cdot p \cdot K_{тп} \cdot K_{zc}} = \frac{0,05767}{2 \cdot 0,01 \cdot 120 \cdot 0,00087} = 27,59 \quad (2.43)$$

Для вибору типу регулятора швидкості визначимо статизм замкнutoї системи, заздалегідь налаштованої на технічний оптимум. Перепад швидкості знайдемо з виразу:

$$\begin{aligned} \Delta\omega_3 &= \frac{a_{ш} \cdot a_c \cdot T_\mu}{T_m} \times \frac{R_\Sigma \cdot I_n}{K_e} = \frac{2 \cdot 2 \cdot 0,01}{0,103} \times \frac{0,057 \cdot 5740}{155,603} = \\ &= 0,388 \cdot 2,102 = 0,8158 \text{ p/c} \end{aligned}$$

Статизм системи складає:

$$\Delta = D \cdot \frac{\Delta\omega_3}{\omega_0} \cdot 100 = \frac{0,8158}{5,977} \cdot 5 \cdot 100 = 68,24 \% \quad (2.44)$$

Такий статизм не задовольняє вимоги, що пред'являються до системи електроприводу. У зв'язку з цим необхідно застосовувати астатичний регулятор швидкості, тобто регулятор типу ІІІ. Передавальна функція регулятора швидкості буде:

$$W_{пш} = \frac{K_{zc} \cdot j(8 \cdot T_\mu \cdot p + 1)}{32 \cdot T_\mu^2 \cdot p \cdot K_{zc} \cdot K_m} \quad (2.45)$$

Пропорційна частина регулятора швидкості:

$$\begin{aligned} W_{пшп} &= \frac{8 \cdot K_{zc}}{32 \cdot T_\mu \cdot K_{zc} \cdot K_m} \cdot j = \frac{8 \cdot 0,00087}{32 \cdot 0,01 \cdot 2,083 \cdot 181,48} \cdot j = \\ &= 5,75 \cdot 10^{-5} \cdot j \end{aligned} \quad (2.46)$$

Інтегральна частина регулятора швидкості:

$$W_{\text{рши}} = \frac{K_{\text{зс}} \cdot j}{32 \cdot T_{\mu}^2 \cdot p \cdot K_{\text{зс}} \cdot K_{\text{м}}} = \frac{0,00087}{32 \cdot 0,01^2 \cdot 2,083 \cdot 181,48} \cdot j = \quad (2.47)$$

$$= 7,19 \cdot 10^{-4} \cdot j$$

Двоконтурна система підлеглого регулювання за системою ТП-Д є типовою і має вигляд зображений на рис. 2.8.

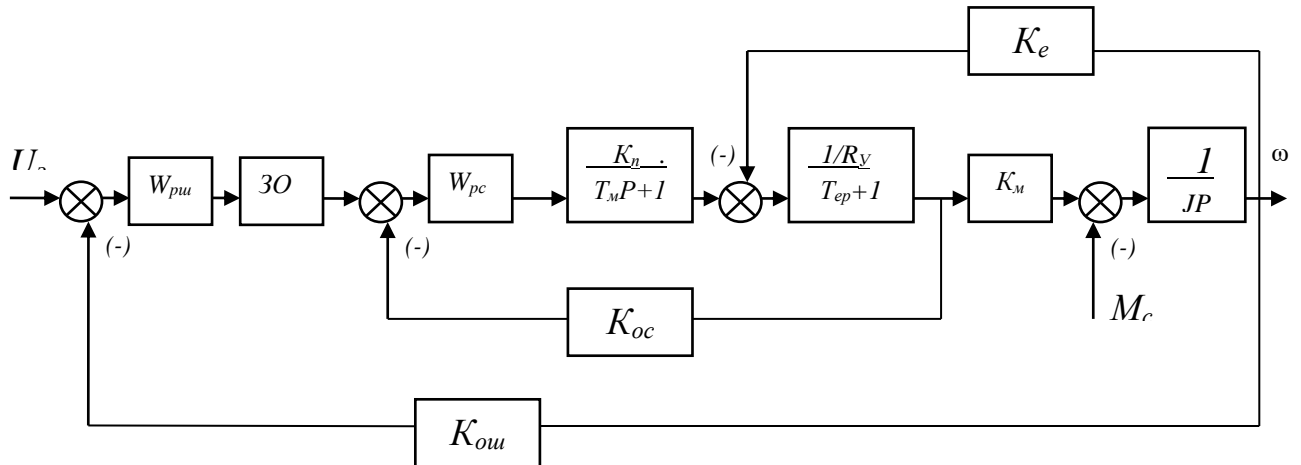


Рис. 2.8. Структурна схема САР системи ТП-Д
(розроблено автором)

Розрахунок кола збудження двигуна.

Схема заміщення кола збудження двигуна приведена на рисунку 2.9.

Опір обмотки збудження двигуна:

$$R_{\text{оз}} = \frac{U_{\text{зн}}}{I_{\text{зн}}} = \frac{220}{230} = 0,956 \text{ Ом} \quad (2.48)$$

де $U_{\text{зн}}=220 \text{ В}$ – напруга збудження двигуна;

$I_{\text{зн}}= 230 \text{ А}$ – номінальний струм збудження двигуна.

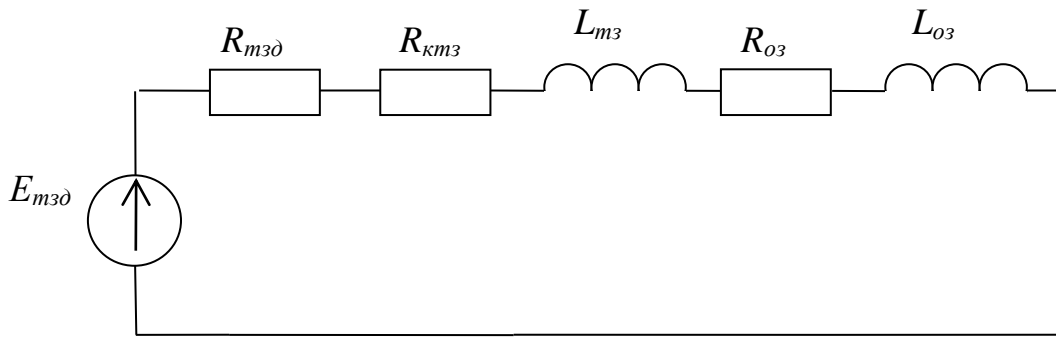


Рис. 2.9. Схема заміщення кола збудження двигуна
(розроблено автором)

Опір обмежувача реактора $R_p=0,013$ Ом.

Індуктивність обмежувача реактора $L_p=0,00025$ Гн.

Еквівалентний опір реактора в колі збудження:

$$R_{тзд} = 2 \cdot R_p = 2 \cdot 0,013 = 0,026 \text{ Ом} \quad (2.49)$$

$$L_{m3} = 2 \cdot L_p = 2 \cdot 0,00025 = 0,0005 \text{ Гн}$$

Комутаційний опір:

$$R_{кт3} = \frac{m \cdot 2\pi f \cdot L_p}{2\pi} = \frac{6 \cdot 3,14 \cdot 0,0005}{2 \cdot 3,14} = 0,15 \text{ Ом} \quad (2.50)$$

де m – число вентилів збудника.

Індуктивність обмотки збудження двигуна приблизно визначаємо по виразу.

$$L_{o3} \approx (2-5) \frac{L_y \cdot R_{o3}}{R_y} = 4 \cdot \frac{0,00283 \cdot 0,956}{21,9 \cdot 10^{-3}} = 4,94 \text{ Гн} \quad (2.51)$$

Сумарний активний опір кола обмотки збудження двигуна:

$$R_{3\Sigma} = R_{тзд} + R_{кт3} + K \cdot R_{o3} = 0,026 + 0,15 + 1,2 \cdot 0,956 = 1,32 \text{ Ом} \quad (2.52)$$

Сумарну індуктивність в колі обмотки збудження:

$$L_{3\Sigma} = L_{m3} + L_{o3} = 0,0005 + 4,94 = 4,9405 \text{ Гн} \quad (2.53)$$

Постійна часу обмотки збудження двигуна:

$$T_3 = \frac{L_{3\Sigma}}{R_{3\Sigma}} = \frac{4,9405}{1,32} = 3,7428 \text{ с} \quad (2.54)$$

Коефіцієнт посилення тиристорного збудника:

$$K_{тз} = \frac{U_H}{U_y} = \frac{220}{10} = 22 \quad (2.55)$$

Передавальна функція тиристорного збудника:

$$W_{тз} = \frac{K_{тз}}{T_{\mu}p + 1} \quad (2.56)$$

Передавальна функція об'єкту регулювання:

$$W_{оз} = \frac{K_i}{T_3p + 1} \quad (2.57)$$

де K_i – коефіцієнт передачі по струму;

$$K_i = \frac{I_{3н}}{U_{3н}} = \frac{230}{220} = 1,045 \quad (2.58)$$

У зв'язку з тим, що регулювання швидкості двигуна здійснюється зміною напруги на затисках якоря практично при сталому потоці двигуна, то вихровими струмами можна нехтувати. В цьому випадку об'єкт регулювання представляємо інерційною ланкою. Тоді передавальна функція регулятора струму збудження, налаштована на технічний оптимум:

$$W_{рсз} = \frac{T_3 \cdot p + 1}{2 \cdot T_{\mu} \cdot p \cdot K_{сз} \cdot K_{зсз} \cdot K_i} \quad (2.59)$$

Тобто регулятор струму обмотки збудження двигуна – ПІ.

Коефіцієнт зворотного зв'язку по струму:

$$K_{зсз} = \frac{10}{I_{3н}} = \frac{10}{230} = 0,0435 \quad (2.60)$$

Структурна схема кола обмотки збудження двигуна приведена на (рис. 2.10).

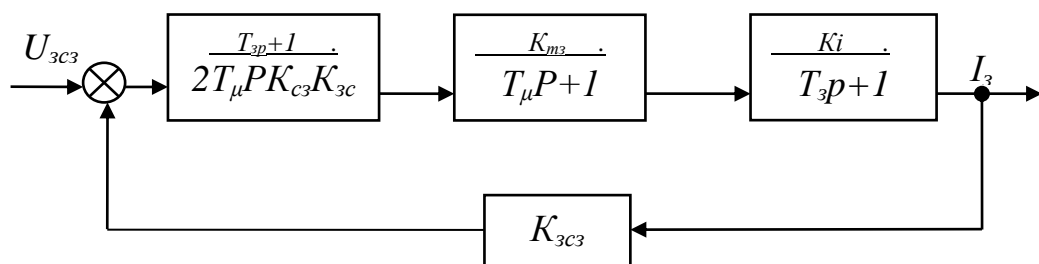


Рис. 2.10. Структурна схема кола збудження двигуна
(розроблено автором)

Схема математичної моделі представлена на рис.2.11, а перехідні процеси на рис. 2.12. Як видно з осцилограми стає значення струму, рівне 230 А наступає через 0,1 с, а перерегулювання складає 9А.

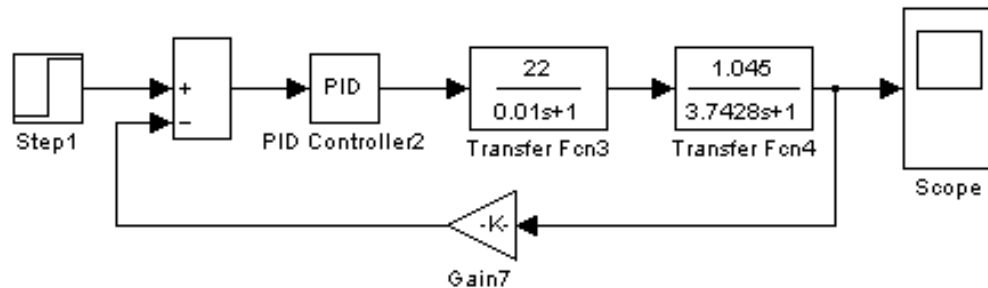


Рис. 2.11 – Схема математичної моделі системи збудження I_3

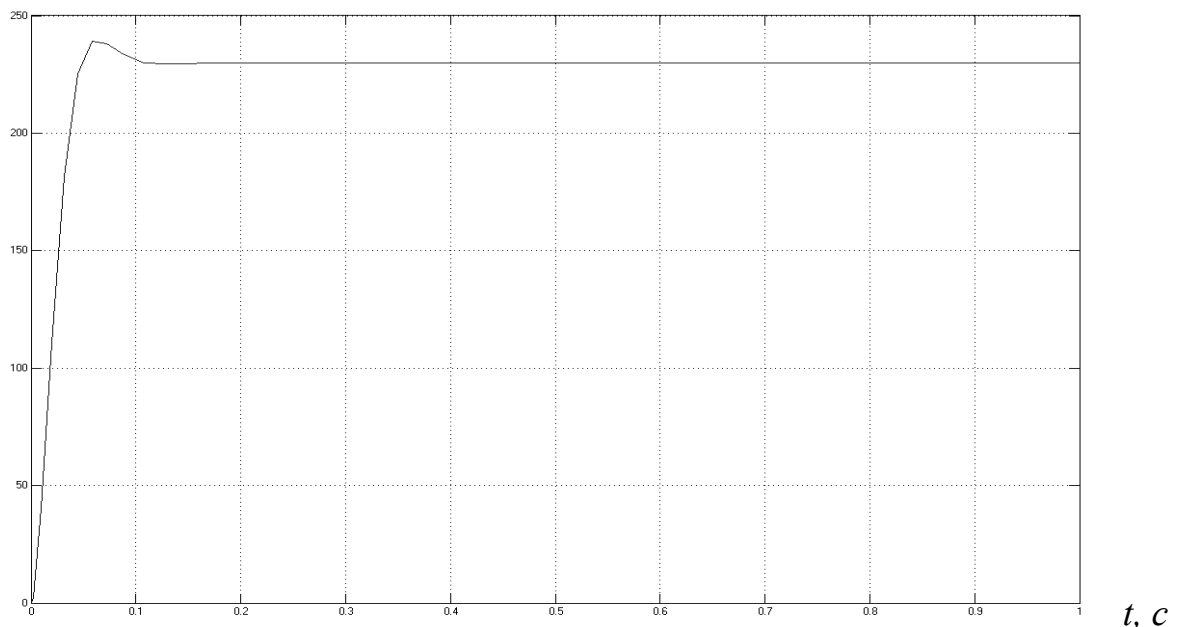


Рис. 2.12. Перехідний процес струму збудження
(розроблено автором)

Складемо структурну схему електроприводу з урахуванням системи збудження двигуна. Для цього необхідно встановити залежність між потоком Φ і струмом збудження I_3 .

Для лінеаризованих ділянок кривої намагнічення:

$$\Phi_{\text{оз}} = K_{\phi} \cdot I_3 \quad (2.61)$$

2.2 Дослідження динамічних режимів привода скіпової підйомної установки

2.2.1 Складання математичної моделі САР ЕП

В основу структури моделі САК ЕП встановлена структурна схема, приведена на (рис. 2.8). Схема моделі електроприводу ТП-Д складається із стандартних блоків, з пакету Simulink зі своїми доповненнями. Регулятор швидкості, коефіцієнти зворотного зв'язку по швидкості і струму, а також механічна частина електроприводу представлені підсилювальними ланками з бібліотеки Math Operations Simulink. Ланки насичення з Discontinuities. Регулятор струму представлений PID Controller з бібліотеки Simulink Extras. Що до інтегратора і інтеграторних ланок вони узяті з бібліотеки Continuons оточення Simulink. Реєстрація результатів моделювання проводиться за допомогою Scope з бібліотеки Sinks. Модель з підлеглим регулюванням приведена на рис. 2.14, а на рис. 2.15 – з урахуванням системи збудження. Завдання сигналів управління і навантаження у вигляді зростаючої дії виконується за допомогою блоку Step з бібліотеці Simulink.

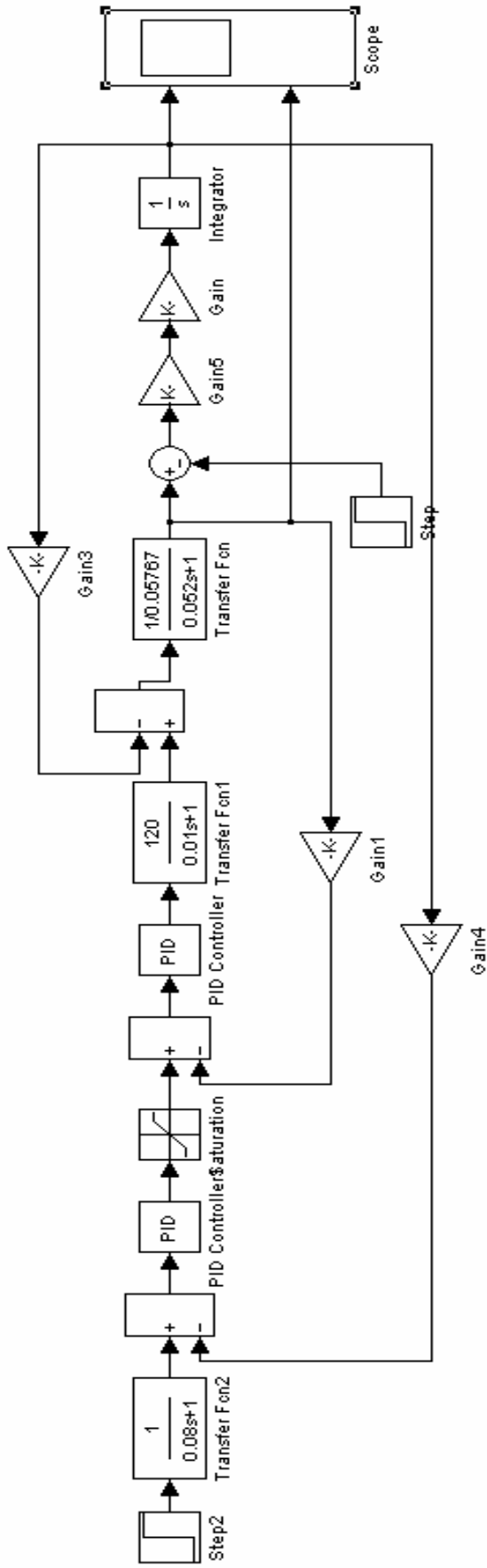


Рис. 2.14. Математична модель електроприводу з ПІ регулятором швидкості і фільтром

(розроблено автором)

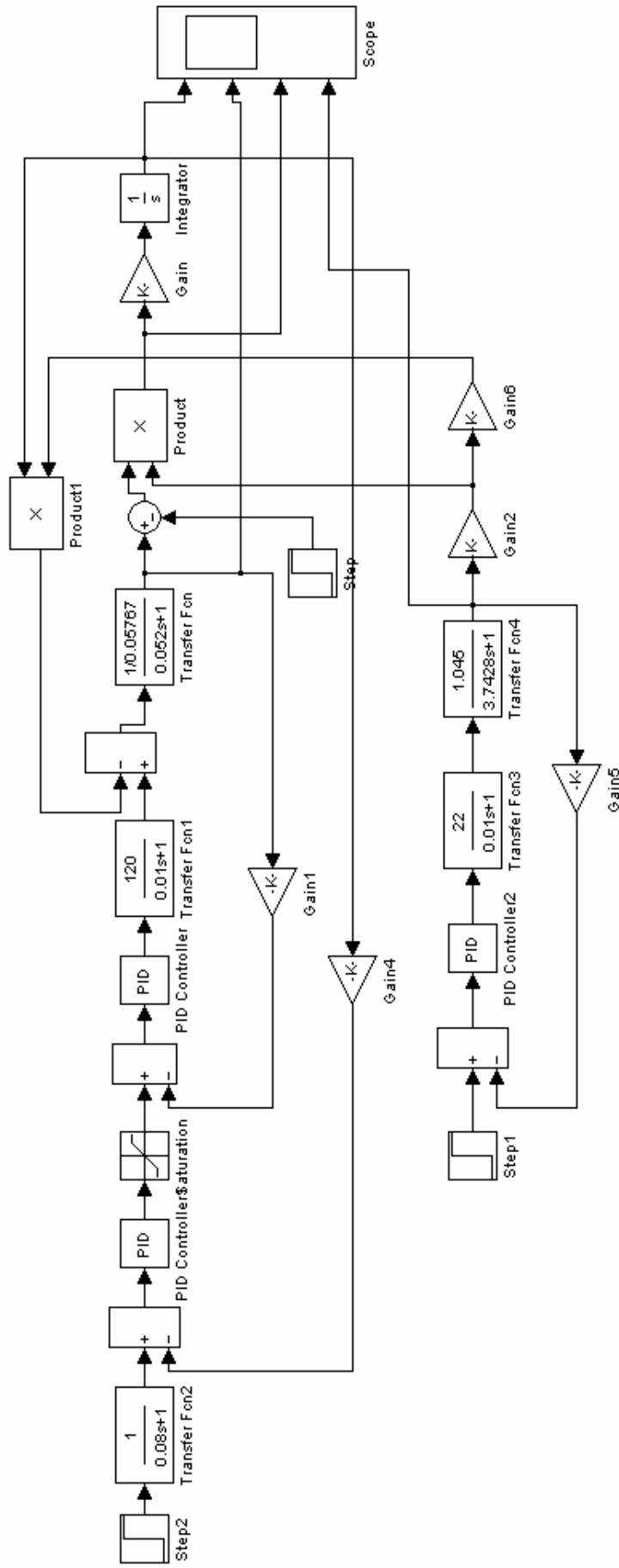


Рис. 2.15. Модель электропривода с системой возбуждения
(разработано автором)

2.2.2 Моделювання перехідних процесів

Моделювання перехідних процесів замкнутої системи ТП – Д виконано згідно математичної моделі. Основною метою є дослідження динамічних процесів в різних режимах роботи системи електроприводу. В даному розділі досліджені поширені режими роботи системи, які мають місце на практиці.

Дослідження виконані без розрахунку пружних зв'язків підйомного каната і з розрахунком їх.

Досліджені режими роботи електроприводу, які найбільш часто зустрічаються на практиці:

- пуск в режимі ХХ і зупинка;
- пуск і зупинка під навантаженням;
- пуск в режимі ХХ і накид навантаження;
- пуск з вантажем і задатчиком інтенсивності і т.д.

На рис. 2.16 приведена осцилограма пуску системи електроприводу з пропорційним регулятором швидкості, налаштованому на технічний оптимум, і накидом навантаження. Пуск змодельований в режимі холостого ходу. осцилограма отримана в слідстві з математичної моделі приведений на рис. 2.17. Як видно з осцилограми у момент накиду навантаження, до номінального значення ($I=5740$ А) при $t=1,5$ с швидкість двигуна зменшується і в сталому режимі рівна 4 рад/с при заданій величині $4,8$ рад/с. Просадка швидкості при цьому $0,8$ рад/с. Статизм дорівнює:

$$\Delta\% = \frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \cdot 100 = \frac{4,8 - 4,0}{4,8} = 16,66\% \quad (2.64)$$

Що не задовольняє вимогам, що пред'являються до електроприводу шахтних підйомних установок.

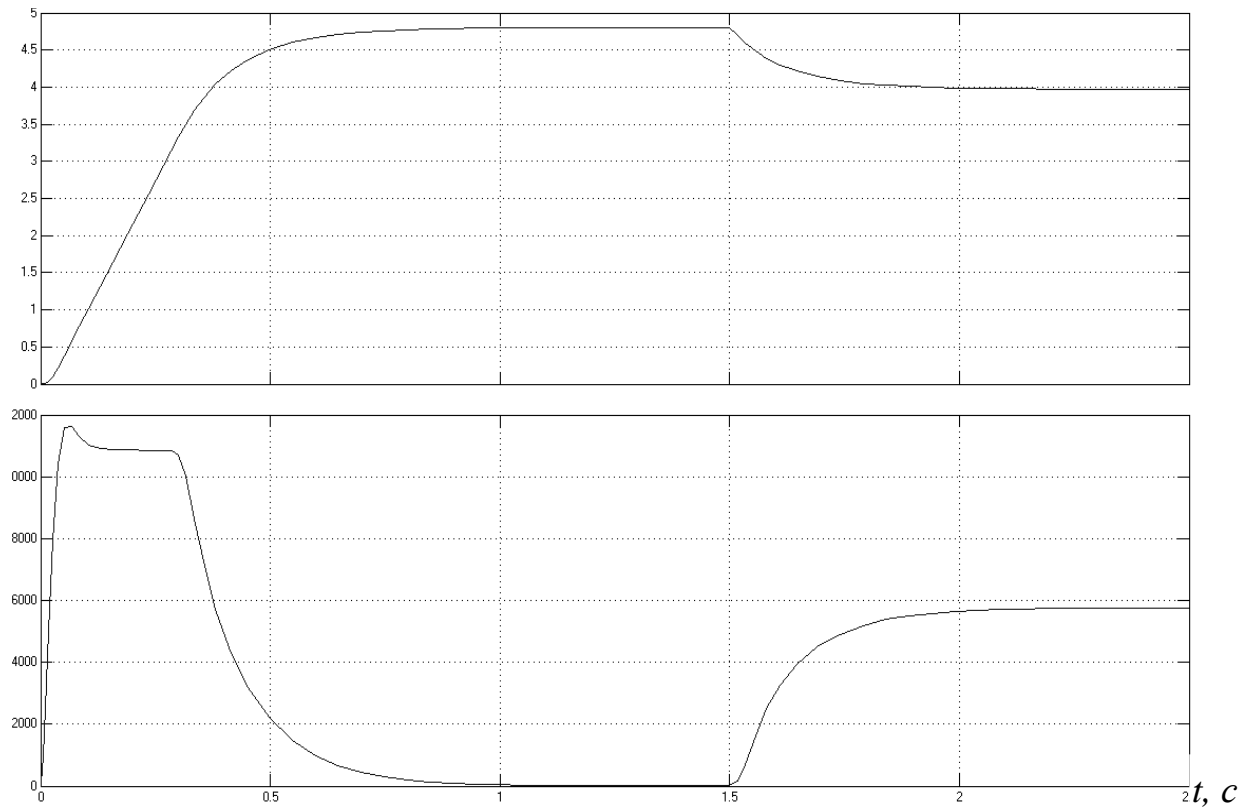


Рис.2.16. Пуск електроприводу при ХХ, наборі навантаження з П регулятором швидкості
(розроблено автором)

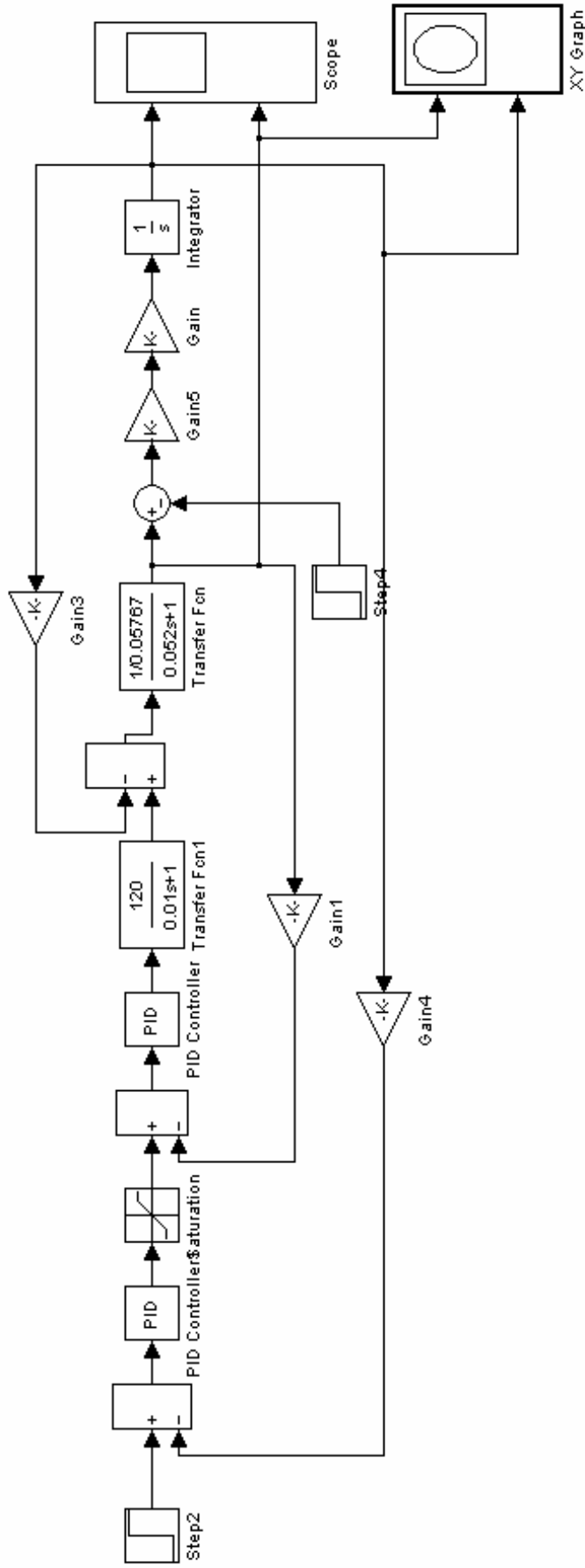


Рис. 2.17. Математична модель електроприводу з П регулятором швидкості

(розроблено автором)

Використовування блоку XY Graph дозволяє отримати швидкісну характеристику замкнутої системи ТП-Д. залежність кутової швидкості від струму навантаження $\omega=f(I)$ в режимі пуску системи електроприводу без навантаження з пропорційним регулятором швидкості приведена на рис. 2.18.

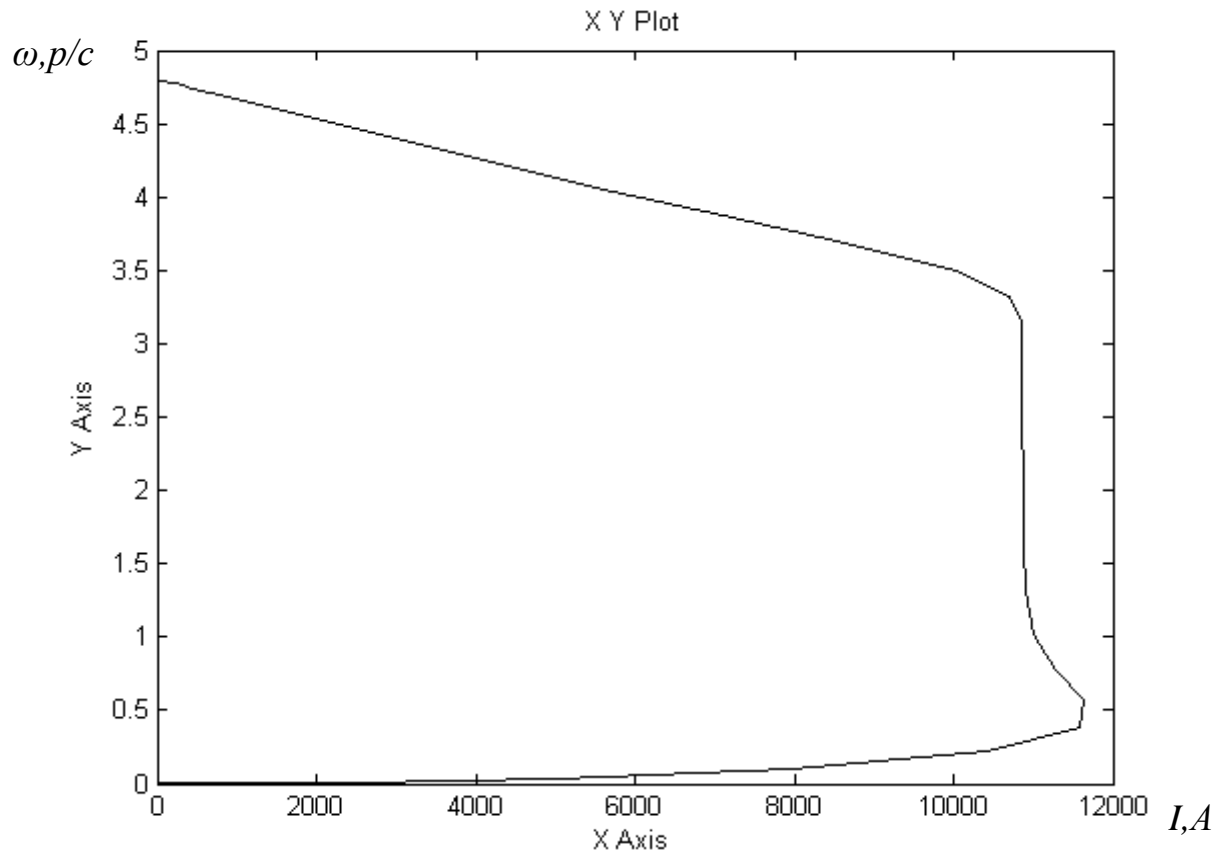


Рис. 2.18. Механічна характеристика електроприводу з пропорційним регулятором швидкості
(розроблено автором)

Як видно з (рис. 2.18) у момент пуску спостерігається невеликий викид струму (перерегулювання), який не перевищує допустимого значення. Потім розгін двигуна відбувається практично при постійному струмі. Досягнувши швидкості $\omega=3,5$ рад/с двигун виходить на лінійну частину швидкісної характеристики. При номінальному струмі $I=5700$ А швидкість двигуна стає

$\omega=4,8$ рад/с, а при струмі $I=0$ $\omega_0=4,8$ рад/с, тобто статизм відповідає величині 16,66%, що неприпустимо.

Для збільшення точності регулювання необхідно використовувати пропорційно-інтегральний регулятор швидкості.

На рис. 2.19 приведена осцилограма пуску системи електроприводу з пропорційно-інтегральним регулятором швидкості, налаштованим на симетричний оптимум без включення фільтру з накидом навантаження. Осцилограма отримана згідно математичної моделі, приведеної на (рис. 2.14), але без включення фільтру на вході системи. Як видно з осцилограми при подачі сигналу на вхід системи у вигляді ступінчатої дії спостерігається значне перерегулювання по швидкості і стає рівним 8 рад/с, тобто перерегулювання досягає майже 68%. Для усунення такого перерегулювання на вхід системи необхідно включити фільтр з постійною часу $8 T_m$.

Через час $t=1$ с до системи прикладено навантаження. Під дією навантаження спостерігається просадка швидкості з подальшим її відновленням до заданого значення $\omega=4,8$ рад/с. Величина просадки не перевищує 0,6 рад/с. Час регулювання при накиді навантаження не перевищує 0,18 с.

На рис. 2.20 приведена осцилограма пуску і накиду навантаження з ПІ регулятором швидкості і включеному фільтрі на його вході. Як видно з осцилограми величина перерегулювання швидкості значно менше ω_{\max} не перевищує 5,6 рад/с, що є цілком задовільним.

Аналогічна осцилограма пуску і накиду навантаження з ПІ регулятором швидкості і системою автоматичного регулювання струму збудження двигуна отримана згідно математичної моделі, приведеної на (рис. 2.15) осцилограму показано на рис. 2.21.

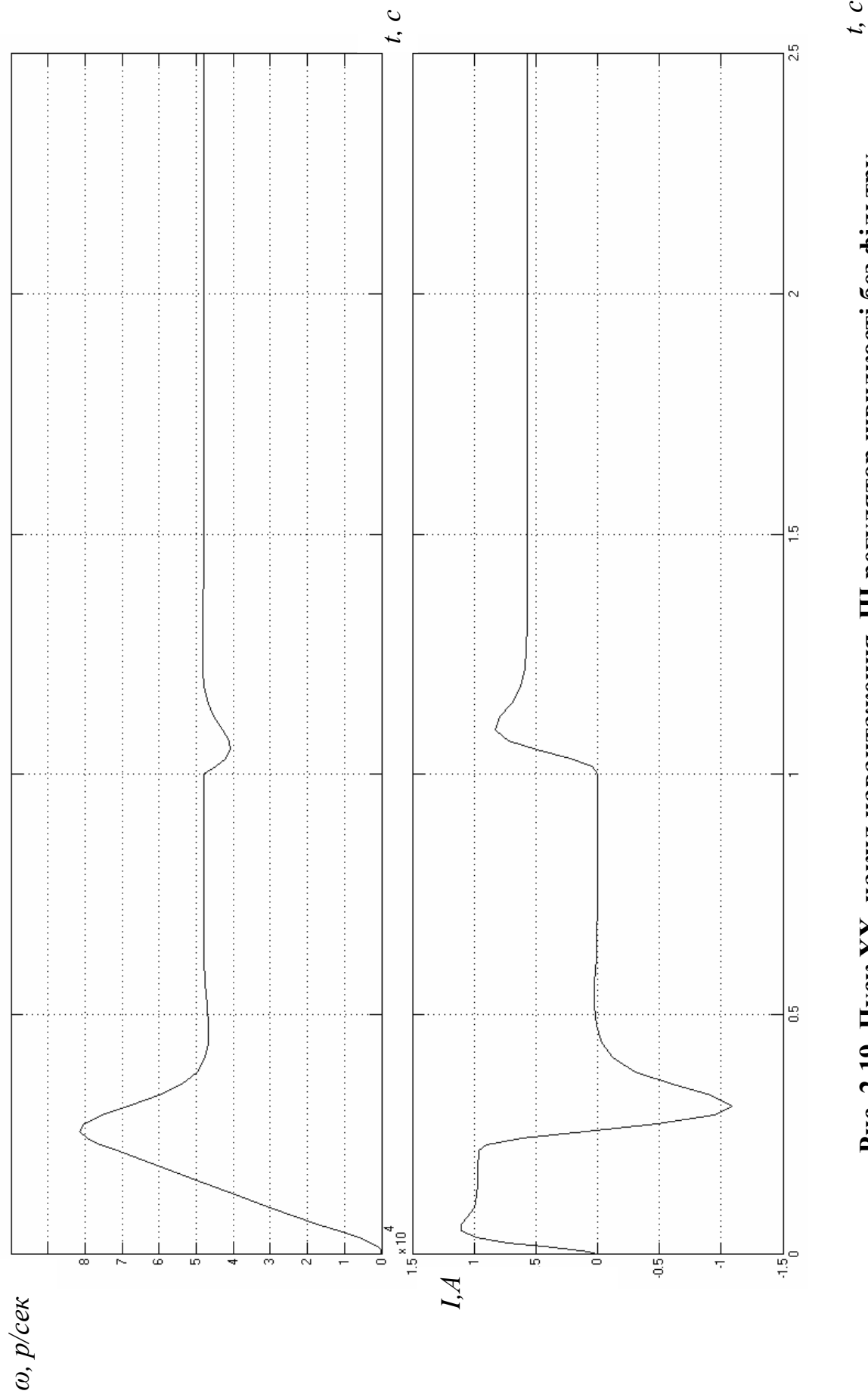


Рис. 2.19. Пуск XX, накид навантаження, III регулятор швидкості без фільтру
(розроблено автором)

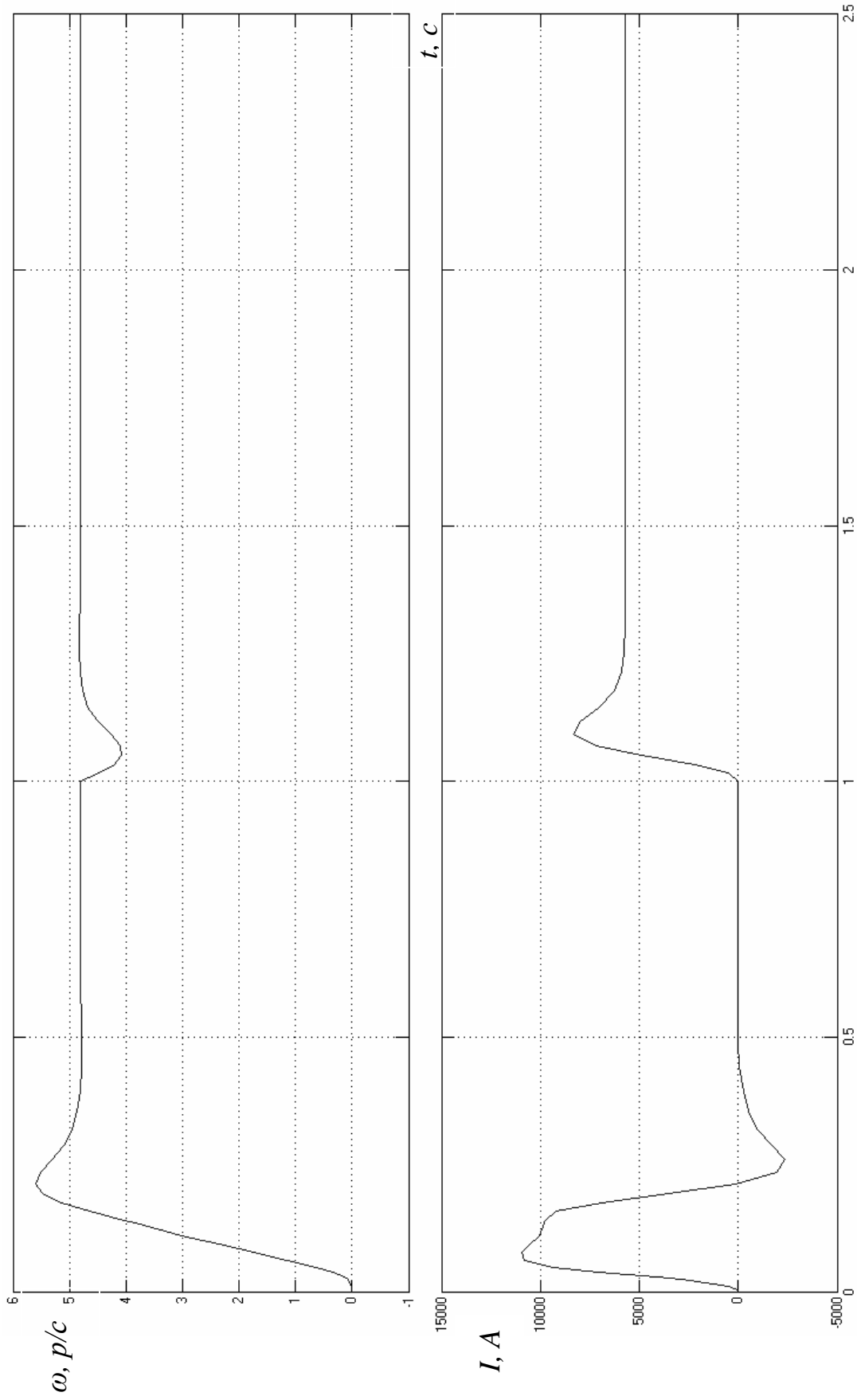


Рис. 2.20. Пуск XX і накид навантаження з III регулятором швидкості і фільтром
 (розроблено автором)

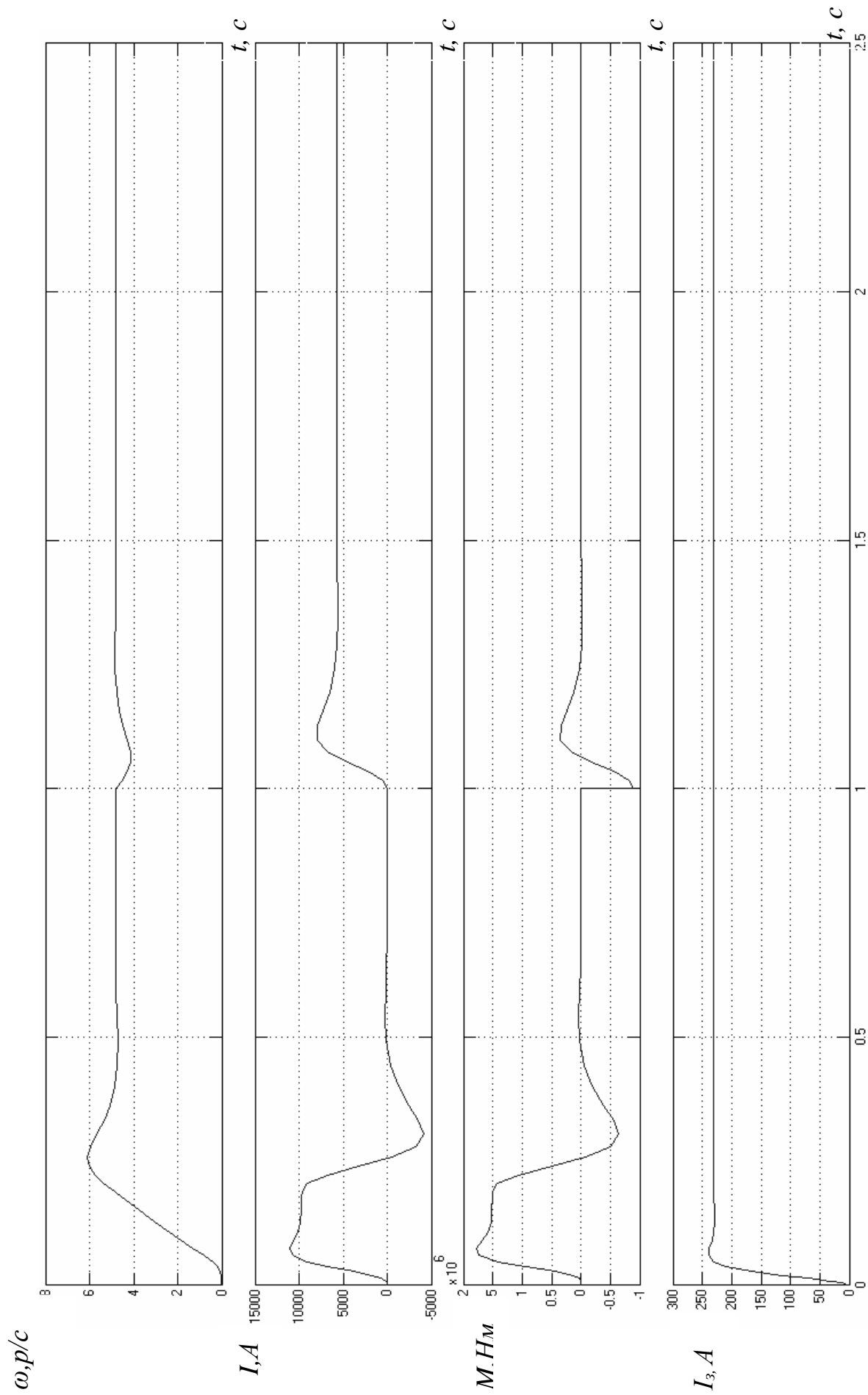


Рис.2.21. Пуск XX, накид навантаження з системою збудження

(позволено автором)

У зв'язку з ідентичністю осцилограм (регулювання швидкості здійснюється при сталому потоці), подальше дослідження динаміки електроприводу проводитимемо користуючись базовою моделлю, приведеною на (рис. 2.14).

Одним з можливих варіантів є пуск системи електроприводу під навантаженням і зупинка. Такий варіант виконуємо згідно базової математичної моделі електроприводу. Осцилограма для цього випадку приведена на рис. 2.22. Як видно з осцилограми при ступінчатому завданні сигналу швидкості, навантаження робить істотний вплив на величину перерегулювання швидкості. Математичне значення швидкості досягає 8 рад/с.

Для зменшення перерегулювання швидкості на вхід регулятора швидкості необхідно включити задатчик інтенсивності ЗІ, тобто сигнал завдання швидкості змінюється по лінійному закону. На рис.2.23 представлені осцилограми пуску приводу з вантажем і задатчиком інтенсивності першого роду. Як впливає з осцилограми величина максимальної швидкості при перехідних процесах не перевищує 5,3 рад/с, що є цілком прийнятним для проектованої системи електроприводу. Осцилограми одержуємо згідно математичної моделі, приведеної на рис. 2.24.

На рис. 2.25 представлена осцилограма пуску, зупинки і реверсу двигуна після паузи. Як відомо, реверс потужних ШПУ здійснюється потоком збудження двигуна під час паузи. Як видно з осцилограми час пуску навантаженого скіпа дещо більше часу гальмування. Це викликано гальмуючою дією моменту статичного опору. Час пуску складає 0,8 с, а гальмування – 0,45 с. Діаграма реверсу симетрична.

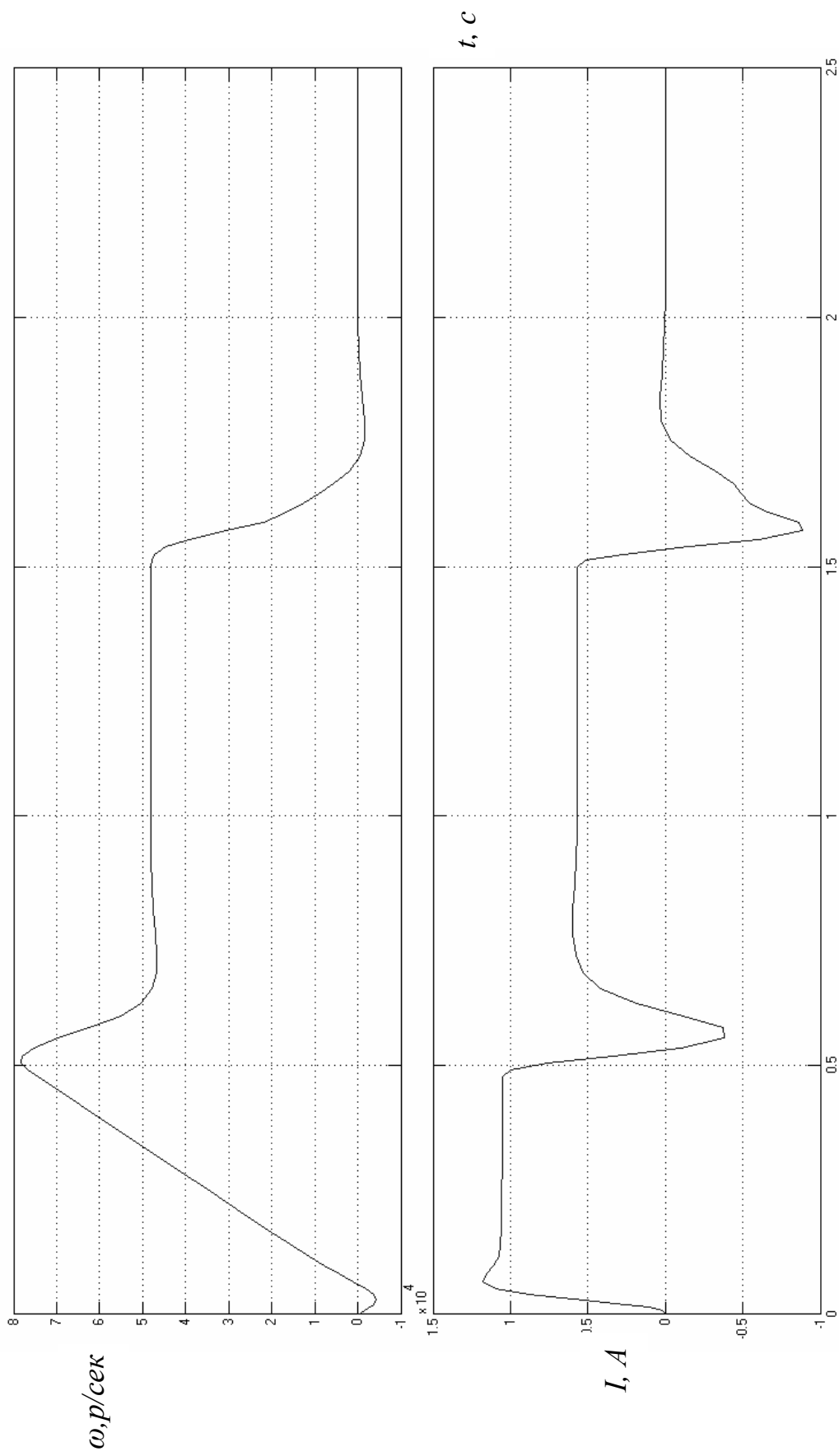


Рис. 2.22. Пуск з вантажем і зупинка, без ЗІ

(розроблено автором)

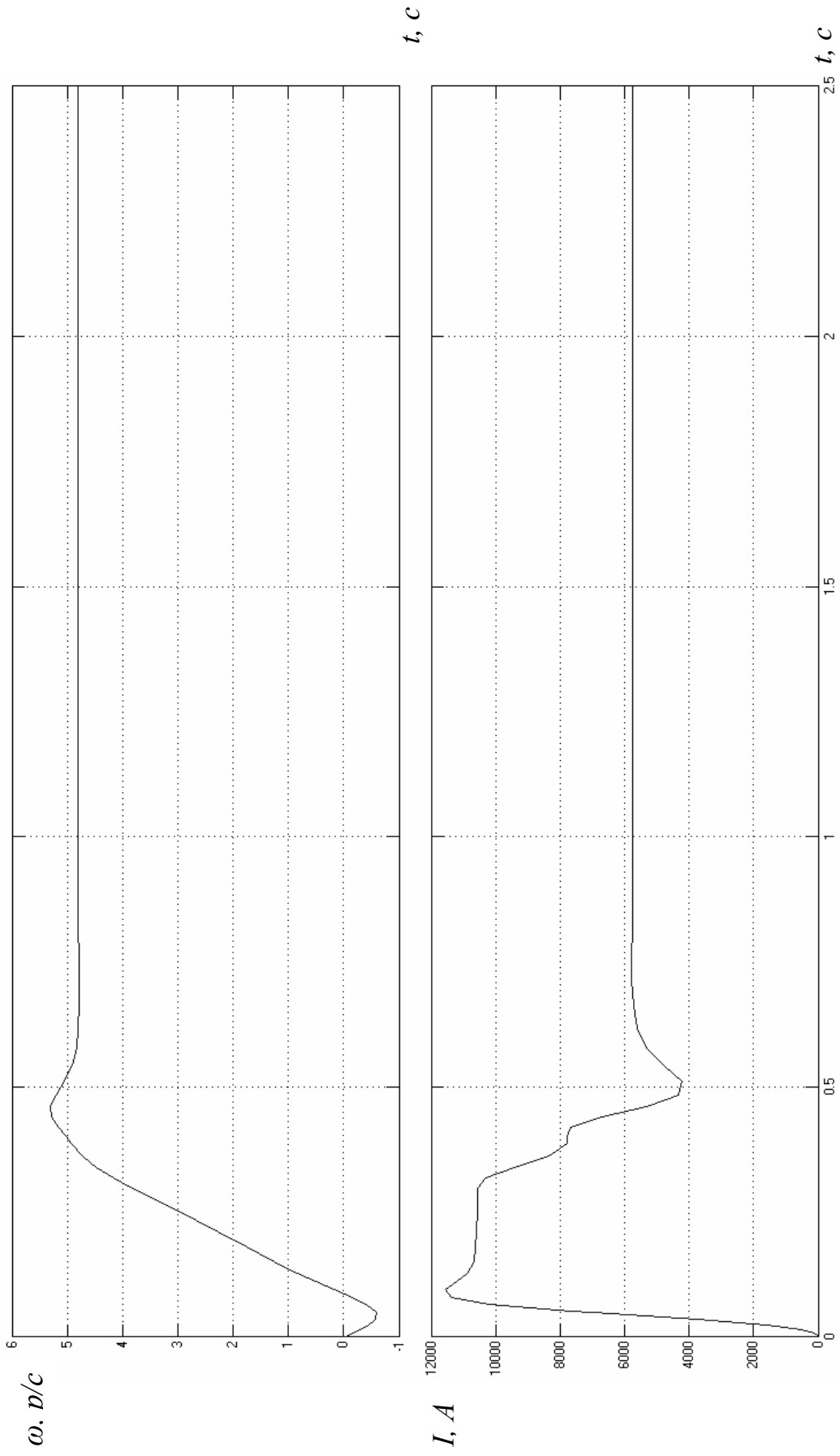


Рис.. 2.23. Пуск з вантажем і ЗІ

(розроблено автором)

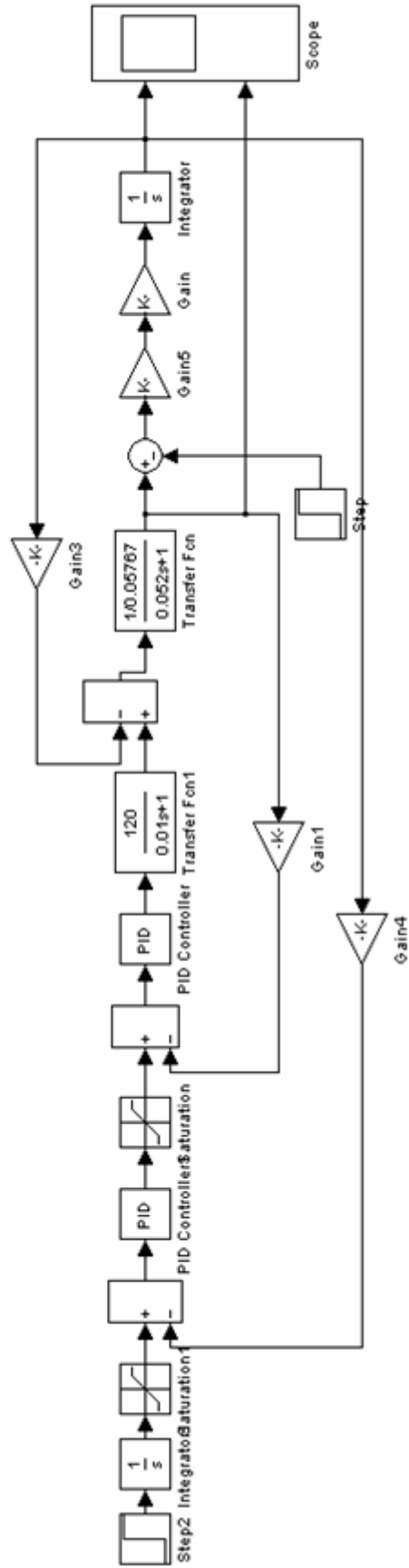


Рис. 2.24. Математична модель електропривода з ЗІ

(розроблено автором)

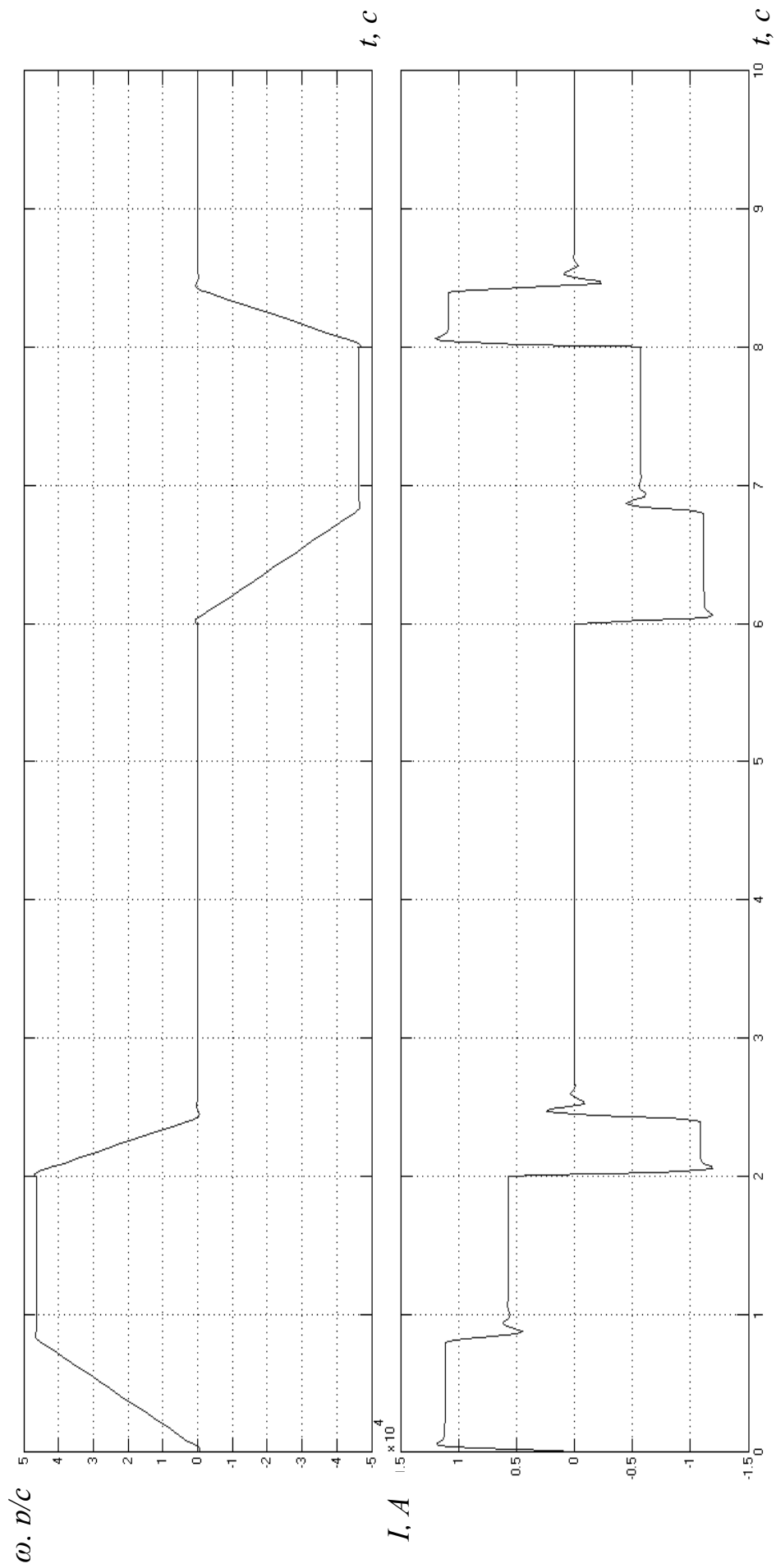


Рис. 2.25. Пуск під навантаженням, зупинка, реверс
(розроблено автором)

2.3 Розробка функціональної схеми системи зважування скіпів

Функціональна схема пропонованої системи зображена на рис.2.26, де представлені всі необхідні пояснення.

Нижче представлене призначення кожного основного вузла системи:

- контролер 1: прийом сигналу про якірний струм двигуна й сигналу поверхового вимикача; прийом сигналу від контролера 2 про величину струму збудження; рішення рівнянь по визначенню ваги скіпа; підрахунок кількості скіпів; запам'ятовування ваги із прив'язкою до дати й астрономічного часу; видача поточної інформації й інформації із запиту в пульт машиніста;

- контролер 2: прийом сигналу про струм збудження двигуна й сигналу поверхового вимикача; виробіток і видача сигналу про факт роботи контролера на світлодіод; передача сигналу про струми збудження в контролер 1;

- пульт машиніста: прийом даних від контролера 1; обробка даних, отриманих від контролера 1; видача даних системи на дисплей ПЕОМ диспетчера шахти й ПЕОМ диспетчера комбінату через модем GSM; уведення із клавіатури коефіцієнтів, отриманих при виконанні робіт.

Нижче представлений можливий підхід до створення алгоритмів системи, що забезпечує:

- періодичну корекцію результатів зважування по обмірюваних величинах струму холостого ходу;

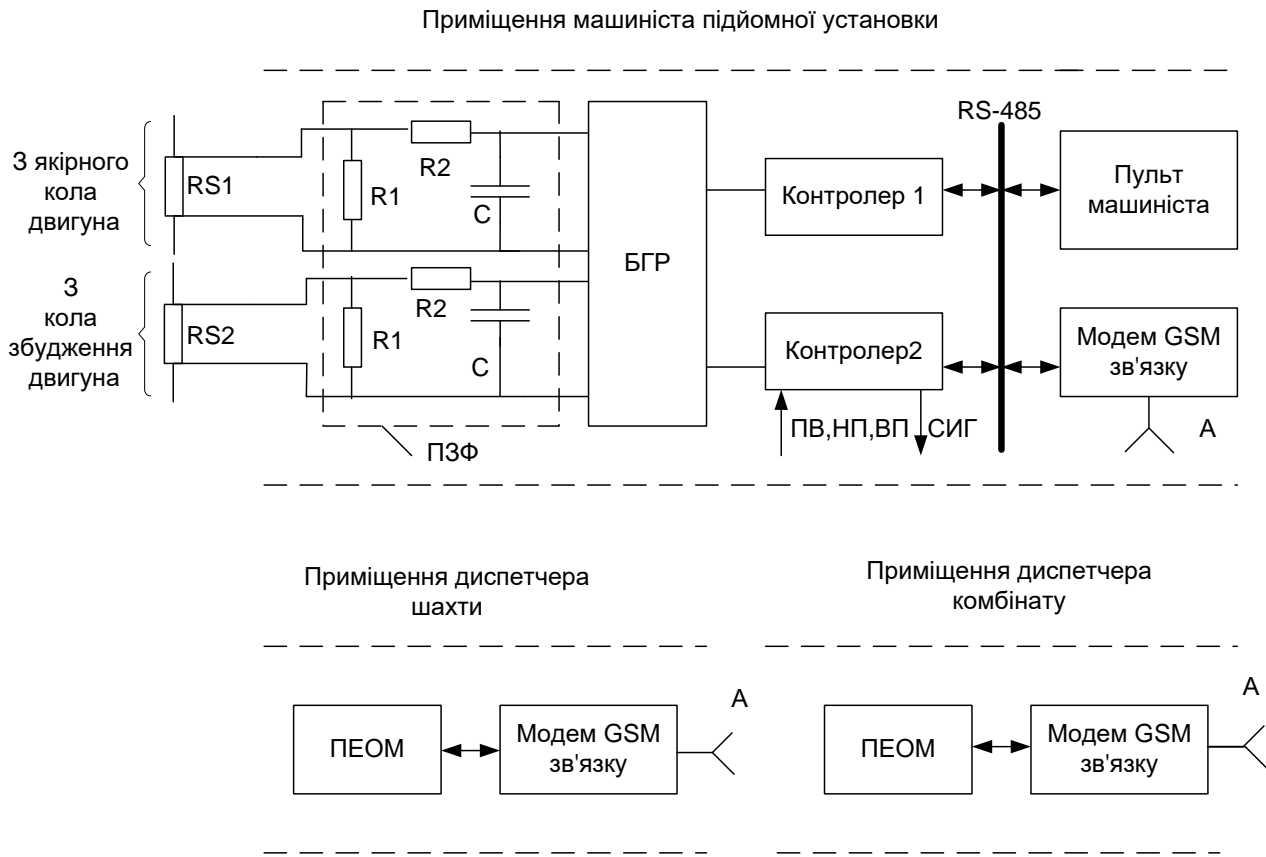
- постійну величини збудження двигуна.

Експлуатована система визначає вагу руди в скіпі (P) відповідно до вираження:

$$P = K \times I \quad (2.65)$$

де I - струм якоря двигуна,

K - емпіричний коефіцієнт, визначаємий дослідним шляхом.



Умовні позначення:

RS1 - шунт в якірному колі двигуна

RS2 – шунт в колі збудження двигуна,

ПЗФ - перешкодозменшуючий фільтр,

R1 – резистор 1 Ом,

R2- резистор 4,3 кОм,

С – конденсатор 1,0 мкФ,

БГР – блок нормалізації та гальванорозв'язки

ПВ – сигнал поверхового вимикача датчика нижнього (НП) та верхнього (ВП) положення скіпа

СИГ - сигналізація

Рис.2.27. Структурна схема пропонованої системи зважування
(розроблено автором з використанням [4; 8])

Струм в (2.65), у свою чергу, визначається двома складовими:

$$I = I_{xx} + I_{нав} \quad (2.66)$$

де I_{xx} - струм холостого ходу, в основному, обумовлений тертям в обертових вузлах піднімальної установки й можливістю «налипання» руди до стінок скіпа;

$I_{\text{нав}}$ - струм навантаження, тобто струм двигуна, що виконує корисну роботу.

Струм $I_{\text{нав}}$ залежить від наступних величин:

$$I_{\text{нав}} = (U - C_e \Phi \times n) / R \quad (2.67)$$

де U - напруга на якорі двигуна;

C_e - постійний коефіцієнт, що залежить від конструктивних параметрів двигуна;

Φ - магнітний потік двигуна, створюваний обмоткою збудження;

n - швидкість обертання якоря;

R - активний опір якорного кола.

Відомо, що при зміні струму збудження при постійному моменті навантаження струм якоря двигуна змінюється відповідно до вираження:

$$\Delta I_{\text{я}} = K_1 \times \Delta I_{\text{з}} \quad (2.68),$$

де $\Delta I_{\text{я}}$ - зміна струму якоря, викликана зміною струму збудження,

K_1 - коефіцієнт, що залежить від потужності двигуна, кількості витків обмотки збудження, кількості стрижнів у якорі;

$\Delta I_{\text{з}}$ - зміна струму збудження, викликана, наприклад, коливаннями напруги живильної мережі або збоями системи керування збудником.

Зміна $\Delta I_{\text{я}}$ має позитивне значення при зменшенні $I_{\text{з}}$ і негативне при його збільшенні. Наприклад, для головного привода обтискної кліті стану 1250 цеху

блюмінг1 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» встановлено, що K у (2.68) дорівнює 40.

У нашій випадку R в (2.67) включає наступні складові:

$$R = R_{\text{яд}} + R_{\text{код}} + R_{\text{дпд}} + R_{\text{яг}} + R_{\text{ког}} + R_{\text{дпг}} + R_{\text{ш}} \quad (2.69)$$

де $R_{\text{яд}}$ - опір якоря двигуна;

$R_{\text{код}}$ - опір компенсаційних обмоток двигуна;

$R_{\text{дпд}}$ - опір додаткових полюсів двигуна;

$R_{\text{яг}}$ - опір якоря генератора;

$R_{\text{ког}}$ - опір компенсаційних обмоток генератора;

$R_{\text{дпг}}$ - опір додаткових полюсів генератора;

$R_{\text{ш}}$ - опір силових шин, що зв'язують якорі двигуна й генератора.

Таким чином, визначення ваги руди (P) у скіпі повинно виконуватися рішенням вираження:

$$P = K^2 \times (I_{\text{я}} - I_{\text{хх}} - \Delta I_{\text{я}}) \quad (2.70)$$

де K^2 - емпіричний коефіцієнт, визначається дослідним шляхом;

$I_{\text{я}}$ - обмірюване значення струму якоря при підйомі навантаженого скіпа;

$I_{\text{хх}}$ - струм холостого ходу, обмірюваний при підйомі порожнього скіпа,

$\Delta I_{\text{я}}$ - див. (2.58).

2.4 Методика експериментального визначення емпіричних коефіцієнтів

Засоби для вимірювання

- а) амперметри класу не більше 0,5 зі шкалою $\pm 200, \dots, 300$ мВ - 2 шт.;
- б) електронний осцилограф 2-х променевий з пам'яттю - 1 шт.;

- в) тестер -1 шт.;
- г) дистанційний мобільний вимірник температури з межею виміру 0,..., 70 градусів;
- д) стаціонарні ваги класу не більше 0,5.

Визначення К1 у (2.68)

- а) перелік контрольованих параметрів і межі зміни струму збудження представлені в табл.2.1;
- б) зміну Із виконувати зміною уставки завдання в збуднику двигуна;
- в) дії по вимогах табл. 2.1 виконати не менш трьох разів;
- г) струм холостого ходу установки заміряти за умови, що в скіпі відсутня налипла руда;
- д) всі виміри Із і Ія проводити після надходження сигналу від поперхового вимикача з одночасним запам'ятовуванням у пам'яті осцилографа;
- є) за результатами вимірів побудувати три графіки К в одних осях координат;
- ж) визначити погрішність у К1.

Таблиця 2.1

Перелік контрольованих параметрів і межі зміни струму збудження

№ п/п	Дата, час	Ія, А	Із, А	Іхх, А	К	Примітка
1	*	*	1,0	*	*	
2	*	*	0,95	*	*	
3	*	*	0,9	*	*	
4	*	*	0,85	*	*	
5	*	*	0,8	*	*	
6	*	*	1,1	*	*	
7	*	*	1,2	*	*	

Примітка. Знак "*" замінюється на отримані під час випробувань на реальні числа

Результати експериментальних досліджень

Нижче представлені приклади таблиць, видаваних системою на пульт оператора й у ПЕОМ диспетчера шахти й диспетчера комбінату:

- поточна інформація (табл. 2.3),
- інформація із запиту (табл.2.4 - 2.7).

Таблиця 2.3

Поточна інформація

1	12. 05. 25 09:43
2	Вага поточного скіпа 49,7 т
3	Скіпи, шт. 25
4	Вага 1130,52 т

Пояснення по рядках:

- 1- Цифри 12. 05. 25- дата, 09:43 поточний час із початку зміни;
- 2- Вага руди, виданої на гора, останнім скіпом;
- 3- Кількість скіпів, виданих на гора з початку зміни;
- 4- Загальна вага руди, виданих на гора 25 скіпами.

Таблиця 2.4

Погодинна інформація

1	12. 05. 25 Зміна 7- 13					
2	Час	Кількість	Вага	Час	Кількість	Вага
3	7-8	9	441,2	9-10	7	340,5
4	8-9	1	48,7	10-11	6	280,9

Пояснення по рядках:

- 1 - Цифри 12. 05. 25 - дата, зміна з 7 до 13 годин,

- 1 - Час - погодинний обліковий час;
 1 - Кількість - кількість виданих на гора скіпів;
 2 - Вага - загальна вага руди, виданої на гора скіпами, у тоннах,
 3 - Рядки 3 і 4 пояснень не вимагають.

Таблиця 2.5

Інформація про роботу за зміну

1	12. 05. 25 Зм. 7- 13	
2	Кількість скіпів	Вага, т
3	54	2 653,9
4	53	2604,75

Інформація з рядків табл.2.5 розшифровки не вимагає

Таблиця 2.6

Інформація про роботу за добу

1	12. 05. 25 –13. 05. 25	
2	Кількість скіпів	Вага, т
3	183	9057,7
4	180	8909,21

Інформація з рядків табл.2.6 розшифровки не вимагає

Таблиця 2.7

Інформація про роботу за місяць

1	Травень 2025	
2	Кількість скіпів	Вага, т
3	4575	298750,8
4	4570	298424,29

Інформація з рядків табл.2.9 розшифровки не вимагає

2.5 Вибір технічних засобів

2.5.1 Технічні дані проекрованої системи:

1. Напруга живлення 175 - 250 В, 50 Гц.
2. Потужність, Вт, не більше 10.
3. Кількість вхідних аналогових сигналів (рівень ± 200 мВ) - 2 .
4. Кількість вхідних двохпозиційних сигналів (рівень 3,5 - 30 В) -3.
5. Кількість вихідних двохпозиційних сигналів (ВК, 150 мА, 30В) -3.
6. Спосіб спілкування з машиністом установки – пульт уведення-виводу даних з використанням GSM зв'язку.
7. Спосіб спілкування системи з диспетчером шахти й диспетчером комбінату - GSM зв'язок.
8. Абсолютна погрішність виміру ваги 1,25т (2,5%).
9. Наявність убудованих засобів блискавкозахисту.
10. Частота знімання сигналів датчиків, Гц -20.
11. Габарити шафи для монтажу технічних засобів, мм 600 х 400 х 250.
12. Ступінь захисту - IP 21.
13. Спосіб підключення ліній зв'язку - блоки затискачів.
14. Кліматика мінус 20 плюс 60 градусів.
15. Режим обслуговування - один раз на місяць видалення пилу усередині й зовні шафи; раз в 2 роки заміна акумулятора живлення мікросхеми годинника контролера.

2.5.2 Вибір контролера

Контролер I-7188 XCD являє собою програмувальний логічний контролер, що працює в жорстких умовах промислового виробництва (дивися рис. 2.28). наведені короткі технічні характеристики контролера.

Технічні дані контролера 7188XCD

Найменування параметра	Од. вим.	Параметр
Тип процесора		80188-сумісний
Максимальна частота процесора	МГц	20
Оперативна пам'ять	кб	128
Енергонезалежна пам'ять EEPROM	кб	2
Електронний диск Flash	кб	512
Слотів розширення	шт	1
Слот розширення X306	шт	1
Каналів аналогового введення	шт	2
Вхідна напруга	В	+/-10
Послідовний інтерфейс		RS485, RS232/RS485
Максимальна швидкість	Біт/сек	115200
Вхідна напруга: Логічний 0: Логічна 1:	В	Від 0 до 1 Від 3,5 до 30
Каналів дискретного введення	шт	3
Каналів дискретного виводу	шт	3
Вихідний струм	мА	100
Комутуєма напруга	В	30
Сторожовий таймер	с	1.6
Індикатори		Світлодіоди, 4.5 розрядний 7-сегментний дисплей
Напруга живлення	В	Від +10 до +30
Споживана потужність	Вт	3
Програмне забезпечення		Mini OS7
Час наробітку на відмову	годин	95000
Умови експлуатації	°С	Від -25 до+75
Ширина	мм	72
Висота	мм	122
Глибина	мм	25
Вага	кг	0,2



Рис. 2.28. Зовнішній вигляд контролера 7188XCD [9]

2.5.3 Блоки з гальванічною розв'язкою (БГР)

Серія перетворювачів сигналів з гальванічною ізоляцією PSA-01 (нормуючі перетворювачі або нормалізатори) (рис. 2.29) призначена для перетворення й нормування входних сигналів напруги постійного струму, дієве значення змінної напруги, постійного струму, дієве значення змінного струму з індивідуальною гальванічною розв'язкою 1500 В по каналах. Залежність вихідного сигналу від зміни входного сигналу – лінійна. Кількість каналів в одному модулі залежить від того, яким є нормований вихід. Перетворювачі з вихідним нормованим сигналом постійної напруги мають чотири канали, а перетворювачі з вихідним нормованим сигналом постійного струму – три канали.



Рис. 2.29. Перетворювач сигналів з гальванічною ізоляцією PSA-01 [10]

Загальна структура побудови багатоканальних перетворювачів сигналів з гальванічною ізоляцією, на прикладі одного каналу, представлена на рис. 2.30.

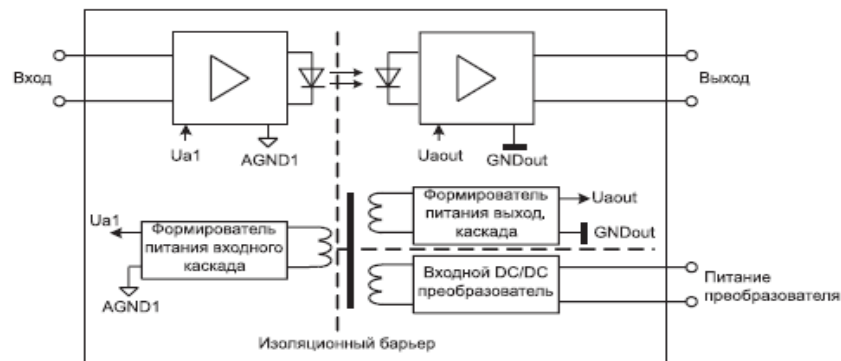


Рис. 2.30. Загальна структура побудови багатоканальних перетворювачів сигналів з гальванічною ізоляцією, на прикладі одного каналу.

Характеристики перетворювача PSA-01.01.14.18.03.8: 4 канали; вхід 0..+10В; вихід 0..+10В; частотний діапазон 0..5кГц.

2.5.4 Уніфіковане одноканальне промислове джерело живлення

Уніфіковані одноканальні промислові джерела живлення серії LRS (рис. 2.30) призначені для забезпечення живлення пристроїв стабільною напругою постійного струму. Вони відрізняються компактністю, високою надійністю та випускаються у закритому металевому корпусі.

Таблиця 2.9

Технічні характеристики джерела живлення Mean Well LRS-100-24

Найменування показників	Розмірність	Значення
Вхідна напруга	В	~85...~264 (47...63 Гц)
Струм споживання, не більше	А	1.5 (при 115 В) / 0.8 (при 230 В)
Кидок струму при включенні, не більше	А	Холодний старт: 40 (при 115 В) / 80 (при 230 В)
Номінальна вихідна потужність	Вт	96
Номінальна вихідна напруга постійного струму	В	24
Номінальний струм навантаження	А	4.2
Коригування вихідної напруги	В	22.8...26.4
Пульсації та шум вихідної напруги, не більше	мВ	150
ККД, типовий	%	89.5
Діапазон робочих температур	°С	-30...+70 (з деградацією потужності від +50°С)
Захист від перегріву (OTP): - відключення - відновлення	°С	Є (автоматичне)
Захист від перенапруги на вході (MOV)		Є
Захист від перенапруги на виході (OVP)	В	27...30
Відносна вологість (без конденсату)	%	20...95
Середній наробіток на відмову (MTBF)	год	> 300 000 (при 25°С)
Ступінь захисту від зовнішніх впливів		IP67 (корпус)
Розміри (Д x Ш x В)	мм	199 x 98 x 38
Гарантія	років	3

Джерела живлення серії LRS відповідають основним міжнародним стандартам безпеки та електромагнітної сумісності відповідно до класу В [12-

16]. Вони призначені для використання в промислових системах автоматики, керування, машинобудуванні та інших пристроях, що вимагають стабільного джерела постійного струму.



Рис. 2.31. Уніфіковане одноканальне промислове джерело живлення серії Mean Well LRS-100 [12]

2.5.5 Пульт оператора

Загальний вид пульта представлений на рис.2.32.



Рис. 2.32. Графічна панель оператора Delta DOP-107B [17]

Графічна панель оператора SH-300 відноситься до розряду нескладних засобів людино-машинного інтерфейсу, дуже простим в освоєнні й експлуатації, але проте маючим найбільш затребувані функції для подібного роду виробів, саме:

- монохромний ЖК дисплей 4,3” 192x64 пікселей, з підсвічуванням, здатний відображати 4 ряди по 24 знака;
- захист передньої панелі IP65;
- регулювання контрасту потенціометром;
- підтримка інтерфейсів RS232/422/485;
- опитування й обробка даних у реальному масштабі часу;
- 14 програмувальних кнопок на лицьовій стороні панелі;
- підтримка багатомовного відображення написів на екрані панелі;
- можливість захисту паролем;
- виведення аварійних сигналів на задані події;
- екранні об'єкти: індикатори, динамічні діаграми й графіки, написи, уведення з убудованої клавіатури й відображення даних з комірок пам'яті ПЛК (або ін. підключеного пристрою);
- зручне й дуже просте в освоєнні (безкоштовно входить у комплект поставки) програмне забезпечення, що не вимагає спеціальних навичок від користувача;
- наявність готових драйверів для зв'язку із ПЛК основних виробників (Mitsubishi, Omron, Siemens, Panasonic, Delta Electronics, Koyo, Vigor, FAB Array), а також стандартних драйверів Modbus (RTU, ASCII)

2.5.6 Модуль захисту від перенапруг

Призначення - захист однофазних і трифазних кіл від імпульсних потужних перешкод, викликаних розрядами блискавок і комутаційних процесів у силових ланцюгах.

Технічні дані модуля PU4BR 230/400:

- робоча напруга, В.....230;
- максимально допустиме напруження, В.....275;
- час запізнювання реакції пристрою
на підвищену напругу, нсек, не більше.....25;
- стійкість до короткого замикання, кА25;
- запобіжник, А.....160;
- кліматика, °С.....- 40, ..., + 60;
- габарити, мм.....100x60;
- сигналізація про факт спрацьовуваннясухий контакт.

2.5.7 Оптичні датчики положення

Для фіксації крайніх положень скіпів («верхня позиція», «нижня позиція») використано оптичні датчики ВБОТ-12М-5-У-1.5-ЛІ (вітчизняного виробництва, ТОВ «Сенсор-Захід» [18]). Ці датчики мають високу стійкість до вібрації, пилу та вологи, сертифіковані для використання на гірничих підприємствах.

З урахуванням глибини ствола шахти «Криворізька» (1 425 м) та вимог [19], у роботі передбачено встановлення 8 оптичних датчиків положення (по 4 на кожен скіп). Це забезпечує:

- дублювання сигналів у верхній та нижній крайніх позиціях (по 1 основному та 1 резервному датчику);
- надійне визначення зони гальмування;
- контроль наявності скіпа у критичних зонах ствола. Такий підхід виключає ризик аварій при відмові одного з датчиків і відповідає сучасним нормам промислової безпеки на гірничих підприємствах.

Таблиця 2.10

Технічні характеристики оптичних датчиків [19]

Найменування показників	Одиниця виміру	Значення
Модель	–	ВБОТ-12М-5-У-1.5-Л
Напруга живлення	В	10–30
Вихідний сигнал	–	NPN/NO
Дальність дії	мм	до 5 000
Ступінь захисту	–	IP67
Температурний діапазон	°С	–40 ... +70
Маса	г	180

2.5.8 Модем GSM

У пропонованій системі передбачено використання промислового GSM/LTE-терміналу Robustel R3000, який забезпечує надійну передачу даних у мережах 2G/3G/4G з будь-якої точки шахтного ствола. Пристрій має вбудований порт RS-232/RS-485 для безпосереднього з'єднання з контролером I-7188XCD, живлення від 24 В постійного струму, захист від перенапруг і електромагнітних перешкод, а також робочий температурний діапазон від –40 °С до +70 °С, що робить його придатним для експлуатації у машинному залі ШПУ.

Robustel R3000 забезпечує довгострокову стабільність зв'язку та повну сумісність з сучасними інфраструктурними вимогами.

Таблиця 2.11

Технічні характеристики GSM-терміналу Robustel R3000 [20]

Найменування показників	Од. виміру	Значення
Підтримка мобільних діапазонів	–	GSM 900/1800, UMTS B1/B8, LTE B1/B3/B7/B8/B20
Тип передачі даних	–	GPRS, EDGE, UMTS, LTE Cat.4
Інтерфейси	–	RS-232/RS-485 (програмований), Ethernet 10/100 Мбіт/с
Напруга живлення	В	9–36 (постійного струму)
Споживання струму	мА	350 (при 24 В)
Робоча температура	°С	–40 ... +70
Монтаж	–	DIN-рейка (35 мм)
Габарити	мм	115 × 90 × 30
Маса	г	320

2.6 Розробка блок-схеми алгоритму роботи системи

Спрощена блок-схема алгоритму роботи системи представлена на рис. 2.33, де аббревіатура означає наступне:

- аснп, алв і асвп - ознаки , формовані програмним шляхом з появою сигналу від датчиків відповідно нижня, середнього (крапка переваги) і верхнього положення скіпа;
- снп, спв і свп – сигнали датчиків положення;
- Л - програмний лічильник кількості виданих скіпів;
- Ія - струм якоря двигуна;
- Із струм збудження двигуна.

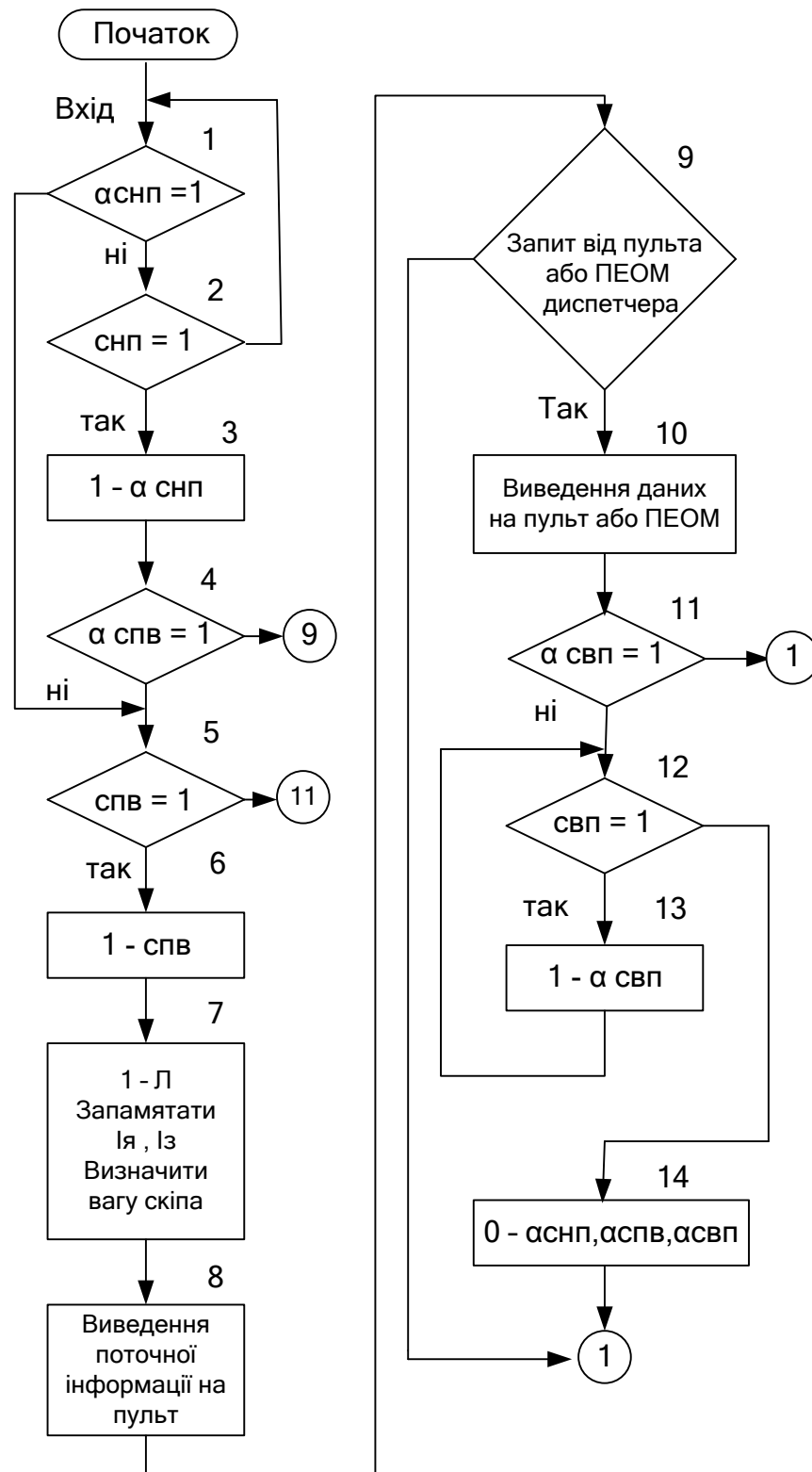


Рис. 2.33. Спрощена блок-схема алгоритму роботи системи
(розроблено автором)

Призначення операторів блок-схеми:

Оп.1,2 і 3 - очікування появи сигналу датчика снп і формування ознаки $\alpha_{снп}$ тільки він з'явиться;

Оп. 4,5 і 6 - очікування появи сигналу датчика спп і формування ознаки $\alpha_{спп}$ тільки він з'явиться;

Оп. 7 - крім дій, записаних в Оп.7, прив'язка ваги руди в скіпі до дати й астрономічного часу;

Оп. 8,9 і 10 - робота контролера з пультом і ПЕОМ;

Оп.11,12 і 13 - очікування появи сигналу датчика свп і формування ознаки $\alpha_{свп}$ тільки він з'явиться;

Оп.14 - очищення ознак α_i при зникненні сигналу свп.

Умовно команда рух скіпа “Вгору” і “Долілиць”, послідовність сигналів датчиків положення при русі скіпа представлена на рис.2.34. Тривалість сигналів снп, і свп при русі скіпа приблизно 1,2 сек., сигналу спв – 0,15 сек.

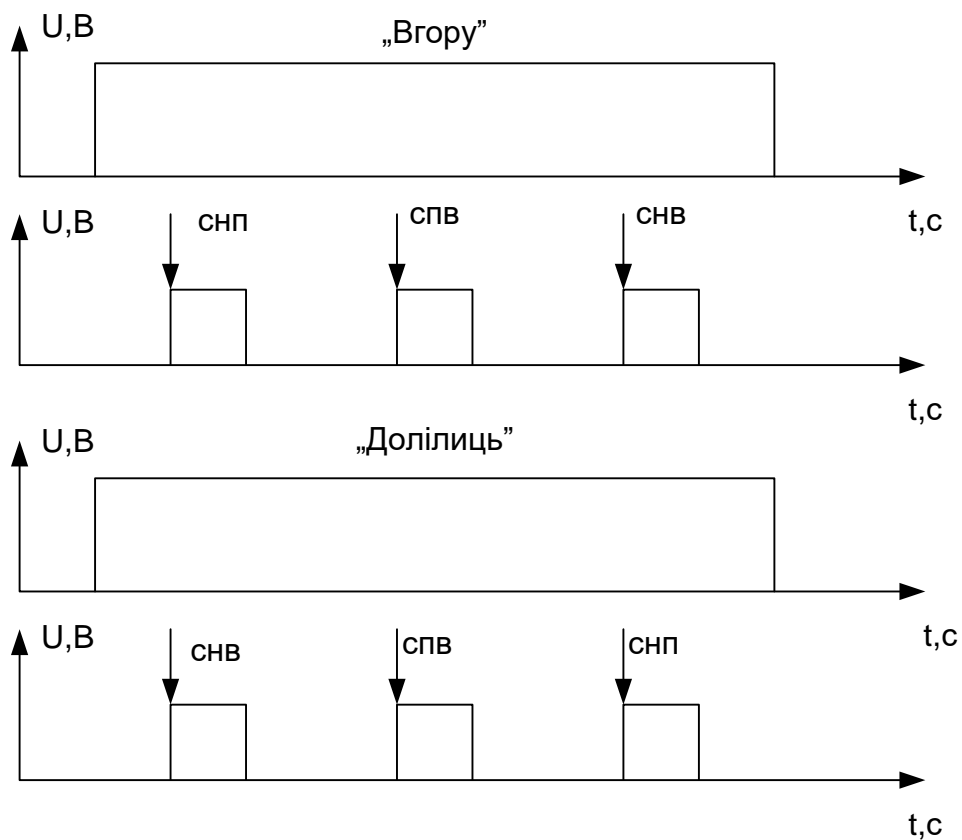


Рис. 2.34. Послідовність надходження сигналів
(розроблено автором)

2.7 Визначення похибки виміру ваги

По вимогах Замовника абсолютна похибка (δ) виміру ваги руди не повинна перевищувати 2,5 тонни. Це становить 5% від максимальної ваги руди в скіпі. Знайдемо всі складові δ .

$$\delta = \delta\Delta I_t + \delta\Delta I_a + \delta_n + \delta_{aцп} + \delta_{бгр} + \delta_{роз} + \delta_m \quad (2.71)$$

де $\delta\Delta I_t$ – похибка, обумовлена зміною опору якірного кола за рахунок нагрівання;

$\delta\Delta I_a$ - похибка, обумовлена зміною струму якоря за рахунок зміни струму збудження;

δ_n - похибка, обумовлена налипанням руди в скіпі;

$\delta_{aцп}$ - похибка АЦП;

$\delta_{бгр}$ - похибка блоку нормалізації й гальванічної розв'язки;

$\delta_{роз}$ - похибка розрахунків;

δ_m - методична похибка, обумовлена частотою знімання сигналів датчиків.

Виконаємо кількісну оцінку складових (2.71).

Для визначення величини $\delta\Delta I_t$ розглянемо схему заміщення на рис. 2.9, де прийняті наступні умовні позначки:

U_g - напруга на виході генератора;

U_d - напруга на двигуні;

R_g - сумарний активний опір всіх складових якірного кола генератора;

$R_{лз}$ - сумарна напруга ліній зв'язку між якорями генератора й двигуна;

R_d - сумарний активний опір всіх складових якірного кола двигуна.

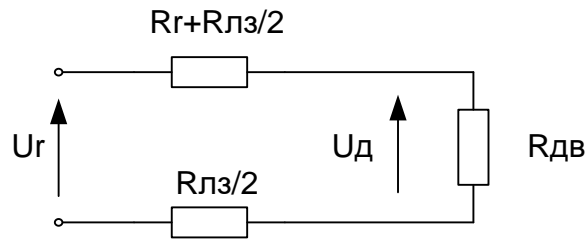


Рис. 2.35. Спрощена схема заміщення якірних кіл
(розроблено автором)

Як видно з рис.2.35, при зміні опорного складового силового кола напруга U_d не буде відповідати заданому значенню U_g . Цей факт буде виявлений регулятором напруги і як результат його роботи - збільшення напруги U_g і, отже, U_d .

Таким чином, складову $\delta\Delta I_T$ в (2.71) можна виключити.

Похибка $\delta\Delta I_A$, обумовлена зміною струму якоря за рахунок зміни струму збудження, в (2.68) включає наступні складові:

$$\delta\Delta I_A = \delta b_{гр} + \delta a_{цп} + \delta r_{оз} + \delta K + \delta m \quad (2.72)$$

На підставі паспортних даних виробників приймемо сумарну величину похибки блоку розв'язки $\delta b_{гр}$ і АЦП $\delta a_{цп}$ рівною 0,3%. Похибка розрахунків $\delta r_{оз}$, рівною нулю. Похибка визначення значення коефіцієнта δK рівною 0,5%. Великою методичною похибкою δm , як буде показано нижче, можна зневажити.

Таким чином, сумарна похибка $\delta\Delta I_A$ визначення впливу зміни струму збудження на струм якоря становить 0,8%.

Наступна складова в (2.71) - похибка δn , обумовлена налипанням руди в скіпі. За інформацією представників служби експлуатації піднімальних установок кількість руди, що налипнула в скіпі коливається від 0,2 до 0,5 тонни. Тому для розрахунків δn , обумовлену налипанням руди в скіпі, приймаємо рівною 1%.

Суму складових дацп і дбгр приймаємо рівними 0,3%, складову дроз-рівною нулю.

Методична похибка δ_m залежить від частоти знімання сигналів датчиків. У нашій випадку знімання сигналів виконується по сигналу поверхового вимикача спв. Тривалість сигналу спв - 0,15 сек., привод перебуває в стаціонарному режимі руху. Час прийому й обробки сигналів датчиків у контролері в порівнянні із тривалістю сигналу спв зневажливо малий (наприклад, час перетворення вхідного сигналу сучасними АЦП лежить у межах 0,001 – 0,5 мілісекунди). Тому в нашій випадку δ_m приймаємо рівною нулю. Для того, щоб “не пропустити” сигнал спв період звертання контролера до датчиків приймаємо, рівним 0,05 сек.

2.8 Економічне обґрунтування проектного рішення

Модернізація скіпової підйомної установки шахти «Криворізька» шляхом заміни системи «генератор-двигун» (Г-Д) на систему «тиристорний перетворювач-двигун» (ТП-Д) та впровадження мікропроцесорної системи зважування скіпів (МСЗС) має високу економічну доцільність. На сьогодні ведеться облік добутої й відвантаженої залізної руди тільки комерційний, що у свою чергу дає не оперативний результат, якого досить для розрахунків зі споживачами. Дажливо зазначити, що саме висока питома вага залізної руди (густина близько 3,5-4,5 т/м³) та великі обсяги видобутку роблять точність зважування скіпів критично важливою для економіки підприємства. Кожна похибка у 100–200 кг на одному підйомі при великій кількості циклів перетворюється на тисячі тонн необлікованої або перевантаженої сировини. Облік ведеться вже безпосередньо при відвантаженні вже на залізничних вагах. Технологічний облік відсутній. Для ПАТ «Криворізький залізорудний комбінат» це зараз актуально, тому що керівникам різного рангу необхідна точна інформація про добуту руду в період роботи, наприклад за зміну. Тому що вивантажена руда складається на відвали.

2.8.1 Вихідні техніко-економічні показники

Основні параметри роботи скіпової підйомної установки наведено в табл. 2.12.

Таблиця 2.12

Основні техніко-економічні показники роботи ШПУ [20; 21]

№ з/п	Найменування показника	Умовне позначення	Одиниця виміру	Значення
1	Річний обсяг піднімаємої руди	V1	тонн	1 270 000
2	Фактичний час роботи ШПУ	Tф	година	6 570
3	Фактична продуктивність ШПУ	Пр	т/година	193,3
4	Собівартість виробництва 1 т	C'	грн/т	3 200
5	Ціна 1 т руди	Ц	грн/т	4 293

2.8.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні витрати розраховано згідно з класифікацією основних фондів [22]:

IV група ОФ (мінімальний строк – 5 років): силове електротехнічне обладнання (ТП-Д, трансформатор);

IV група ОФ (мінімальний строк – 2 роки): електронно-обчислювальні системи (ПЛК, НМІ, датчики, зв'язок).

Таблиця 2.13

Кошторис капітальних витрат (без ПДВ)

№ п/п	Капітальні витрати	Тип / марка	Сумарна вартість, грн
IV група ОФ (Силова частина)			
1	Тиристорний електропривод (2 шт)	КТЕУ-6300/930	17 000 000
2	Силовий трансформатор	ТДТП-8000/10У2	2 400 000
3	Транспорт (2%)	–	388 000
4	Монтаж та ПНР (20%)	–	3 880 000
5	Разом (ΔK_1)	–	23 668 000
IV група ОФ (Автоматика)			
6	ПЛК I-7188XCD (2 шт)	–	44 000
7	Блоки гальванічної розв'язки	PSA-01	9 000
8	Джерело живлення (2 шт)	Mean Well LRS-100-24	4 800
9	GSM-модем (2 шт)	Robustel R3000	15 000
10	Графічна панель	Delta DOP-107B	12 500
11	Датчики положення (8 шт)	ВБОТ-12М-5-У-1.5-Л	14 400
12	Модулі захисту (2 шт)	PU4BR	6 400
13	Транспорт + монтаж (30%)	–	18 330
14	Разом (ΔK_2)	–	81 430
15	Проектні роботи	–	194 000
16	Демонтаж Г-Д	–	200 000
17	Усього (ΔK)	–	24 143 430

2.8.3 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

Амортизація нараховується прямим методом:

IV група ОФ (Силовa частина):

$$A_{IV_{\text{сил}}} = \Delta K_1 / 5 = 523\,668\,000 / 5 = 4\,733\,600 \text{ грн/рік} \quad (2.73)$$

IV група ОФ (Автоматика):

$$A_{IV_{\text{авт}}} = \Delta K_2 / 2 = 81\,430 / 2 = 40\,715 \text{ грн/рік} \quad (2.74)$$

Загальна амортизація:

$$A = A_{IV_{\text{сил}}} + A_{IV_{\text{авт}}} = 4\,733\,600 + 40\,715 = 4\,774\,315 \text{ грн/рік} \quad (2.75)$$

Поточні витрати:

Ремонт (2%):

$$B_{\text{пр}} = \Delta K \cdot 0,02 = 24\,143\,430 \cdot 0,02 = 482\,869 \text{ грн} \quad (2.76)$$

Інші витрати (0,5%):

$$B_i = \Delta K \cdot 0,005 = 24\,143\,430 \cdot 0,005 = 120\,717 \text{ грн} \quad (2.77)$$

Таблиця 2.14

Додаткові експлуатаційні витрати

Найменування витрат	Ум. позн.	Величина, тис. грн
Амортизація	A	+4 774,3
Ремонт	B _{пр}	+482,9
Інші витрати	B _i	+120,7
Разом	$\Delta C_{\text{пв}}$	+5 377,9

2.8.4 Розрахунок економічного ефекту

В зв'язку з більшою інформованістю про фактичний стан завантаженості скіпа оператор може використовувати більш раціонально його вмісткість, тобто не відправляти недозавантажені на 5-10% скіпи, перестраховуючись від перевантажень, як це робилося раніше. Таким чином джерела зростання продуктивності на 5%:

1. Точне зважування (2,5%): усунення недозавантаження скіпів завдяки корекції за струмом збудження та холостого ходу.

2. Оптимізація тахограми (1,5%): жорстка характеристика ТП-Д дозволяє скоротити час циклу.

3. Скорочення простоїв (1,0%): відсутність колекторно-щіткових вузлів і автоматична діагностика.

Розрахунок збільшення обсягу:

$$\Delta V = \text{Пр} \cdot 0,05 \cdot T_{\text{ф}} = 193,3 \cdot 0,05 \cdot 6\,570 = 63\,500 \text{ т/рік} \quad (2.78)$$

$$V_2 = V_1 + \Delta V = 1\,270\,000 + 63\,500 = 1\,333\,500 \text{ т} \quad (2.79)$$

$$P_{\text{реал}} = \Delta V \cdot (\text{Ц} - \text{С}') = 63\,500 \cdot (4\,293 - 3\,200) = 69\,405\,500 \text{ грн} \quad (2.80)$$

Розрахунок економії електроенергії:

Корисна енергія за цикл (підйом 50 т на 1 425 м):

$$A_{\text{кор}} = m \cdot g \cdot H / 3\,600\,000 = 50\,000 \cdot 9,81 \cdot 1\,425 / 3\,600\,000 = 194,0 \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (2.81)$$

Кількість циклів на рік:

$$N = V_1 / 50\,000 = 1\,270\,000 / 50\,000 = 25\,400 \quad (2.82)$$

Річне споживання електроенергії системою Г-Д (ККД = 0,62):

$$W_{\text{Г-Д}} = A_{\text{кор}} \cdot N / \eta_{\text{Г-Д}} = 194,0 \cdot 25\,400 / 0,62 = 7\,948\,065 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} \quad (2.83)$$

Річне споживання електроенергії системою ТП-Д (ККД = 0,86):

$$W_{\text{ТП-Д}} = A_{\text{кор}} \cdot N / \eta_{\text{ТП-Д}} = 194,0 \cdot 25\,400 / 0,86 = 5\,730\,233 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} \quad (2.84)$$

Економія електроенергії:

$$\Delta W = W_{Г-д} - W_{ТП-д} = 7\,948\,065 - 5\,730\,233 = 2\,217\,832 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік} \quad (2.85)$$

Грошовий ефект від економії електроенергії (тариф 10,5 грн/кВт·год з ПДВ):

$$E_{ел} = 2\,217\,832 \cdot 10,5 = 23\,287\,236 \text{ грн/рік} \quad (2.86)$$

Загальний річний ефект:

$$E_{заг} = E_{ел} + P_{реал} = 23\,287\,236 + 69\,405\,500 = 92\,692\,736 \text{ грн} \quad (2.87)$$

Чистий прибуток (податок 25%):

$$P_{чист} = E_{заг} \cdot (1 - 0,25) = 92\,692\,736 \cdot 0,75 = 69\,519\,552 \text{ грн} \quad (2.88)$$

Термін окупності:

$$T = \Delta K / P_{чист} = 24\,143\,430 / 60\,103\,054 = 0,40 \text{ року} \approx 4,8 \text{ місяців} \quad (2.89)$$

Річний економічний ефект ($E_n = 0,15$):

$$E_p = E_{заг} - E_n \cdot \Delta K = 92\,692\,736 - 0,15 \cdot 24\,143\,430 = 89\,071\,221 \text{ грн} \quad (2.90)$$

Таблиця 2.15

Основні техніко-економічні показники

№	Найменування показників	Одиниця вим.	Базовий	Проектний	Відхилення
1	Річний обсяг руди	тис. т	1 270	1 333,5	+63,5
2	Продуктивність	т/год	193,3	202,96	+9,665
3	Собівартість 1 т руди	грн/т	3 200,00	3 142,00	-58,00
3.1	– амортизація	грн/т	–	+3,58	+3,58
3.2	– ремонт	грн/т	–	+0,36	+0,36
3.3	– інші витрати	грн/т	–	+0,09	+0,09
3.4	– економія електроенергії	грн/т	–	-17,47	-17,47
3.5	– ефект від додаткового обсягу	грн/т	–	-43,56	-43,56
4	Капіталовкладення	тис. грн	–	24 143,4	–
5	Термін окупності	місяців	–	4,2	–
6	Річний ефект	млн грн	–	89,07	–

Пропоноване рішення є високоефективним і економічно доцільним:

- забезпечує річний ефект понад 89 млн грн;
- окуповується за 4,2 місяці;
- підвищує точність обліку, надійність і енергоефективність.

2.9 Охорона праці при експлуатації модернізованої системи

Впровадження модернізованої системи управління скіповим підйомником супроводжується підвищенням рівня автоматизації, використанням сучасного електронного обладнання та зміною деяких технологічних процесів. Це вимагає

перегляду існуючих інструкцій з охорони праці, оновлення навчання персоналу та додаткових заходів щодо безпеки при обслуговуванні нового устаткування.

2.9.1 Аналіз шкідливих і небезпечних виробничих факторів

Під час експлуатації та обслуговування модернізованої системи машиніст підйомної установки та електрики можуть зазнавати впливу наступних шкідливих і небезпечних факторів:

- електрична напруга у силових та слабкострумних колах (до 10 кВ у силовій частині та до 250 В у ланцюгах керування);
- підвищений рівень шуму (до 86 дБ) у машинному залі, зумовлений роботою двигунів, вентиляторів і редукторів;
- вібрація (частотою до 25 Гц, амплітудою до 0,1 мм), що передається від рухомих частин підйомної машини;
- підвищена запиленість повітря (до 4,6 мг/м³), особливо під час обслуговування шаф з електронним обладнанням;
- небезпека ураження електричним струмом при роботі з блоками живлення, ПЛК, модулями гальванічної розв'язки;
- небезпека опік при контакті з елементами живлення, які можуть нагріватися під час тривалої роботи;
- небезпека падіння з висоти при обслуговуванні шаф, розташованих на металоконструкціях;
- небезпека впливу електромагнітних полів від силових перетворювачів (хоча рівень відповідає вимогам [14]).

2.9.2 Заходи зі зниження впливу шкідливих факторів

1. Електробезпека:

- усі шафи з ПЛК, живленням, модулями захисту встановлено на металоконструкціях із заземленням за [23];
- перед виконанням робіт із заміни або налагодження обладнання обов'язково виконується повне знеструмлення ділянки та вивішка таблички «Не вмикати – працюють люди!»;
- у колах живлення передбачено автоматичні вимикачі з диференціальним захистом (тип А, 30 мА).

2. Захист від шуму та вібрації:

- робоче місце машиніста розташовано у відокремленому приміщенні зі звукопоглинаючою обробкою стін;
- персоналу, що працює у машинному залі, видано індивідуальні засоби захисту слуху (наушники з рівнем зниження шуму ≥ 25 дБ).

3. Захист від пилу:

- шафи з електронним обладнанням мають ступінь захисту IP65 (передня панель) та IP20 (внутрішні блоки), що запобігає попаданню пилу на контакти;
- прибирання в шафах проводиться щомісяця за допомогою промислового пилососа з антистатичним фільтром.

4. Організаційні заходи:

- персонал проходить цільове навчання з експлуатації нової системи, включаючи роботу з GSM-зв'язком, діагностикою ПЛК та перезапуском модемів;
- у випадку збою GSM-зв'язку система автоматично ініціює перезапуск модему (відключення живлення на 10 с), без необхідності втручання людини.

5. Захист від падіння з висоти: для доступу до шаф, розташованих на висоті понад 1,3 м, передбачено стійкі драбини з поручнями та пояс безпеки, який кріпиться до сталевих конструкцій.

Таблиця 2.16

Основні заходи охорони праці при експлуатації модернізованої системи

Небезпечний фактор	Захід	Відповідність нормативним документам
Електрична напруга	Заземлення, автоматичні вимикачі, блокування	[24]
Шум	Звукоізольоване приміщення, ЗІЗ для слуху	[25]
Вібрація	Підвіски шаф на гумових амортизаторах	[26]
Пил	Шафи IP65, регулярне прибирання	[27]
ЕМС	Відповідність класу В за EN 55032	[23]

2.9.3 Організація медичного обслуговування та засобів індивідуального захисту

Згідно з [23], персоналу, що обслуговує модернізовану систему, видано:

- каски захисні [24];
- окуляри захисні з бічними щитками [25];
- рукавички діелектричні [26];
- взуття спеціальне з металевим підкаблучником;
- навушники зниження шуму [27].

Медичні огляди проводяться щорічно у відповідності з [28], оскільки робота пов'язана з експлуатацією електроустаткування підвищеної напруги та перебуванням у шумному середовищі.

2.9.4 Пожежна безпека

Модернізована система відповідає вимогам [29]:

- джерела живлення (Mean Well LRS-100-24) мають вбудовані захисти від КЗ, перенапруги та перегріву;
- у шафах передбачено автоматичний пожежний сповіщувач типу ДИП-34А;
- на кожному робочому місці розміщено 1 порошковий вогнегасник ВП-4;
- кабельні вводи уштукнені вогнестійким герметиком.

У разі спалаху система автоматично відключає живлення всіх слабкострумів ланцюгів за допомогою реле-роз'єднувача з часовим реле (час затримки – 3 с).

Таким чином модернізована система значно знижує ризики для обслуговуючого персоналу завдяки:

- автоматизації діагностики (зменшення необхідності ручного втручання);
- наявності вбудованих захистів у сучасному обладнанні;
- чіткій організації робочого місця та наявності ЗІЗ.

Впровадження перелічених заходів покращує умови праці порівняно з існуючою системою на базі застарілих контролерів «КОМПАКТ-24» та модемів GVC, які потребували частого ручного перезапуску у неізольованих умовах.

ВИСНОВКИ

У випускній кваліфікаційній роботі виконано комплексне інженерне дослідження, спрямоване на модернізацію системи управління скіповою підйомною установкою шахти «Криворізька» з одночасним забезпеченням точного технологічного обліку руди.

На основі аналізу режимів роботи було виконано розрахунок моментів обертання та побудовано діаграму рушійних зусиль. За результатами розрахунків обрано двигун постійного струму П2Ш-800-255-8КУХЛ4 потужністю 5000 кВт, швидкістю 63 об/хв та допустимим кратковременним перевантаженням $\gamma = 2,4$.

Для забезпечення енергоефективного та надійного керування вибрано комплектний тиристорний електропривод КТЕУ-6300/930-1248334-500Р УХЛ4, що відповідає сучасним вимогам до промислових систем автоматизації.

Аналіз статичних характеристик показав, що без зворотного зв'язку за швидкістю статизм системи досягає 98,54%, що є неприйнятно високим для режимів стабільного регулювання. Для усунення цього недоліку введено жорсткий зворотний зв'язок за швидкістю за допомогою тахогенератора ПТ-42. Це дозволило знизити статизм замкненої системи при глибині регулювання $D = 5$ до $\leq 0,5\%$, що повністю задовольняє вимоги нормативної документації.

Паралельно вирішено задачу точного обліку видобутої руди. На основі аналізу існуючих методів запропоновано мікропроцесорну систему зважування скіпів, яка враховує струм якоря, струм збудження та струм холостого ходу для компенсації систематичних похибок. Структура системи, обране обладнання (контролер I-7188XCD, GSM-термінал Robustel R3000, HMI Delta DOP-107B) та алгоритми обробки сигналів забезпечують абсолютну похибку вимірювання не більше $\pm 2,5$ т ($\leq 5\%$ від номінальної вантажопідйомності скіпа 50 т).

Моделювання перехідних процесів підтвердило стійкість і якість динамічних характеристик запропонованої системи. Таким чином, проектне

рішення є технічно обґрунтованим, економічно доцільним і готовим до промислового впровадження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Дес'ятнюк, В. Н., Савицький, В. І., Філіпп, Ю. Б., Салін, М. А., & Хижняк, В. Я. (2004). Мікропроцесорний вимірювач ваги руди в скіпі шахтної підйомної установки. Приладобудування та комп'ютерні технології, (32–33), 32–33.
2. ArcelorMittal Кривий Ріг. (2024). Технічна характеристика скіпової підйомної установки шахти «Криворізька» (Внутрішній документ). Кривий Ріг.
3. ДСТУ 7669:2008. Канати сталеві подвійної звивки типу ЛК-РО конструкції 6x36(1+7+7/7+14)+1 о.с. Технічні умови. [Чинний від 2008-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2008. 14 с.
4. ТОВ «Електротехпром». (2023). Паспорт на двигун типу П2Ш-800-255. Кривий Ріг.
5. Білецький, В. С., & Слободян, М. І. (2020). Сучасні методи автоматизації підйомних установок у гірничій промисловості. Гірнична електромеханіка та автоматика, (4), 12–18.
6. Волох, І. С., & Загайнов, С. М. (2022). Методи корекції похибок у системах зважування на базі мікропроцесорних контролерів. Електротехніка і електромеханіка, (5), 44–50. <https://doi.org/10.20998/2074-272X.2022.5.07>
7. Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут гірської електромеханіки. (2021). Рекомендації щодо модернізації шахтного електроприводу. Дніпро.
8. Вовк, А. О., & Горбачов, О. В. (2023). Використання GSM-модемів у промислових системах диспетчеризації. Промислова автоматика, (2), 22–27.
9. ТОВ «Пест' Дата Системс». (2025). Контролери серії I-7188. Технічний опис та інструкція з експлуатації. Київ.
10. ТОВ «Промстат». (2025). Каталог перетворювачів сигналів з гальванічною ізоляцією PSA-01. Київ. <https://promstat.ua>

11. ТОВ «АВТОМЕЛ». (2024). Технічні умови на мікропроцесорний вимірювач ваги (МВВ). Кривий Ріг.
12. MEAN WELL Enterprises Co., Ltd. LRS-100 series – 100W Single Output Enclosed-Type Power Supply. – Taipei, Taiwan, 2024. – Режим доступу: <https://www.meanwell.com/product/LRS-100>
13. IEC 62368-1:2018. Audio/video, information and communication technology equipment – Part 1: Safety requirements. – Geneva: International Electrotechnical Commission, 2018.
14. EN 55032:2015 + A1:2020. Electromagnetic compatibility of multimedia equipment – Emission requirements. – Brussels: CENELEC, 2020.
15. EN 55035:2017 + A11:2020. Electromagnetic compatibility of multimedia equipment – Immunity requirements. – Brussels: CENELEC, 2020.
16. TR CU 004/2011. Технічний регламент Таможенного союзу «Про низьковольтне обладнання». – Мінськ: ЄЕК, 2011.
17. Delta Electronics. DOP-107B Human Machine Interface. Specifications and User Manual. – Taipei, 2025. – Режим доступу: <https://www.delta-electronics.com/products/automation/hmi/dop-b-series> (дата звернення: 27.12.2025).
18. ТОВ «Сенсор-Захід». *Датчики ВБОТ: Паспорт та технічні умови.* — Львів, Україна, 2023
19. ДБН В.2.5-23:2023 «Підйомно-транспортне обладнання. Правила безпечної експлуатації»
20. Robustel Technologies. R3000 Industrial Cellular Router Datasheet. – Shenzhen, China, 2025. – URL: <https://www.robustel.com/product/r3000/> – Дата звернення: 27.12.2025.
21. ArcelorMittal Кривуї Ріг. *Ринкові ціни на залізорудну сировину: звіт за I кв. 2025 р.* – Кривий Ріг, 2025
22. Податковий кодекс України. Розділ XIV. Основні фонди. – Версія від 01.01.2025.

23. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги в електричних мережах загального призначення. – Київ: Держспоживстандарт, 2014.
24. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕП). – Затв. Наказом Міненерго України № 258 від 08.08.2019.
25. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми виробничого шуму, вібрації та ультразвуку. – Київ, 1999.
26. ДСТУ ISO 2631-1:2002. Вібрація та удари. Оцінка впливу на людину. – Київ: Держстандарт, 2002.
27. СанПіН 2.2.4-171-10. Гігієнічні вимоги до повітря робочої зони. – Київ: МОЗ України, 2010.
28. Наказ МОЗ України № 903 від 16.10.2020. Про затвердження Переліку професійних захворювань.
29. ДБН В.2.5-61:2019. Пожежна безпека об'єктів будівництва. – Київ: Мінрегіон, 2019.
30. С. Гушко. Вимоги з оформлення письмових робіт у державному університеті економіки і технологій. Затверджено Науково-методичною радою Державного університету економіки і технологій (протокол №2 від «08» грудня 2020р.). Навч. посібник. Кривий Ріг, 2020.-53с.



Звіт подібності

Метадані

Назва організації		підрозділ		
STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY		STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY		
Заголовок				
141-5д-2026врм				
Автор		Науковий керівник / Експерт		
141-5д-2026врм		Молдло Є.О.		
Кількість слів	Кількість символів	Дата звіту	Дата редагування	ІД документу
14794	100354	1/13/2026	1/13/2026	333099436

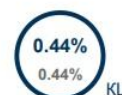
Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.



14794

Кількість слів



100354

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв		307
Інтервали		0
Мікропробіли		0
Білі знаки		0
Парафрази (SmartMarks)		54

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

ПОРЯДКОВИЙ НОМЕР	НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)	КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ (ФРАГМЕНТІВ)
1	2025_bak Savchuk_Nikita_Andriyovych_AKIT-21-2 7/4/2025 Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University (Кафедра AiC)	40 0.27 %
2	Електропривод скіпової підйомної установки ш. «Ювілейна» ПАТ «ЄВРАЗ СУХА БАЛКА» 6/12/2021 Круууу Rih National University (Кафедра автоматизованих електромеханічних систем в промисловості та транспорті)	32 0.22 %

ЗГОДА здобувача(чки) освіти Державного університету економіки і технологій
про перевірку кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії ДУЕТ

Я, *Китайгора Максим Юрійович*, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу. Стверджую, що кваліфікаційна магістерська (бакалаврська) робота (назва роботи повністю) виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають покликання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до пункту 5.8 «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» згадана робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ) та ознайомлений(на) з умовами такого розміщення.

01.06. 2025