

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

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

ТЕМА РОБОТИ:

**Розробка системи керування тяговими електромеханічними комплексами
рудникових електровозів по системі багатьох одиниць**

Виконав: студент групи ЕЕМ-22-1

Ігор БОНДАРЧУК

Керівник випускної роботи _____

д.т.н., проф. Олег СІНЧУК

Нормо контролер _____

д.т.н., проф. Олег СІНЧУК

Декан ЕТФ _____

к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____

к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг 2026 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

БОНДАРЧУК Ігор Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Розробка системи керування тяговими електромеханічними
комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць

1. Термін подання студентом роботи: 19 червня 2026 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є розробка системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Пропозиції щодо підвищення надійності тягових двигунів та зростання продуктивності праці при відкочуванні гірничої маси завдяки розробці системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць; II. Розробка системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць; III. Рекомендована сфера застосування та очікування результатів впровадження розробки системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Олег СІНЧУК		
II	Олег СІНЧУК		
III	Олег СІНЧУК		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Розробка електричної принципової схеми системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць	24.05.26
2	Розрахунок складових елементів системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць	07.06.26
3	Очікування від результатів впровадження розробки системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць	15.06.26

Дата видання завдання 18.05.2026 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Ігор БОНДАРЧУК
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Олег СІНЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Розробка системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць»

41 с., 5 рис., 15 літературних джерел

Мета роботи: Підвищення продуктивності та безпеки підземного залізничного транспорту шахт і рудників шляхом розробки та дослідження мікропроцесорної системи узгодженого керування тяговими електромеханічними комплексами двох електровозів, розташованих у голові та хвості поїзда (за системою багатьох одиниць).

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

Проаналізувати специфіку та режими руху важковагових рудникових составів, виявивши фактори, що обмежують їхню продуктивність (пробуксовування, динамічні удари в зчіпках, обмеження по зчепленню).

Розробити математичну модель руху поїзда, що складається з двох локомотивів (на початку та в кінці) і вантажних вагонів, з урахуванням профілю колії та пружно-дисипативних зв'язків між ланками.

Створити алгоритми синхронізації тягових і гальмівних моментів для головного та хвостового електровозів, які мінімізують повздовжні зусилля в зчіпних пристроях і запобігають буксуванню колісних пар.

Обґрунтувати вибір каналу зв'язку (дротового або бездротового в умовах підземних виробок) для надійної передачі керуючих і діагностичних сигналів між локомотивами в режимі реального часу.

Оцінити техніко-економічну ефективність впровадження системи багатьох одиниць за критеріями збільшення маси поїзда, підвищення

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

пропускної здатності відкатаних виробок та зниження зносу колій і бандажів.

РУДНИКОВИЙ ЕЛЕКТРОВОЗ, СИСТЕМА БАГАТЬОХ ОДИНИЦЬ
(СБО), ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИЙ КОМПЛЕКС,
СИНХРОНІЗАЦІЯ МОМЕНТІВ, ПІДЗЕМНИЙ ТРАНСПОРТ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	8
Розділ 1. Пропозиції щодо підвищення надійності тягових двигунів та зростання продуктивності праці при відкочуванні гірничої маси завдяки розробці системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць	12
1.1. Пропозиції щодо підвищення надійності тягових двигунів та зростання продуктивності праці при відкочуванні гірничої маси завдяки розробці системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць	12
Розділ 2. Розробка системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць.....	14
2.1. Розробка електричної принципової схеми системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць.....	14
2.2. Розрахунок складових елементів системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць.....	17
2.3. Запропоноване рішення щодо розробки системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць.....	25
Розділ 3. Рекомендована сфера застосування та очікування результатів впровадження розробки системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць.....	27
3.1. Рекомендована сфера застосування результатів впровадження розробки системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць	27

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

3.2. Очікування від результатів впровадження розробки системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць.....	32
Висновки	33
Список використаних джерел	35
Додаток А.....	37
Додаток Б	38
Додаток В.....	39
Додаток Г	40
Додаток Д.....	41

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Проблематика підземного залізничного транспорту

Гірничодобувна промисловість України є основою сировинної та енергетичної незалежності держави.

Інтенсифікація підземних гірничих робіт, перехід на глибші горизонти та збільшення обсягів видобутку корисних копалин висувають нові жорсткі вимоги до внутрішньошахтного транспорту.

Основним засобом переміщення гірничої маси по магістральних виробках залишається локомотивна відкатка.

Проте традиційні методи організації руху, за яких один локомотив тягне весь состав за собою, практично вичерпали свій потенціал модернізації та стримують загальну продуктивність шахти чи рудника.

Обмеження класичної схеми відкатки

Експлуатація одиночних рудникових електровозів супроводжується низкою технічних обмежень:

1. Обмеження по силі зчеплення.

Маса поїзда, яку може зрушити з місця локомотив, лімітується його зчіпною вагою та коефіцієнтом зчеплення коліс із рейками.

Навіть використання найважчих серійних шахтних електровозів (наприклад, АМ8Д чи К14) не дозволяє безмежно нарощувати довжину составів, оскільки виникає буксування колісних пар, особливо на зволожених чи забруднених ділянках колії.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

2. Повздовжні динамічні зусилля.

При розгоні або гальмуванні довгого поїзда в зазорах зчіпних пристроїв вагонів виникають значні знакозмінні ударні навантаження.

Це призводить до передчасного зносу рухомого складу, обриву зчіпок та аварійних сходів вагонів з рейок.

3. Складність профілю виробок.

Гірничі виробки мають значні та змінні ухили, круті радіуси поворотів, що створює ризик втрати керованості поїздом при гальмуванні одиночним локомотивом.

Концепція системи багатьох одиниць (СБО) типу "Голова-Хвіст"

Кардинальним вирішенням зазначених проблем є перехід на систему багатьох одиниць, яка передбачає розподілений розподіл тягових зусиль по довжині поїзда.

У конфігурації, де один електровоз знаходиться на початку (головний), а другий — у кінці складу (хвостовий), досягається оптимальний розподіл навантажень.

Така схема кардинально змінює фізику взаємодії елементів поїзда: замість розтягування всього вантажу одним локомотивом, поїзд одночасно піддається тяговому зусиллю спереду та підштовхуванню ззаду.

Це дозволяє вдвічі збільшити масу корисного вантажу в одному рейсі, пропорційно підвищуючи продуктивність відкатки без необхідності закупівлі дорожчих надважких локомотивів чи заміни рейкового господарства на більший профіль.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Складність реалізації та науково-технічна задача

Головна складність впровадження схеми "голова-хвіст" полягає у забезпеченні точного та безінерційного узгодження роботи тягових електромеханічних комплексів обох локомотивів.

Неузгодженість дій, навіть на частку секунди, може призвести до того, що один локомотив почне "гальмувати" інший, або хвостовий електровоз створить надмірне штовхаюче зусилля, яке викличе "складання" поїзда всередині составу та витискання вагонів з колії.

Рудникові електровози працюють в умовах обмеженого простору, високої вологості, запиленості та наявності вибухонебезпечного середовища (за метаном та пилом).

Традиційні системи дротового зв'язку між локомотивами через увесь состав є ненадійними через постійні механічні пошкодження кабелів під час навантаження-вивантаження вагонів.

Бездротовий зв'язок у підземних умовах екранується масивом гірських порід та геометрією виробок (наявність поворітів, розгалужень).

Тому розробка інтелектуальної системи керування, яка здатна на основі обмеженої інформації (або через спеціальні цифрові канали зв'язку, або за допомогою непрямих методів оцінки зусиль через параметри самого електродвигуна) координувати роботу двох комплексів, є складною актуальною науково-практичною інженерною задачею.

Значущість дослідження

Актуальність теми зумовлена необхідністю модернізації шахтного транспорту на базі сучасних цифрових технологій.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Створення надійної системи керування для СБО дозволить:

- Підняти продуктивність транспортних артерій шахт на 40–60%;
- Мінімізувати витрати електроенергії на тонно-кілометр перевезеного вантажу;
- Забезпечити плавний пуск та контрольоване електродинамічне гальмування, що підвищить рівень безпеки праці під землею;
- Зменшити капітальні витрати за рахунок використання наявного парку локомотивів, об'єднаних у керовані цифрові тандеми.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. Пропозиції щодо підвищення надійності тягових двигунів та зростання продуктивності праці при відкочуванні гірничої маси завдяки розробці системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць

1.1. Пропозиції щодо підвищення надійності тягових двигунів та зростання продуктивності праці при відкочуванні гірничої маси завдяки розробці системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць

Для підвищення надійності тягових двигунів та зростання продуктивності праці при відкочуванні гірничої маси у роботі відповідно до умов роботи залізорудної шахти пропонується розробити та впровадити управління електровозами за системою багатьох одиниць.

В основу цієї системи покладено об'єднання двох серійних електровозів 14КР2А в один тяговий агрегат.

Управління ним здійснюється командоконтролером типу МТ-26А чи МТ-26, встановленим у кабіні провідного електровоза.

У конструкцію електровозів буде внесено низку змін.

Демонтовані дах кабіни веденого електровоза, пуско -гальмівні опори, пантограф, блок управління, контролер та ручне гальмо.

На провідному електровозі демонтовано пускогальмові опори та компресор.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Бондарчук І.А.				Розділ 1	Лім.	Лист	Листів
Перевірів	Сінчук О.М.						12	2
Реценз.						КНУ ЕЕМ-22-1		
Н. Контр.	Сінчук О.М.							
Затвердив	Пересунько І.І.							

На місці, що звільнився, встановлений ящик опорів з елементів 6ТН.662.000, що мають середній опір 1,05 Ом і потужність 2870 Вт при нагріванні до 350°C.

Для збільшення запасу стисненого повітря на веденому електровозі змонтовано додатковий повітрозбірник.

Загальна ємність повітрозбірників складає 98 л.

Тягові електродвигуни кожного електровоза послідовно підключені.

Силові кола електровозів з'єднуються між собою кабелями через клемну коробку, встановлену в кабіні веденого електровоза.

Пневматичні системи обох електровозів об'єднані.

Стиснене повітря до гальмівних циліндрів та пісочниць подається від блоку управління, встановленого на провідному електровозі.

Загальмовування даного тягового агрегату при стоянці здійснюється ручним гальмом, встановленим на провідному електровозі.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2. Розробка системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць

2.1. Розробка електричної принципової схеми системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць

Електрична схема тягового агрегату із 2-х серійних електровозів 14КР2А наведена на рис. 2.1.

Схемой передбачена робота тягових двигунів ведучого та веденого електровозів при послідовному з'єднанні та паралельно-послідовному, тобто при якому двигуни кожному електровозі з'єднані групи послідовно, а групи з'єднуються паралельно.

Об'єднання 2-х серійних електровозів в один тяговий агрегат дозволило збільшити вдвічі тягове зусилля, що розвивається, і вага складу з 90 до 180 т.

При монтажі тягового агрегату найбільш трудомісткою операцією є виготовлення пускового реостату.

З метою спрощення його конструкції були проведені дослідження щодо визначення можливості зменшення числа щаблів пускового реостату та проведено перерахунок щаблів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат			
Розробив		Бондарчук І.А.			Розділ 2	Літ.	Лист
Перевірив		Сінчук О.М.					14
Реценз.							13
Н. Контр.		Сінчук О.М.				КНУ ЕЕМ-22-1	
Затвердив		Пересунько І.І.					

Вихідні дані:

а) Максимально допустимий струм

$$J_{\text{м}} = 260 \text{ А}$$

б) Номінальний струм

$$J_{\text{н}} = 130 \text{ А}$$

в) Струм перемикання

$$J_{\text{н}} = 180 \text{ А}$$

г) Номінальна кутова швидкість

$$\omega_{\text{н}} = 165,7 \text{ рад/с}$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

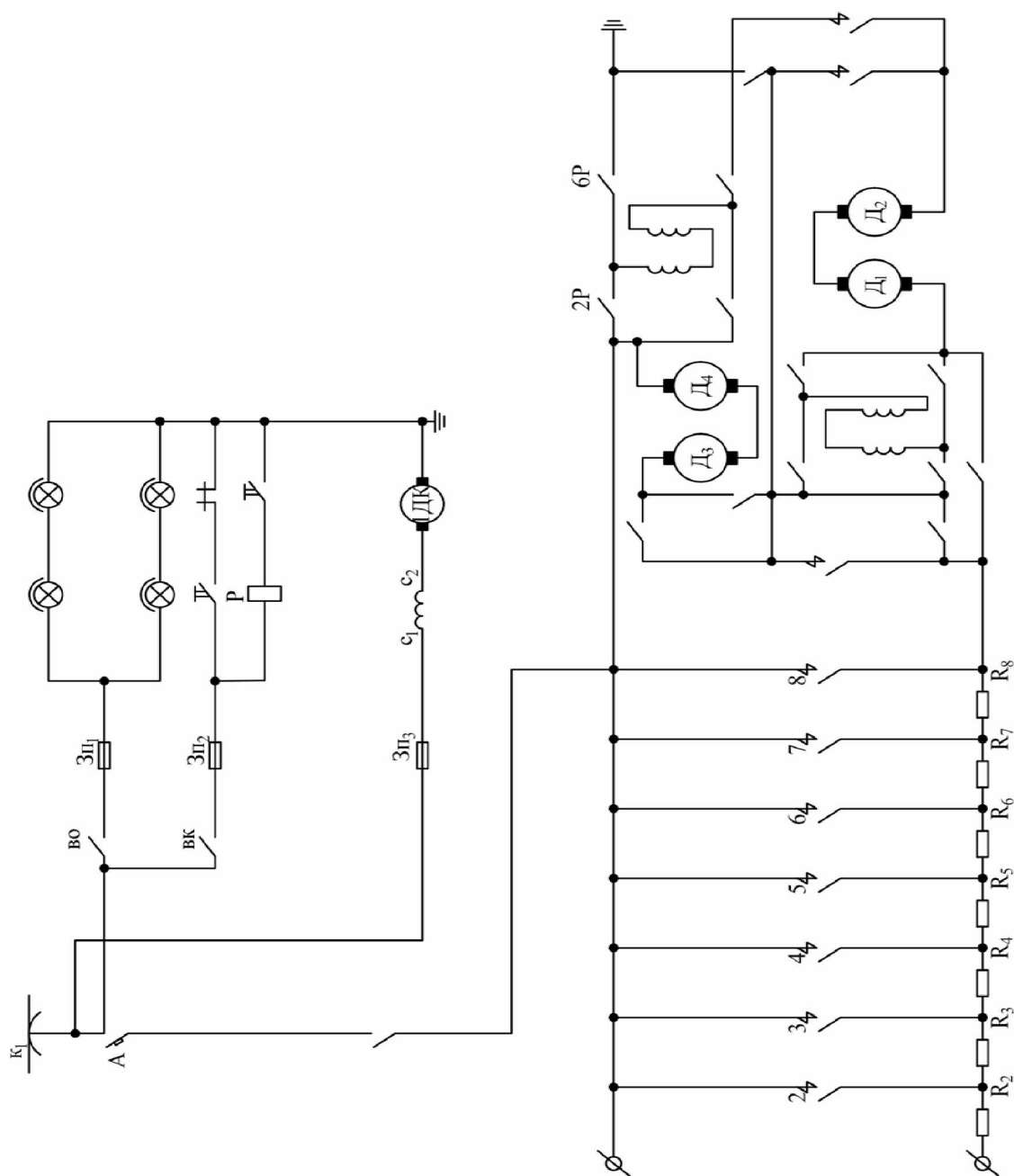


Рис. 2.1. Принципова електрична схема електровоза 2×14КР2А

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03

Арк.

16

2.2. Розрахунок складових елементів системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць

Схема до розрахунку опорів наведено на рис. 2.2.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

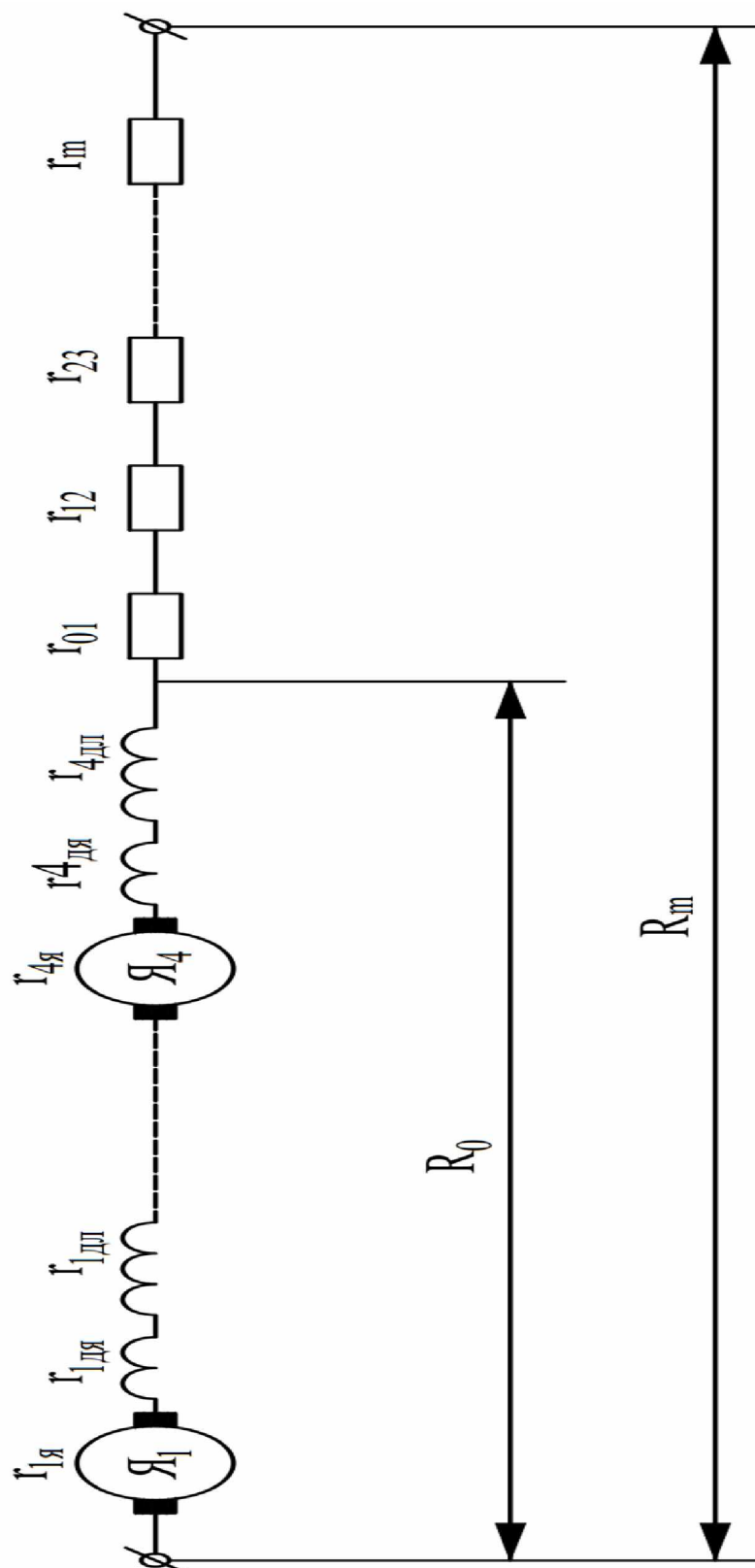


Рис. 2.2. Схема для розрахунку пускових опорів

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03

Арк.

18

Визначення величини опору щаблів пускового реостату виконуємо використовуючи залежності [13]

$$r_{01} = R_m \frac{\lambda - 1}{C^m} \quad (2.1)$$

$$r_{12} = R_m \frac{\lambda - 1}{C^{m-1}} \quad (2.2)$$

$$r_{23} = R_m \frac{\lambda - 1}{C^{m-2}} \quad (2.3)$$

$$r_{m \div (m-1)} = R_m \frac{\lambda - 1}{C} \quad (2.4)$$

$$C = \frac{a\lambda}{a + (\lambda - 1)} \quad (2.5)$$

$$R_m = \frac{U}{J_m} \quad (2.6)$$

$$\lambda = \frac{J_m}{J_n} \quad (2.7)$$

$$m = \frac{\lg \frac{h(a + \lambda - 1)}{a + h\lambda - 1}}{\lg \frac{a\lambda}{a + \lambda - 1}} \quad (2.8)$$

$$h = \frac{R_m}{R_0} \quad (2.9)$$

$$R_0 = 4r_{\text{я}} + 4r_{\text{д.п.}} + 4r_{\text{в.п.}} \quad (2.10)$$

де $r_{01}, r_{12}, r_{23} \dots r_{m \div (m-1)}$ - Опір відповідно 1-й, 2-й, 3-й ... m ступенів пускового реостату;

C - Коефіцієнт;

R_m - Максимальне значення опору ланцюга якоря, Ом;

λ - Відношення струмів;

m - Число пускових щаблів;

h - Коефіцієнт;

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

R_0 - Опір ланцюга якоря при виведеному пусковому опорі, Ом;

$r_{\text{я}}$ - Опір якiрного ланцюга двигуна, 0,025 Ом;

$r_{\text{д.п.}}$ - Опір обмотки додаткових полюсiв, 0,011 Ом;

$r_{\text{в.п.}}$ - Опір обмотки головних полюсiв, 0,0168 Ом;

a - Коефіцієнт

$$a = \frac{\frac{J_{\text{м}}}{J} - 1}{\frac{\Phi_{\text{м}}}{\Phi} - 1} \quad (2.11)$$

У формулі 2.11: Φ - J поточні значення магнітного потоку і струму збудження; $\Phi_{\text{м}}$, $J_{\text{м}}$ - максимальні значення потоку та струму збудження.

Коефіцієнт "а" визначається за допомогою універсальної швидкісної характеристики та обчислення його значення наведено в табл. № 2.1 [15].

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Таблиця 2.1. Розрахунок за універсальною швидкісною характеристикою при $J_m = 260A$

i $= J$ $/J_H$	ν $= \omega$ $/\omega_H$	J , А	ω , рад/с	$J \cdot$ R , В	$E =$ $\frac{250-JR}{4}$, В	$K\Phi$ $= \frac{E}{\omega}$ $= \beta$ $\cdot c$	$\frac{J_m}{J}$ $= \frac{260}{J}$	$\frac{K\Phi_m}{K\Phi}$ $= \frac{0,339}{K\Phi}$	a	a_c
1,00	1,00	130	165,7	27,5	55,6	0,335	2,00	1,191	5,24	
1,10	0,96	143	158,8	30,2	54,9	0,346	1,818	1,153	5,34	
1,20	0,92	156	152,4	32,9	54,3	0,356	1,667	1,121	5,51	
1,30	0,89	169	147,4	35,7	53,6	0,364	1,539	1,096	5,61	
1,40	0,87	182	144,1	38,4	52,9	0,367	1,429	1,087	4,93	5,4
1,50	0,85	195	140,8	41,2	52,2	0,371	1,333	1,075	4,44	
1,60	0,81	208	134,2	43,9	51,5	0,384	1,250	1,039	6,4	
1,70	0,79	221	131	46,7	50,8	0,388	1,177	1,028	6,32	
1,80	0,76	234	127,7	49,4	50,1	0,392	1,111	1,018	6,17	
1,90	0,75	247	125,6	52,2	49,5	0,394	1,053	1,013	4,08	
2,00	0,73	260	122,3	54,9	48,8	0,399	1,00	1,000	-	

Підставляючи значення змінних у формули 2.6 ÷ 2.10 знаходимо

$$R_m = 0,960 \text{ Ом}$$

$$\lambda = 1,44$$

$$R_0 = 0,2112 \text{ Ом}$$

$$h = 4,545$$

$$m = 3,1$$

Приймаємо $m = 3$.

Методом підбору за рівнянням [14]

$$h = \frac{a^m(a-1)\lambda^m}{(a+\lambda-1)^{m+1} - a^m\lambda^{m-1}}$$

знаходимо нове значення λ

$$\lambda = 1,869$$

За формулою 2.5 обчислюємо коефіцієнт "С"

$$C = \frac{5,4 \cdot 1,869}{5,4 + (1,869 - 1)} = 1,61$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Потім використовуючи вирази 2.1 ÷ 2.3 знаходимо значення опорів щаблів пускового реостату

$$r_{01} = 0,96 \frac{1,869 - 1}{1,61^3} = 0,2 \text{ Ом}$$

$$r_{12} = 0,96 \frac{1,869 - 1}{1,61^2} = 0,322 \text{ Ом}$$

$$r_{23} = 0,96 \frac{1,869 - 1}{1,61} = 0,518 \text{ Ом}$$

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.3. Запропоноване рішення щодо розробки системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць

Схема управління тяговим агрегатом при 3-х ступенях опорів наведено на рис. 2.3.

У разі для керування електровозом можна застосувати контролер типу КС-302 чи КС-303.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

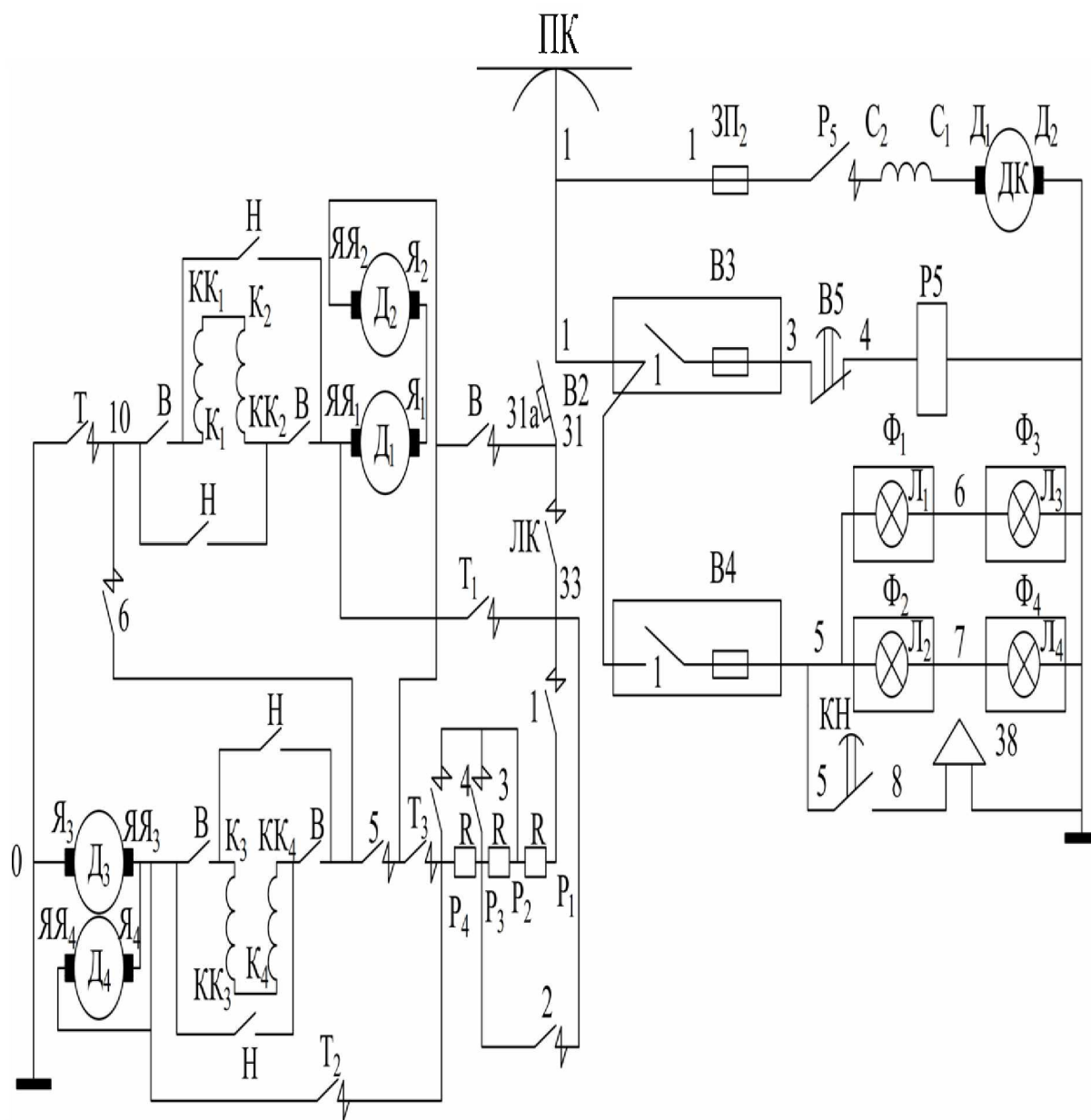


Рис. 2.3. Принципова електрична схема тягового агрегату

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03

Арк.

26

Розділ 3. Рекомендована сфера застосування та очікування результатів впровадження розробки системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць

3.1. Рекомендована сфера застосування результатів впровадження розробки системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць

При дослідженні можливостей підвищення ефективності роботи підземного транспорту встановлено, що за інших рівних параметрів найважливішим засобом підвищення продуктивності відкатки при великій довжині транспортування є застосування великовантажних локомотивоскладів (рис. 3.1), особливо при завантаженні їх віброустановками [16].

Однак із збільшенням вантажопідйомності збільшуються капітальні та експлуатаційні витрати на локомотивосклади, які мають бути компенсовані зростанням продуктивності праці.

Цим визначається межа економічної ефективності застосування великовантажних складів.

Дослідженнями встановлено, що великоваговіклади економічно ефективно застосовувати на шахтах з вантажопотоком руди горизонтом понад 2 млн. т/рік і довжиною відкатки понад 2000 м (рис. 3.2) [16].

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03		
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат			
Розробив		Бондарчук І.А.			Розділ 3	Літ.	Лист
Перевірів		Сінчук О.М.					27
Реценз.							6
Н. Контр.		Сінчук О.М.				КНУ ЕЕМ-22-1	
Затвердив		Пересунько І.І.					

Такі умови роботи електровозного транспорту на шахтах рудників Кривого Рогу, оскільки на цих рудниках можуть бути застосовані тягові агрегати, що складаються з двох електровозів 14КР2А.

Внаслідок цього продуктивність праці машиніста електровоза зростає на $40 \div 60\%$, а термін служби двигунів збільшується у два - три рази.

Кількість тягових двигунів, що вийшли з ладу , різко скоротилося, табл. 3.1.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

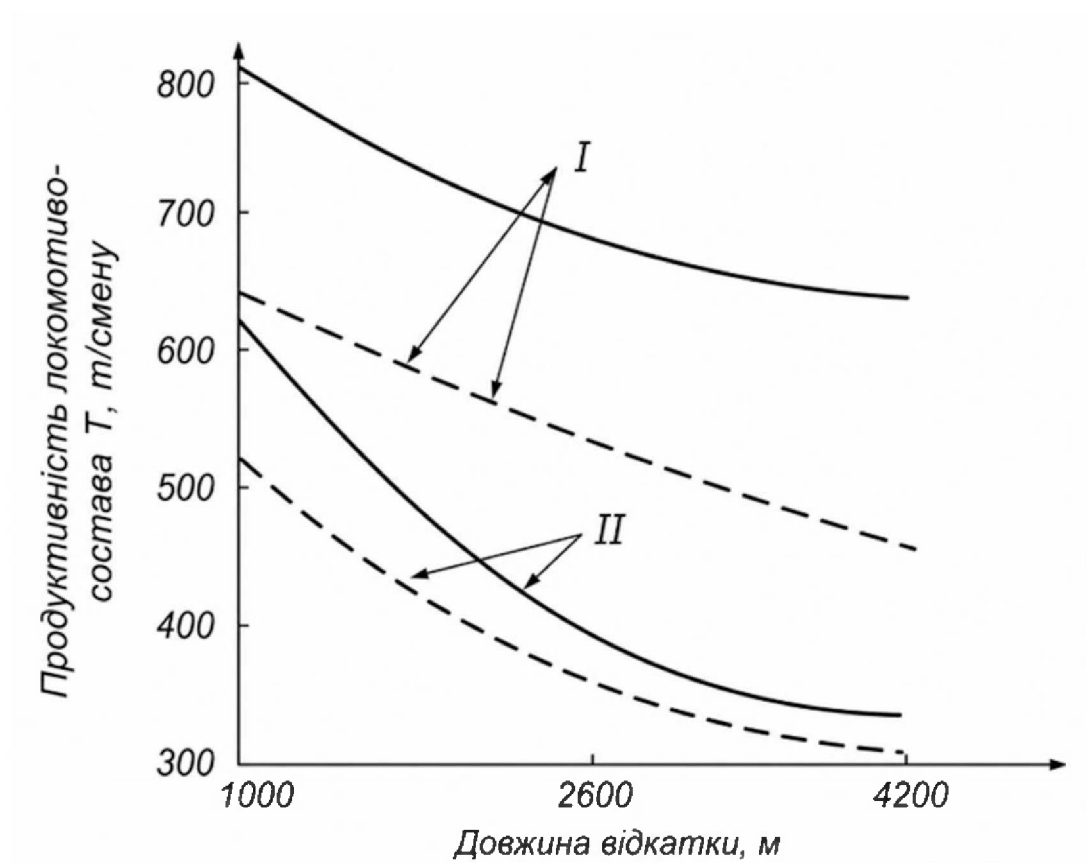


Рис. 3.1. Залежність продуктивності локомотивоскладів від довжини транспортування та способу їх завантаження. I - 180 т, II - 90 т. (суцільні лінії - завантаження ВДПУ, штрихові - скреперними установками)

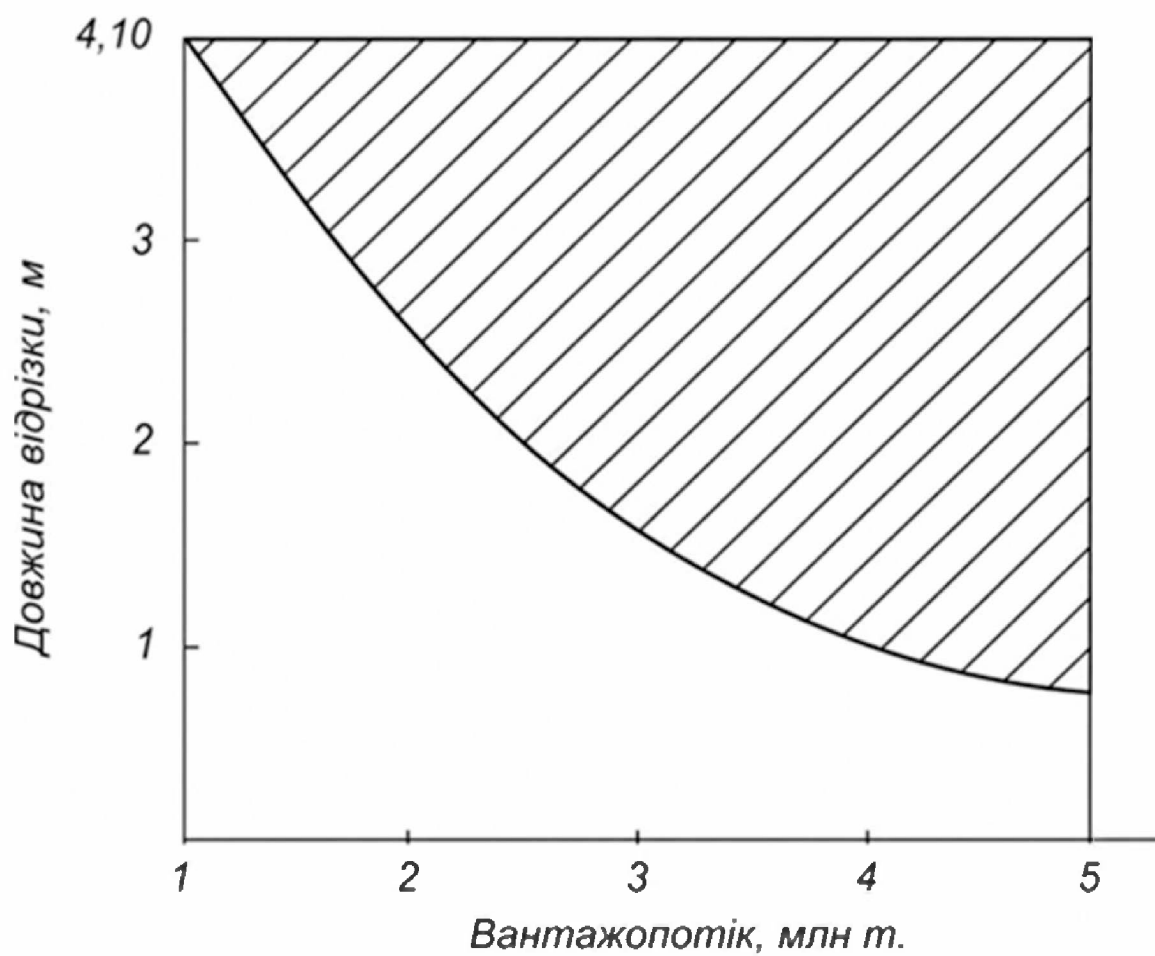


Рис. 3.2. Умови економічно ефективного застосування локомотивоскладів різної вантажопідйомності (заштрихована сфера застосування тягових агрегатів)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03

Арк.

30

Таблиця 3.1.

Рік	2000	2003	2007	2010	2013	2017	2020
Загальна кількість електровозів в експлуатації	71	70	76	83	77	77	71
Кількість електродвигунів, що вийшли з ладу	137	192	185	132	88	83	79

В даний час на руднику може бути впроваджено 11 тягових агрегатів, що складаються з двох об'єднаних серійних електровозів 14КР2А.

3.2. Очікування від результатів впровадження розробки системи керування тяговими електромеханічними комплексами рудникових електровозів по системі багатьох одиниць

Економічний ефект застосування одного такого тягового агрегату становить понад 100 тис. грн. на рік.

Управління електровозами по системі багатьох одиниць набуде широкого застосування.

Можливе впровадження таких тягових агрегатів як в умовах працюючого залізорудного комбінату, так й в умовах рудників, що тільки будуються.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Для досягнення поставленої у роботі мети необхідно було виконати такі завдання:

Проаналізувати специфіку та режими руху важковагових рудникових составів, виявивши фактори, що обмежують їхню продуктивність (пробуксовування, динамічні удари в зчіпках, обмеження по зчепленню).

Розробити математичну модель руху поїзда, що складається з двох локомотивів (на початку та в кінці) і вантажних вагонів, з урахуванням профілю колії та пружно-дисипативних зв'язків між ланками.

Створити алгоритми синхронізації тягових і гальмівних моментів для головного та хвостового електровозів, які мінімізують повздовжні зусилля в зчіпних пристроях і запобігають буксуванню колісних пар.

Обґрунтувати вибір каналу зв'язку (дротового або бездротового в умовах підземних виробок) для надійної передачі керуючих і діагностичних сигналів між локомотивами в режимі реального часу.

Оцінити техніко-економічну ефективність впровадження системи багатьох одиниць за критеріями збільшення маси поїзда, підвищення пропускної здатності відкатаних виробок та зниження зносу колій і бандажів.

Отже, у ході виконання роботи можна перелічити наступні отримані висновки:

1. Управління електровозами за системою багатьох одиниць підвищує продуктивність праці машиніста на 40÷60% та збільшує термін служби тягових двигунів у 2÷3 рази.

2. Тягові агрегати за системою багатьох одиниць ефективно застосовувати при довжині відкатки понад 2000 м та продуктивності горизонту 2 млн. т. на рік.
3. Систему керування електровозами з багатьох одиниць найбільше раціонально виконувати з'єднанням двох серійних електровозів 14KP2A в один тяговий агрегат.
4. З метою спрощення конструкції тягового агрегату пусковий реостат у силовому ланцюзі тягових двигунів слід виконувати триступеневим.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.247-03	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаних джерел

1. Pyrgidis, C. N. (2016). Railway Transportation Systems: Design, Construction and Operation. CRC Press.
2. Bondarenko, V., Kovalevs'ka, I., & Ganushevych, M. (Eds.). (2013). Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. CRC Press. (Focus on underground infrastructure).
3. Pugi, L., Rindi, S., & Boni, E. (2019). Control and coordination of distributed traction systems for heavy haul trains. *Vehicles*, 1(1), 54-73.
4. Cole, C., Spiryagin, M., Wu, Q., & Sun, Y. Q. (2017). Modelling, simulation and control of heavy haul trains. In *Handbooks of Railway Vehicle Dynamics* (pp. 451-492). CRC Press.
5. Spiryagin, M., Cole, C., Sun, Y. Q., McClanachan, M., Spiryagin, V., & McSweeney, T. (2014). Design and Simulation of Heavy Haul Trains. CRC Press.
6. Bose, B. K. (2002). Modern Power Electronics and AC Drives. Prentice Hall.
7. Novak, M., & Liegmann, E. (2011). Distributed traction control for long freight trains using wireless sensor networks. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 7(3), 421-430.
8. Chou, M., & Xia, X. (2007). Optimal energy control of heavy haul trains with distributed power. *Control Engineering Practice*, 15(7), 819-831.
9. Song, Y., & Wang, Q. (2014). Research on synchronous control system of distributed power heavy-haul train. *Applied Mechanics and Materials*, 543, 312-315.

10. Wu, Q., Cole, C., & Spiryagin, M. (2014). Longitudinal dynamics of modern long freight trains with distributed power. *International Journal of Rail Transportation*, 2(1), 50-65.
11. Zhang, L., & Sun, D. (2013). Robust control for synchronous operation of distributed traction locomotives in heavy-haul trains. *Journal of Mechanical Science and Technology*, 27(11), 3489-3498.
12. Mitchell, I., & Johnston, D. (2005). Communication challenges in underground mining transportation systems. *Mining Engineering Journal*, 57(4), 45-52.
13. Sablin, O., & Kuznetsov, V. (2015). Improving the energy efficiency of underground mine electric locomotives. *New Developments in Mining Engineering*, 112-118. Springer.
14. Xu, J., & Lin, Y. (2018). Coordinated braking control strategy for heavy-haul trains with distributed wireless power. *Advances in Mechanical Engineering*, 10(4), 1-12.
15. Iwnicki, S., Spiryagin, M., Cole, C., & McSweeney, T. (Eds.). (2019). *Handbook of Railway Vehicle Dynamics* (2nd ed.). CRC Press.

Принципова електрична схема електровоза 2×14КР2А

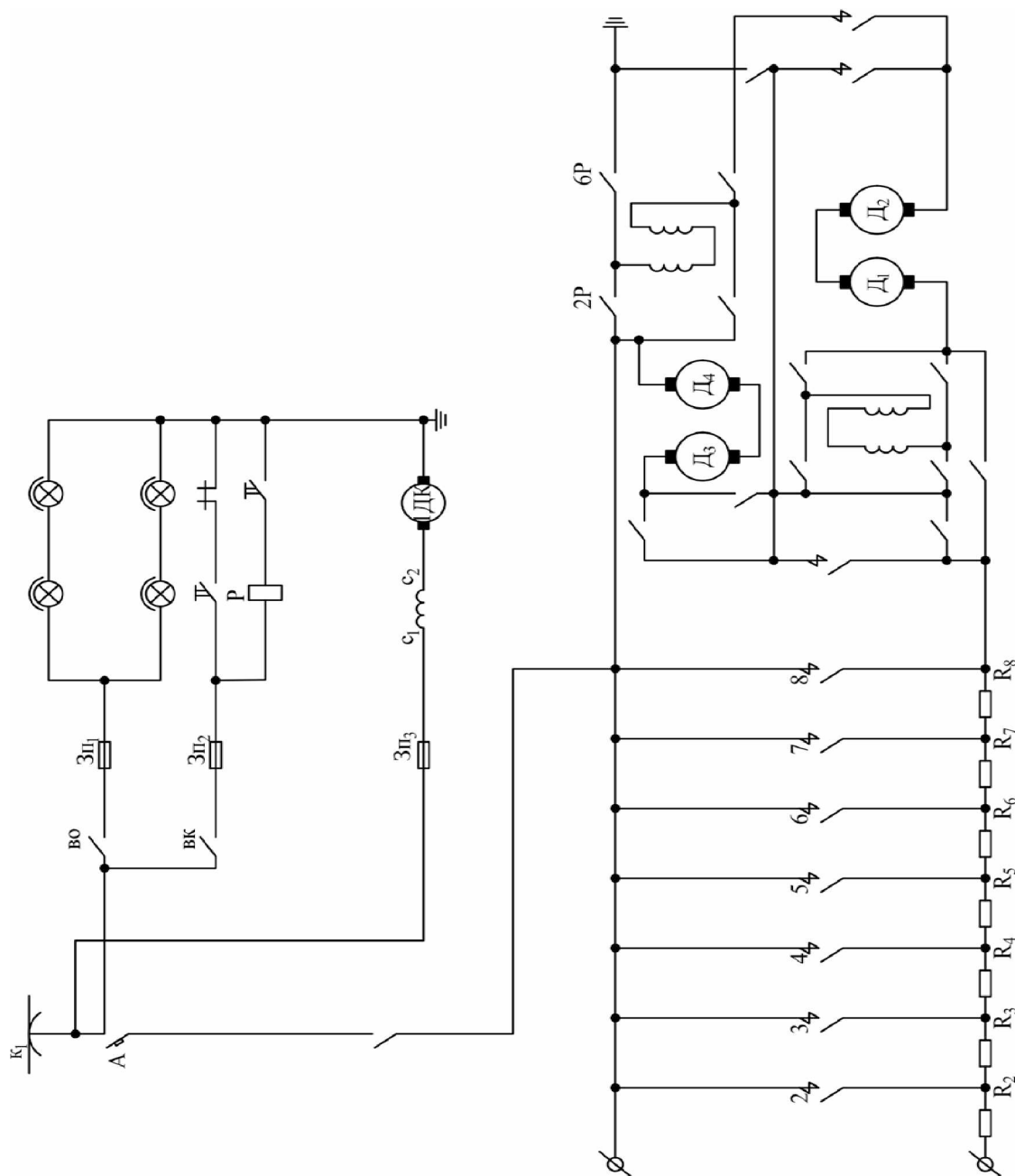
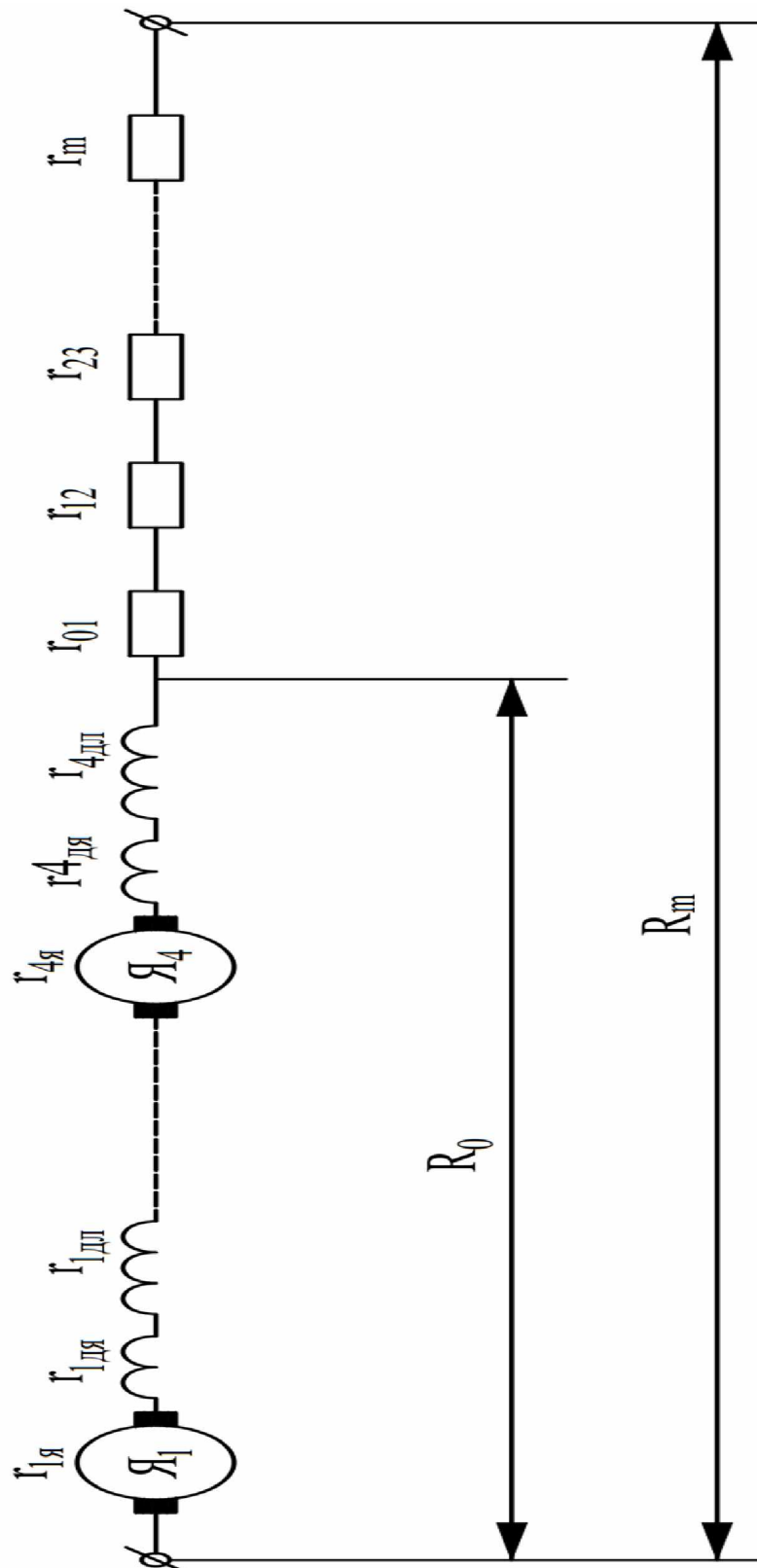
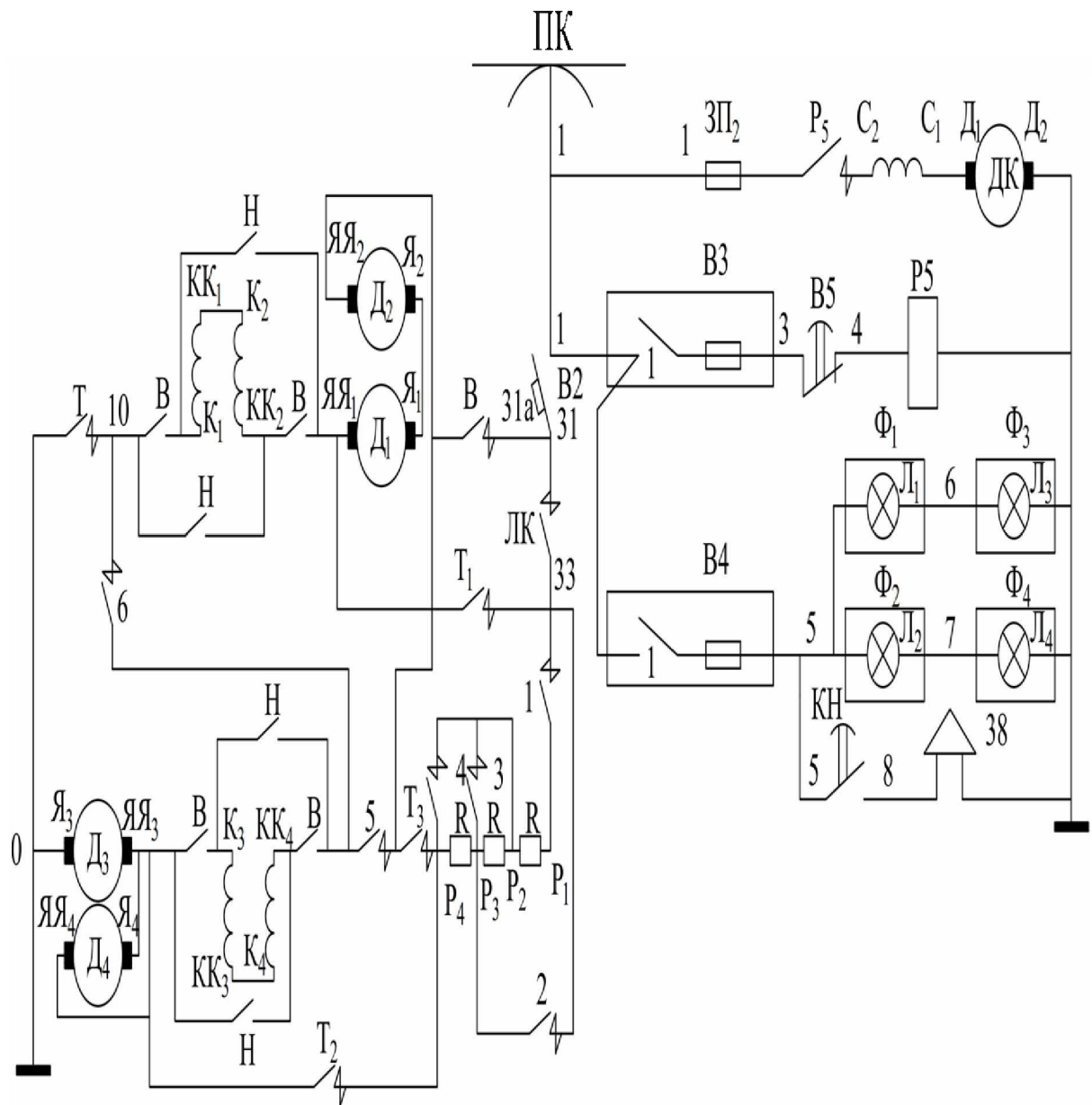


Схема для розрахунку пускових опорів

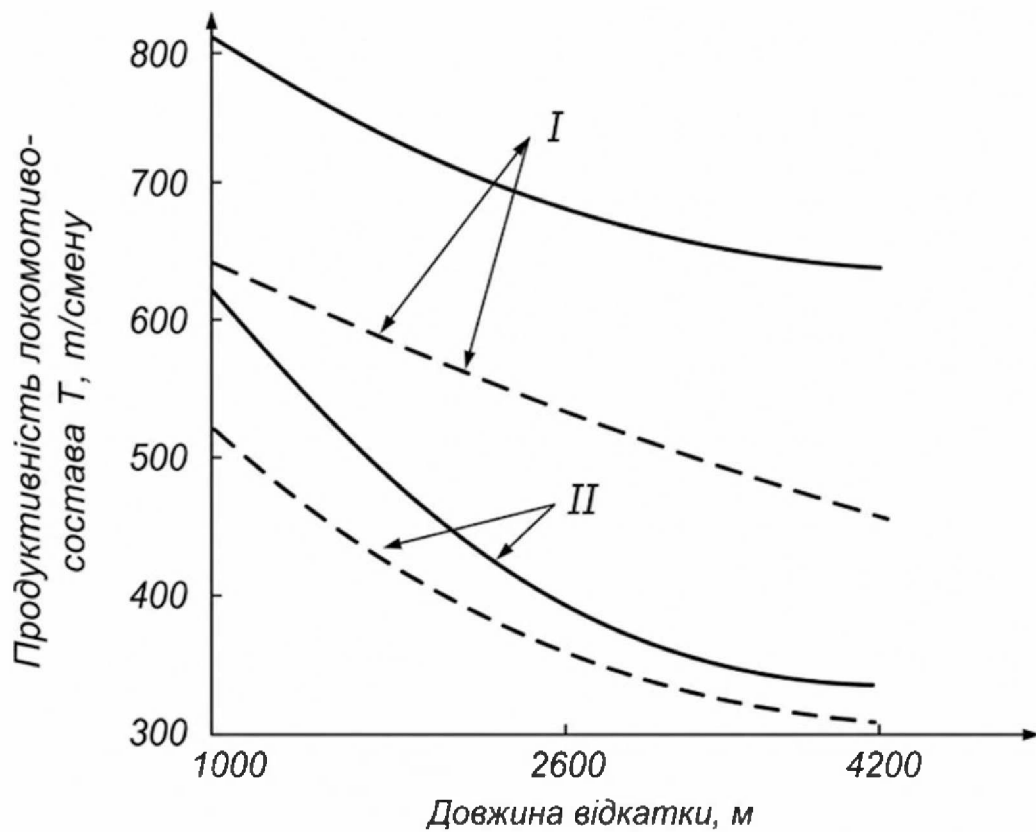


Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Принципова електрична схема тягового агрегату



Залежність продуктивності локомотивоскладів від довжини транспортування та способу їх завантаження. I - 180 т, II - 90 т. (суцільні лінії - завантаження ВДПУ, штрихові - скреперними установками)



Умови економічно ефективного застосування локомотивоскладів різної вантажопідйомності (заштрихована сфера застосування тягових агрегатів)

