

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 управління рудниковим електровозом у форматі
дистанційного керування**

Виконав: студент групи ЕЕМ-23ск

Андрій СМІШКО

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

СМІШКО Андрій Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Розробка системи управління рудниковим електровозом у
форматі дистанційного керування

1. Термін подання студентом роботи: 19 червня 2026 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є розробка системи управління рудниковим електровозом у форматі дистанційного керування
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Системи управління електровозом; II. Система ручного управління рудниковим електровозом; III. Система дистанційного управління електровозом.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Спрощена блок-схема системи керування рудничним електровозом; II. Рукоятка керування; III. Характеристика нагрівання тиристора; IV. Принципова схема блоку керування тиристорами; V. Характеристика задаючого пристрою.

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	Загальні вимоги до системи управління	21.05.26
2	Спрощена блок-схема системи управління	24.05.26
	електровозом	27.05.26
3	Спрощення операцій при ручному управлінні	29.05.26
4	Елементи силової схеми	31.05.26
5	Дистанційне управління	02.06.26
6	Загальна характеристика блока управління	07.06.26
7	Часозадавальний пристрій	11.06.26
		14.06.26
		15.06.26

Дата видання завдання 18.05.2026 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Андрій СМІШКО
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Олег СІНЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Розробка системи управління рудниковим електровозом у форматі дистанційного керування»

43 с., 5 рис., 35 літературних джерел

Мета роботи: Мінімізація виробничого травматизму, виведення персоналу з небезпечних зон підземних виробок та підвищення ефективності логістичних процесів шахтного транспорту шляхом створення високонадійної мікропроцесорної системи бездротового дистанційного керування рудниковими локомотивами, а також підвищення рівня безпеки праці, оптимізація логістичних процесів підземного транспорту та зниження впливу людського фактора в небезпечних зонах шахт шляхом створення завадостійкої та надійної системи автоматизованого та дистанційного керування рудниковим електровозом.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

Проаналізувати специфіку умов експлуатації підземного рейкового транспорту та визначити зони підвищеної небезпеки (пункти навантаження з люкових пристроїв, ділянки розвантаження у перекидачах), де присутність машиніста в кабіні є критичною.

Проаналізувати специфіку умов експлуатації рудникового локомотивного транспорту та класифікувати потенційно небезпечні виробничі зони (ділянки завантаження, вивантаження, перекидачі вагонів), де присутність машиніста в кабіні пов'язана з підвищеним ризиком.

Обґрунтувати архітектуру системи "пульт оператора – бездротовий канал зв'язку – бортовий контролер – тяговий перетворювач – гальмівна система".

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розробити структурну та функціональну схеми бортового комплексу управління електровозом на базі сучасних промислових контролерів у вибухозахищеному та іскробезпечному виконанні.

Обґрунтувати вибір каналу бездротової передачі даних та команд керування, що здатний стабільно функціонувати в умовах обмеженого простору підземних виробок, наявності металевих конструкцій та сильних електромагнітних завад від тягового обладнання.

Дослідити особливості поширення радіохвиль різних частотних діапазонів у підземних гірничих виробках (ефект хвилеводу, згасання, багатопроменеве відбиття) та обрати оптимальний стандарт зв'язку.

Створити алгоритми дистанційного керування тяговими двигунами, системами гальмування, подачі піску та звукової сигналізації, передбачивши багаторівневу систему аварійного захисту у випадку втрати зв'язку.

Розробити алгоритми безпеки типу Fail-Safe (безпечна відмова), що забезпечують миттєву аварійну зупинку електровоза в разі втрати сигналу керування або виникнення перешкоди на колії.

Інтегрувати в систему комплекс датчиків безпеки (оптичні, ультразвукові або радарні сенсори) для автоматичного виявлення перешкод на колії та запобігання зіткненням.

Створити математичну модель гальмівного шляху локомотива з урахуванням затримки передачі сигналу по бездротовому каналу для розрахунку безпечних дистанцій керування.

Виконати оцінку техніко-економічної ефективності впровадження системи дистанційного керування з урахуванням підвищення продуктивності відкатки та мінімізації виробничого травматизму.

РУДНИКОВИЙ ЕЛЕКТРОВАЗ, ДИСТАНЦІЙНЕ КЕРУВАННЯ,
БОРТОВИЙ КОНТРОЛЕР, БЕЗДРотовий ПІДЗЕМНИЙ ТРАНСПОРТ,

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗВ'ЯЗОК, ШАХТНА ВІДКАТКА, БЕЗПЕКА ПРАЦІ, ПРОМИСЛОВА
БЕЗПЕКА, FAIL-SAFE, ЗАТРИМКА СИГНАЛУ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	8
Розділ 1. Системи управління електровозом.....	15
1.1. Загальні вимоги до системи управління	15
1.2. Спрощена блок-схема системи управління електровозом.....	17
Розділ 2. Система ручного управління рудниковим електровозом	19
2.1. Спрощення операцій при ручному управлінні	19
2.2. Елементи силової схеми	22
Розділ 3. Система дистанційного управління електровозом	25
3.1. Дистанційне управління	25
3.2. Загальна характеристика блока управління	27
3.3. Часозадавальний пристрій	29
Висновки	33
Список використаних джерел	35
Додаток А.....	39
Додаток Б	40
Додаток В	41
Додаток Г	42
Додаток Д.....	43

Вступ

Сучасний стан та виклики підземного шахтного транспорту

Гірничодобувна промисловість є однією з найбільш капіталомістких та небезпечних галузей світової індустрії.

Ефективність роботи підземних рудників та шахт безпосередньо залежить від чіткої та безперебійної роботи внутрішньошахтного транспорту, який здійснює доставку видобутої корисної копалини, породи, а також перевезення матеріалів, обладнання та персоналу.

Основним видом магістрального транспорту на підземних горизонтах залишається локомотивна відкатка, що реалізується за допомогою рудникових електровозів (акумуляторних або контактних).

Попри автоматизацію багатьох суміжних процесів (наприклад, конвеєрного транспорту чи стаціонарних установок), керування рудниковими електровозами у багатьох випадках досі здійснюється безпосередньо машиністом з кабіни локомотива.

Проте умови підземних виробок висувають надзвичайні виклики для здоров'я та життя людини, що робить повну або часткову автоматизацію локомотивної тяги критично необхідним кроком розвитку галузі.

Специфіка небезпечних зон та ризики для персоналу

Актуальність розробки систем дистанційного керування зумовлена наявністю на підземних маршрутах зон із підвищеним рівнем небезпеки.

До таких ділянок належать пункти навантаження руди з дучок чи бункерів, де існує постійний ризик обвалу гірничої маси, зависання великих шматків породи або раптового прориву підземних вод.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Не менш небезпечними є зони розвантаження біля перекидачів вагонів, де фіксується висока концентрація шкідливого пилу та підвищений рівень вібрації.

Знаходження машиніста в кабіні електровоза під час виконання цих операцій наражає його на пряму небезпеку.

Крім того, обмежена видимість у кривих ділянках підземних виробок, слабе освітлення та високий рівень шуму суттєво підвищують імовірність наїзду на людей або зіткнення з іншим рухомим складом.

Дистанційне керування дозволяє вивести оператора з потенційно небезпечної зони у безпечне місце (наприклад, на спеціально обладнаний наземний чи підземний диспетчерський пункт), повністю ліквідувавши ризик травмування під час навантажувально-розвантажувальних робіт.

Технічні складнощі реалізації бездротового зв'язку під землею

Створення надійної системи дистанційного керування для рудникових умов є складною інженерною задачею, що суттєво відрізняється від аналогічних рішень для наземного транспорту.

Головною проблемою є забезпечення стабільного радіозв'язку між пультом оператора та бортовим контролером електровоза.

Підземні гірничі виробки характеризуються важкими умовами для поширення радіохвиль:

- Ефект хвилеводу та затухання сигналу. Стіни виробок, що складаються з гірських порід з різною провідністю, інтенсивно поглинають та відбивають радіосигнали.
- Багатопроменеве поширення. Велика кількість металевих кріплень, трубопроводів, кабельних ліній та інших локомотивів створює

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

численні відбиття сигналу, що призводить до інтерференції та появи "сліпих зон".

- Електромагнітні завади. Робота потужних тягових двигунів електровоза, комутація контактної мережі та функціонування підстанцій створюють високий рівень імпульсних перешкод у широкому спектрі частот.

Тому розробка системи керування вимагає застосування передових завадостійких протоколів бездротової передачі даних (таких як промисловий Wi-Fi, LoRaWAN або спеціалізовані підземні стільникові мережі) із обов'язковим впровадженням алгоритмів безперервного моніторингу каналу зв'язку.

Вимоги до вибухозахисту та безпеки систем керування

Будь-яке електронне обладнання, що розгортається у підземних виробках шахт (особливо небезпечних щодо вибуху газу метану чи вугільного пилу), повинно відповідати жорстким стандартам вибухозахисту.

Розробка системи управління передбачає проектування схем із рівнем іскробезпеки, використання спеціальних вибухонепроникних оболонок для контролерів та силових модулів, а також мінімізацію тепловиділення компонентів.

Крім того, логіка системи повинна мати функцію "fail-safe" (безпечна відмова): у разі найменшого збою у передачі сигналу, падіння тиску в гальмівній магістралі або знеструмлення бортової мережі, система зобов'язана автоматично активувати екстрене гальмування та зупинити поїзд.

Практична цінність та соціальний ефект

Науково-практична значущість даної роботи полягає у створенні комплексної архітектури системи управління, яка поєднує силову електроніку локомотива, бездротові комунікації та інтелектуальні алгоритми безпеки.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Впровадження такої системи дозволяє гірничим підприємствам не лише кардинально покращити умови та безпеку праці, але й підвищити технічну швидкість руху рухомого складу, оптимізувати графіки відкатки та знизити експлуатаційні витрати за рахунок плавнішого (роботизованого) ведення поїзда, що зменшує знос колісних пар та тягових редукторів.

Гуманізація праці та автоматизація підземного транспорту

Шахтний рейковий транспорт функціонує в умовах підвищеної загрози: обмежений простір виробок, недостатня видимість, висока вологість, запиленість та постійний ризик вивалу гірничої маси.

Особливо небезпечними є операції навантаження вагонів із бункерів (люків) та їх розвантаження.

Машиніст локомотива, перебуваючи в кабіні безпосередньо під люковим пристроєм, піддається ризику травмування уламками породи або негабаритами.

Впровадження функції дистанційного керування (ДК) дозволяє машиністу вийти з кабіни та керувати процесом маневрів, навантаження та формування складу з безпечної відстані (від кількох десятків до сотень метрів), маючи при цьому повний візуальний контроль над зоною проведення робіт.

Окрім безпеки, це оптимізує штатний розклад, оскільки один оператор може поєднувати функції машиніста та люковщика.

Математичний аналіз затримок та безпечного гальмування

При переході на бездротове керування критичним чинником стає транспортна затримка сигналу, що виникає при кодуванні, передачі та декодуванні пакетів даних у радіоканалі.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Цей час додається до загального часу спрацьовування гальмівної системи, що безпосередньо впливає на довжину повного гальмівного шляху електровоза.

Система автоматизації бортового контролера повинна безперервно контролювати наявність зв'язку за допомогою циклічного опитування (*Heartbeat телеметрія*).

Якщо затримка перевищує критичний поріг (наприклад, **250 мс**), бортовий контролер зобов'язаний самостійно, без команди оператора, ініціювати екстрене гальмування.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Порівняльний аналіз бездротових технологій для підземного ДК

Стандарт зв'язку	Діапазон частот	Переваги для шахт	Недоліки / Обмеження
Sub-GHz (LoRa / Proprietary)	433 / 868 МГц	Висока проникна здатність, хороше огинання виробок, велика дальність.	Низька пропускна здатність (неможливо передавати відеопотік із бортових камер).
Wi-Fi (IEEE 802.11)	2.4 / 5 ГГц	Висока швидкість, можливість передачі HD-відео, проста інтеграція в шахтну мережу.	Сильне загасання на поворотах виробок, ефект багатопроменевого відбиття (завмирання сигналу).
Industrial Bluetooth	2.4 ГГц	Низьке енергоспоживання пульта, висока завадостійкість (FHSS).	Обмежений радіус дії (до 50–100 м у тунелі), що звужує зону безпеки.

Private LTE / 5G	1.8–3.5 ГГц	Гарантована якість сервісу (QoS), мінімальна затримка (< 10 мс), висока ємність мережі.	Висока вартість базових станцій та складність підземного розгортання.
-----------------------------	----------------	--	--

Практичне значення розробки

Створення та впровадження систем дистанційного керування є першим кроком до повної роботизованої та безпілотної відкатки на гірничих підприємствах.

Бортовий мікропроцесорний комплекс, що інтегрується в електричну схему електровоза (наприклад, КН-10 або КН-14), взаємодіє з частотними перетворювачами та електропневматичними клапанами гальм.

Цифровізація управління дозволяє не тільки убезпечити людину, а й збирати повну телеметрію про стан тягових акумуляторів, перевантаження двигунів та пройдений шлях, реалізуючи концепцію "розумної шахти".

Розділ 1. Системи управління електровозом

1.1. Загальні вимоги до системи управління

У зв'язку із застосуванням на електровозі тиристорного перетворювача електрична та функціональна схема електровоза докорінно змінюється. Відкриваються нові можливості, однак виникають і нові питання.

Основні вимоги до схеми можуть бути сформульовані наступним чином:

Максимально можлива простота та надійність, що диктується виключно важкими умовами експлуатації в шахті.

Мінімальні габарити у зв'язку з нестачею на електровозі простору для встановлення апаратури.

Плавність пуску, незалежно від дій машиніста.

Автоматичне обмеження небезпечних режимів.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1	Лім.	Лист	Листів
Розробив	Сіпінко А.В.						15	4
Перевірив	Сінчук О.М.							
Реценз.								
Н. Контр.	Сінчук О.М.							
Затвердив	Пересунько І.І.				КНУ ЕЕМ-23ск			

Можливість дистанційного управління електровозом.

Можливість електричного гальмування.

Простота управління та безпека.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Спрощена блок-схема системи управління електровозом

Спрощена блок-схема системи управління електровозом наведена на рис. 1.1.

Напруга змінного струму U_n випрямляється та регулюється за величиною за допомогою тиристорного перетворювача, від якого отримують живлення тягові двигуни ТД.

Обмеження струмових навантажень при важких пусках та інших відхиленнях здійснюється за допомогою блока обмеження режимів.

Підсумовування сигналів та регулювання за заданою програмою виконується блоком управління тиристорами.

Залежно від положення перемикача режимів роботи, управління може бути ручним або дистанційним (приймач сигналів).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

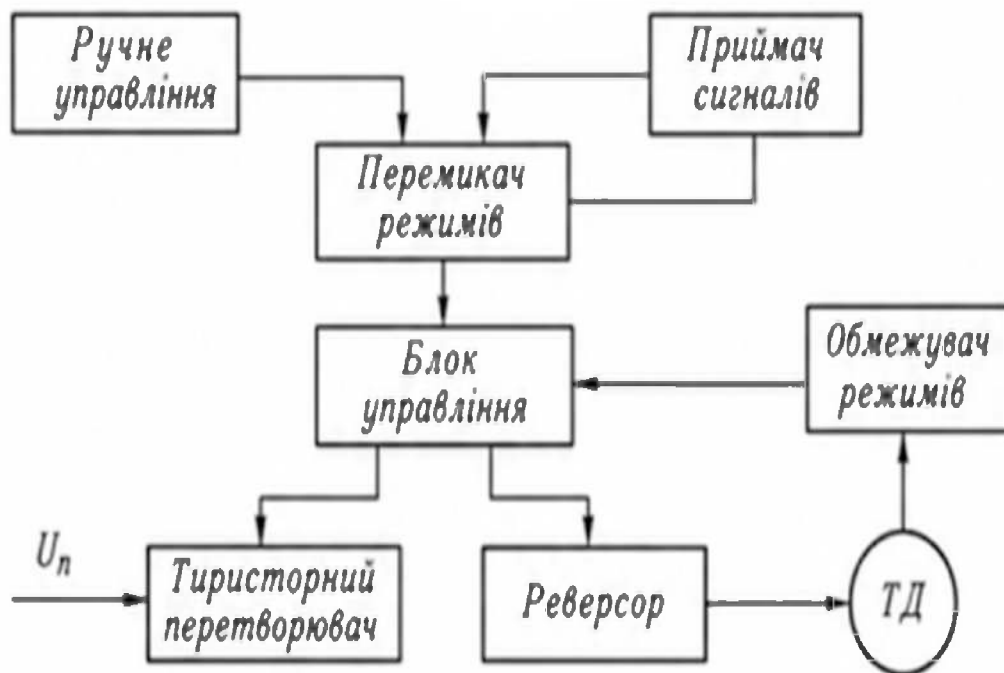


Рис. 1.1. Спрощена блок-схема системи керування рудничним електровозом

Розділ 2. Система ручного управління рудниковим електровозом

2.1. Спрощення операцій при ручному управлінні

Сучасні шахтні електровози управляються силовими контролерами, що мають дві рукоятки управління — головну та реверсивну.

За допомогою головної рукоятки здійснюється пуск, гальмування та перемикання тягових двигунів, а за допомогою реверсивної рукоятки — зміна напрямку руху та перемикання на режим електричного гальмування.

Головна та реверсивна рукоятки заблоковані механічно так, що виключена можливість перемикання реверсивної рукоятки під струмом.

Застосування двох рукояток управління та вимога необхідної послідовності їх перемикання ускладнюють управління електровозом.

Так для переходу з двигунного режиму на режим електричного гальмування необхідно виконати 3 операції — встановити головну рукоятку в нульове положення, перемкнути реверсивну рукоятку на гальмівний режим, перемикати головну рукоятку з необхідною витримкою по позиціях.

Тому становить інтерес спрощення операцій управління електровозом шляхом зосередження всіх функцій управління на одній рукоятці.

При цьому перехід на будь-який режим здійснюється одним рухом (рис. 2.1).

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив	Снішко А.В.				Розділ 2	Літ.	Лист	Листів
Перевірив	Сінчук О.М.						19	6
Реценз.								
Н. Контр.	Сінчук О.М.							
Затвердив	Пересунько І.І.					КНУ ЕЕМ-23ск		

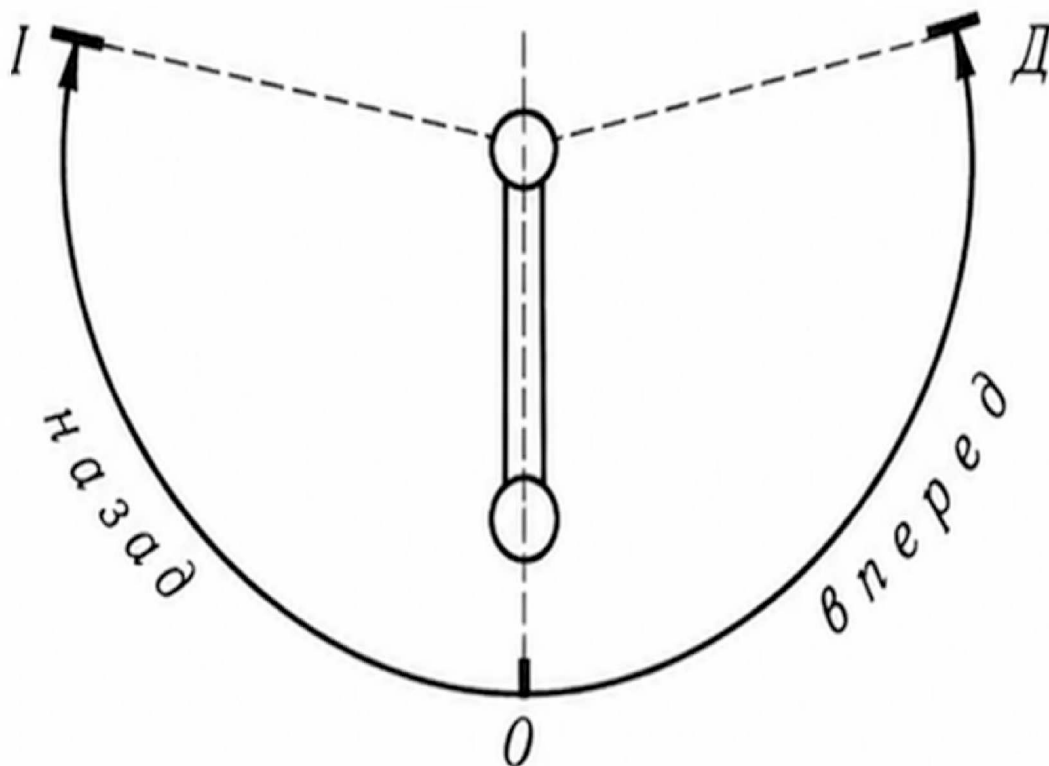


Рис. 2.1. Рукоятка керування

У нульовому положенні рукоятки двигуни електровоза знеструмлені.

Для руху вперед або назад необхідно змістити рукоятку управління в потрібному напрямку.

Швидкість електровоза визначається кутом повороту рукоятки від нульового положення.

При необхідності електричного гальмування слід перевести рукоятку на рух у зворотному напрямку.

Одним з недоліків схем із силовими контролерами є відсутність нульового захисту.

Це становить небезпеку, оскільки при неправильних діях машиніста електровоз може мимовільно включитися при подачі напруги.

У розробленій схемі управління нульовий захист передбачений і ця небезпека виключається.

Режими роботи електровоза значною мірою визначаються кваліфікацією машиніста.

Часто машиністи перемикають контролер зайво швидко, ривком через кілька позицій, в результаті чого прискорюється знос або пошкоджується електричне чи механічне обладнання.

Електронна система управління електровозом дозволяє виключити і цей недолік.

Режим пуску електровоза не залежить від швидкості повороту рукоятки управління, а задається схемою.

Таким чином управління електровозом стає елементарно простим, напіваавтоматичним.

Це полегшує роботу машиніста та дає йому можливість більше уваги приділяти спостереженню за сигналами та станом колій.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Елементи силової схеми

Найбільш ефективним є раціональне поєднання безконтактних і контактних елементів з урахуванням їх переваг і недоліків.

У схемі використана мінімальна кількість силових напівпровідників — 5, з них тільки 2 керованих, що зумовлює простоту схеми управління.

Розсіювана всіма напівпровідниками потужність у робочому режимі становить близько 300 Вт, що дає можливість обмежитися природним охолодженням без вентилятора.

Однак розмір тепловідводу повинен бути збільшений або застосовано 2-3 стандартних тепловідводи.

Дослідження, проведені в лабораторії, показують, що при навантаженні годинного режиму 200 А нагрів тиристорів не перевищує допустимого значення при природному охолодженні та двох стандартних тепловідводах на тиристор.

Усталене значення перевищення температури над температурою навколишнього середовища становить 70°C.

Температура вимірювалася ртутним термометром, встановленим у центрі тепловідводу.

Якщо вважати температуру шахтного повітря рівною 15°C, то температура нагріву напівпровідника становитиме 95°C.

У вітчизняних тиристорів для кристала допускається температура 110°C.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

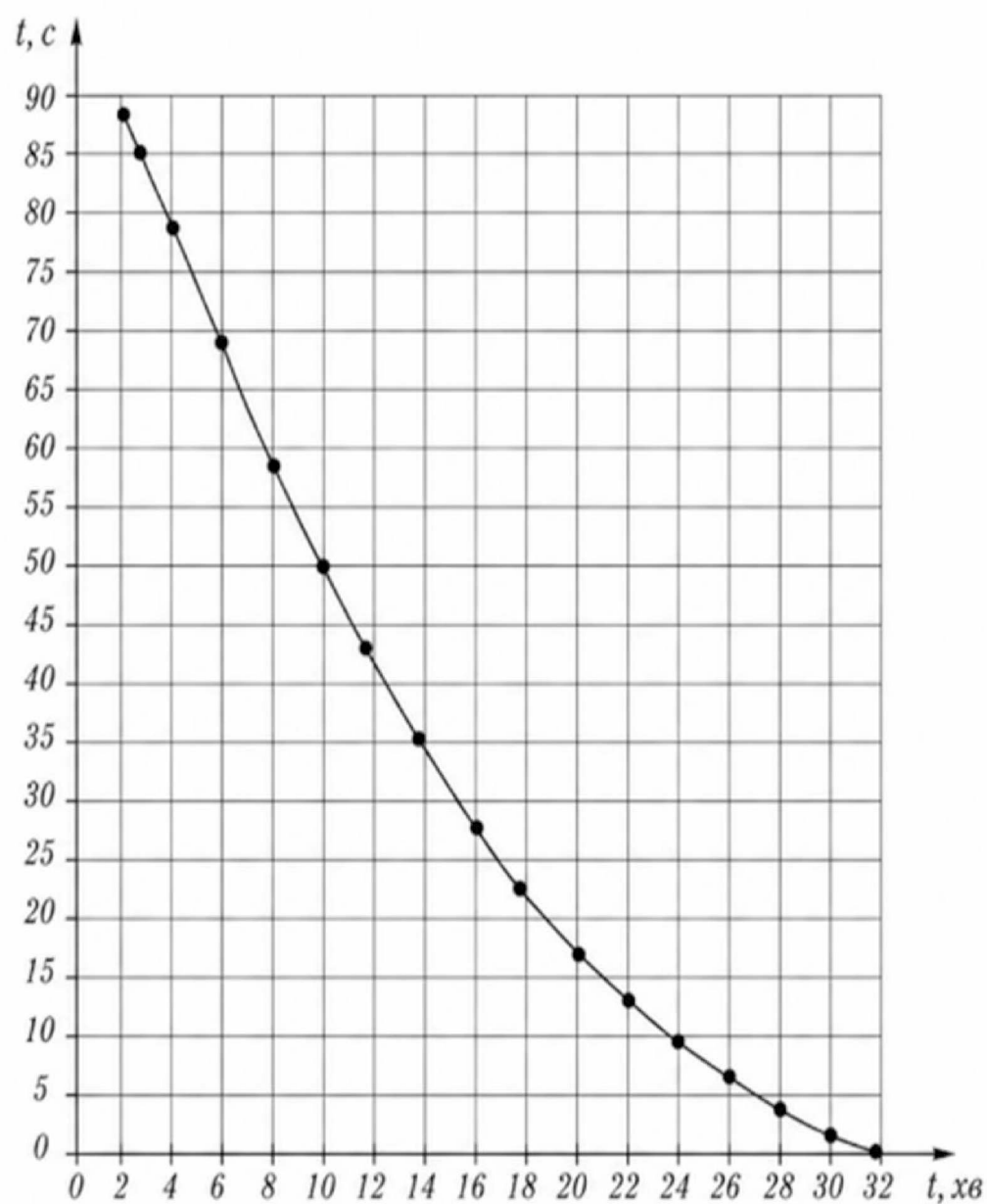


Рис. 2.2. Характеристика нагрівання тиристора.

Постійна часу нагрівання тиристора з двома тепловідводами з алюмінію становить 10 хв.

Фактично нагрівання напівпровідників на електровозі буде меншим, оскільки електровоз не працює тривалий час у годинному режимі.

Крім цього при русі електровоза відбувається інтенсивний обдув тепловідводів.

Для зміни напрямку руху або переходу в режим електричного гальмування повинні застосовуватися реверсори з електричним або пневматичним приводом.

Найбільш раціонально задача може бути вирішена застосуванням лінійного контактора та спеціального реверсора на одне коло з електромагнітним приводом.

На першому етапі, для дослідних зразків, більш доцільно застосувати контакторний реверсор, який простіший і потребує менше місця порівняно з електропневматичним.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 3. Система дистанційного управління електровозом

3.1. Дистанційне управління

Для дистанційного управління передбачається встановлення на електровозі приймача сигналів управління (показаний блоком на рис. 3.1).

Виконавчими елементами приймача сигналів є реле:

Рв — що включає електровоз на хід вперед;

Рн — хід назад;

Ро — загальне реле, що спрацьовує разом з Рв і Рн, служить для блокування.

При дистанційному управлінні рукоятка управління повинна бути встановлена у положення відключено, а перемикач режимів у положення дистанційне.

Електровоз загальмовується пневматичним гальмом.

При сигналі ходу вперед включаються реле Рв та Ро.

Контакт Рв шунтує контакт рукоятки управління, що відповідає руху вперед, тому включення електровоза відбувається аналогічно тому, як при переведенні рукоятки управління на рух вперед.

Відмінність полягає в тому, що при дистанційному управлінні необхідно обмежити швидкість руху електровоза.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив	Снішко А.В.				Розділ 3	Літ.	Лист	Листів
Перевірив	Сінчук О.М.						25	8
Реценз.								
Н. Контр.	Сінчук О.М.							
Затвердив	Пересунько І.І.					КНУ ЕЕМ-23ск		

Це здійснюється шляхом обмеження величини напруги на двигунах.

З цією метою послідовно з управляючим резистором R_u , що знаходиться у виведеному положенні, включається додатковий резистор R_7 , величина якого визначає величину, до якої може зростати напруга на двигунах.

Одночасно з включенням тягових двигунів включається електропневматичний клапан СК, внаслідок чого відбувається розгальмовування електровоза.

Для запобігання витoku струмів високочастотних сигналів через електрообладнання електровоза в ланцюг електровоза включений високочастотний загороджувач LC, налаштований на несучу частоту.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2. Загальна характеристика блока управління

Блок управління призначений для регулювання кута відкривання тиристорів з метою управління напругою на тягових двигунах.

Блок може використовуватися як у схемі ручного напівавтоматичного управління, так і в схемі дистанційного та повністю автоматичного управління.

Принципова схема блока управління наведена на рис. 3.1.

Основними вузлами блока є:

фазообертач, формувач імпульсів,

часозадавальний пристрій,

вузол обмеження режимів.

У схемі використано мостовий фазообертач, що має в даному випадку ряд переваг перед іншими варіантами.

Керуючим елементом фазообертача є транзистор T_3 .

Закритий стан транзистора відповідає закритому стану тиристорів, а повністю відкритий транзистор відповідає повному відкриттю тиристорів (весь напівперіод).

Одночасно транзистор T_3 є елементом, що підсумовує сигнали, що надходять від задавального пристрою та від вузла обмеження режимів.

Напруга від задавального пристрою, що відмикає транзистор, подається на резистор R_9 , а напруга від вузла обмеження, що замикає транзистор, — на резистор R_8 .

Напруга на вході транзистора виявляється рівною різниці напруг на резисторах R_8 і R_9 .

Імпульси управління тиристорами формуються блокінг-генераторами на транзисторах T_1 та T_2 .

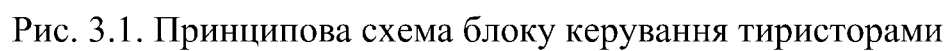
					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.3. Часозадавальний пристрій

Пуск електровоза для виключення механічних та електричних перевантажень обладнання повинен бути плавним як при автоматичному, так і при ручному управлінні незалежно від дій машиніста.

Для того, щоб забезпечити плавність зміни напруги на двигунах, необхідно, щоб струм управління транзистором T_3 змінювався в часі за законом, близьким до лінійного.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Крива заряду конденсатора є експоненціальною.

З метою забезпечення характеристики зростання напруги, близької до лінійної, використовується тільки початкова частина характеристики заряду, а далі напруга на конденсаторі C_8 обмежується заданою величиною.

Параметри часозадавального ланцюжка — R_7 та C_6 — підібрані таким чином, щоб час пуску електровоза становив близько 20 с, що відповідає нормальним умовам пуску.

Для того, щоб не порушувати умови заряду конденсатора, між ним та підсумовуючим елементом включений двокаскадний підсилювач струму на транзисторах T_4 та T_5 .

Підсилювач зібраний за схемою емітерного повторювача, тому має великий вхідний та малий вихідний опір, що і вимагається.

Напруга на виході підсилювача повторює напругу на його вході.

При зменшенні кута повороту рукоятки управління або переведення її в нейтральне положення відбувається швидкий розряд конденсатора C_6 на опір R_1 , в результаті чого струм управління скидається до заданої величини або до нуля.

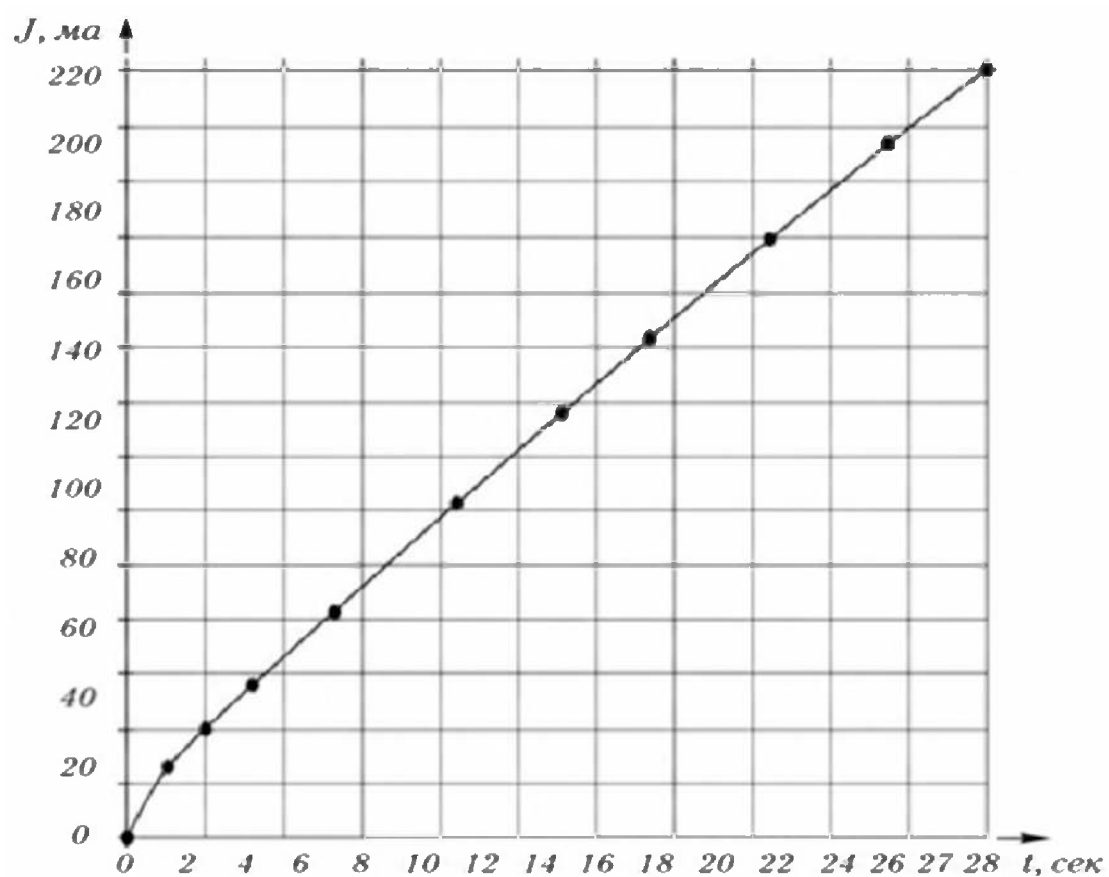


Рис. 3.2. Характеристика задающего пристрою

Висновки

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

Проаналізувати специфіку умов експлуатації підземного рейкового транспорту та визначити зони підвищеної небезпеки (пункти навантаження з люкових пристроїв, ділянки розвантаження у перекидачах), де присутність машиніста в кабіні є критичною.

Проаналізувати специфіку умов експлуатації рудникового локомотивного транспорту та класифікувати потенційно небезпечні виробничі зони (ділянки завантаження, вивантаження, перекидачі вагонів), де присутність машиніста в кабіні пов'язана з підвищеним ризиком.

Обґрунтувати архітектуру системи "пульт оператора – бездротовий канал зв'язку – бортовий контролер – тяговий перетворювач – гальмівна система".

Розробити структурну та функціональну схеми бортового комплексу управління електровозом на базі сучасних промислових контролерів у вибухозахищеному та іскробезпечному виконанні.

Обґрунтувати вибір каналу бездротової передачі даних та команд керування, що здатний стабільно функціонувати в умовах обмеженого простору підземних виробок, наявності металевих конструкцій та сильних електромагнітних завад від тягового обладнання.

Дослідити особливості поширення радіохвиль різних частотних діапазонів у підземних гірничих виробках (ефект хвилеводу, затухання, багатопроменеве відбиття) та обрати оптимальний стандарт зв'язку.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Створити алгоритми дистанційного керування тяговими двигунами, системами гальмування, подачі піску та звукової сигналізації, передбачивши багаторівневу систему аварійного захисту у випадку втрати зв'язку.

Розробити алгоритми безпеки типу Fail-Safe (безпечна відмова), що забезпечують миттєву аварійну зупинку електровоза в разі втрати сигналу керування або виникнення перешкоди на колії.

Інтегрувати в систему комплекс датчиків безпеки (оптичні, ультразвукові або радарні сенсори) для автоматичного виявлення перешкод на колії та запобігання зіткненням.

Створити математичну модель гальмівного шляху локомотива з урахуванням затримки передачі сигналу по бездротовому каналу для розрахунку безпечних дистанцій керування.

Виконати оцінку техніко-економічної ефективності впровадження системи дистанційного керування з урахуванням підвищення продуктивності відкатки та мінімізації виробничого травматизму.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Список використаних джерел

1. Pivnyak, G., Volkov, A., & Shirin, L. (2014). Transport in the Mining Industry: Modern Challenges and Innovations. CRC Press.
2. Novak, T. (Ed.). (2018). Underground Mine Communications: Technologies and Applications. Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME).
3. Steimel, A. (2008). Electric Traction - Motive Power and Energy Supply: Basics and Practical Experience. Oldenbourg Industrierlag.
4. Misra, I. S. (2013). Wireless Communications and Networks: 3G and Beyond (2nd ed.). McGraw-Hill Education. (Контекст поширення сигналів у замкнених просторах).
5. Leonhard, W. (2001). Control of Electrical Drives (3rd ed.). Springer.
6. Hristov, H. D. (2000). Analysis and Design of Leaky Feeder Communication Systems for Tunnels. Artech House.
7. Forouzan, B. A. (2012). Data Communications and Networking (5th ed.). McGraw-Hill Education.
8. Ralston, J. C., Reid, D. C., Hargrave, C. O., & Hainsworth, D. W. (2014). Sensing for mine automation: A review of available and emerging technologies. International Journal of Mining Science and Technology, 24(5), 587-595.
9. Bandyopadhyay, L. K., Chaulya, S. K., & Mishra, P. K. (2010). Wireless Communication in Underground Mines. Springer.
10. Cao, J., & Wang, Y. (2015). Design of remote control system for mine locomotive based on Wi-Fi technology. Journal of Coal Science and Engineering, 21(2), 184-189.

11. IEEE Std 802.11™-2020. IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications. IEEE Computer Society.

12. Bednarczyk, P. (2017). Autonomous and remote-controlled transport systems in underground mines. Mining Machines, 35(3), 112-120.

13. Synchuk, O. M., Afanasiev, V. V., & Synchuk, I. O. (2016). Wireless communication networks for monitoring and control of mine locomotives. Electrical Engineering & Electromechanics, (3), 34-38.

14. Zhou, C., & Jacksha, R. (2014). Characterizing wireless signal propagation in underground mines. IEEE Antennas and Propagation Magazine, 56(4), 214-230.

15. ISO 13849-1:2015. Safety of machinery -- Safety-related parts of control systems -- Part 1: General principles for design. International Organization for Standardization. (Стандарт проектування Fail-Safe систем).

16. Cheon, C., & Tomko, G. (2009). Radio propagation measurements and models for underground mine tunnels. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 57(4), 1195-1202.

17. Mitchell, J. (2019). The economic and safety impacts of remote control and automation in underground hard rock mining. Mining Engineering, 71(8), 29-35.

18. Zhang, L., & Yang, X. (2018). Development of an intelligent braking system for remote-controlled mine vehicles. Mechanical Systems and Signal Processing, 104, 452-467.

19. European Committee for Electrotechnical Standardization (CENELEC). (2017). EN 50126-1: Railway applications - The specification and

demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). CENELEC.

20. Li, M., & Liu, Y. (2021). Underground mine logistics optimization through automated locomotive tracking and remote scheduling. International Journal of Production Economics, 234, 108045.

21. Novak, T. (2010). Electric tech in mining: Winding, hauling, and power distribution. IEEE Industry Applications Magazine, 16(2), 52-60.

22. Chadwick, B., & Gurgenci, H. (2014). Automation and remote control of underground mining vehicles: A review of technologies. Mining Technology, 123(2), 78-91.

23. Raza, A., & John, M. (2018). Wireless communication systems for underground mines: Challenges and solutions. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 20(4), 3121-3145.

24. Standard IEC 60079-11:2011. Explosive atmospheres - Part 11: Equipment protection by intrinsic safety "i". International Electrotechnical Commission.

25. Misra, P., & Kumar, A. (2015). Design and implementation of a Wi-Fi based remote control system for mining locomotives. International Journal of Mining Science and Technology, 25(3), 445-452.

26. Forooshani, A. E., Bashir, S., Michelson, D. G., & Noghianian, S. (2013). A survey of wireless communications and propagation models in underground mines. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 15(4), 1524-1545.

27. Bednarz, S., & Lowe, R. (2012). Fail-safe electronic control architecture for underground electric haulage systems. Safety Science, 50(7), 1589-1596.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.26.250-19	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

28. Ploeg, J., & Nijmeijer, H. (2010). Safe remote operation of autonomous industrial vehicles in confined environments. *Control Engineering Practice*, 18(11), 1311-1322.

29. Li, M., & Liu, Y. (2019). Underground locomotive collision avoidance system based on radar sensor integration. *Process Safety and Environmental Protection*, 124, 88-97.

30. Zhang, L., & Wang, H. (2016). Application of LoRa technology in remote monitoring and control of underground coal mine equipment. *IEEE Access*, 4, 9112-9120.

31. Hartman, H. L., & Mutmansky, J. M. (2002). *Introductory Mining Engineering* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

32. Schenk, J., & Miller, G. (2013). Energy-efficient and automated control of battery-powered mining locomotives. *Journal of Cleaner Production*, 52, 210-218.

33. ISO 19296:2018. Mining — Mobile machines intended for use in underground mines — Machine safety. International Organization for Standardization.

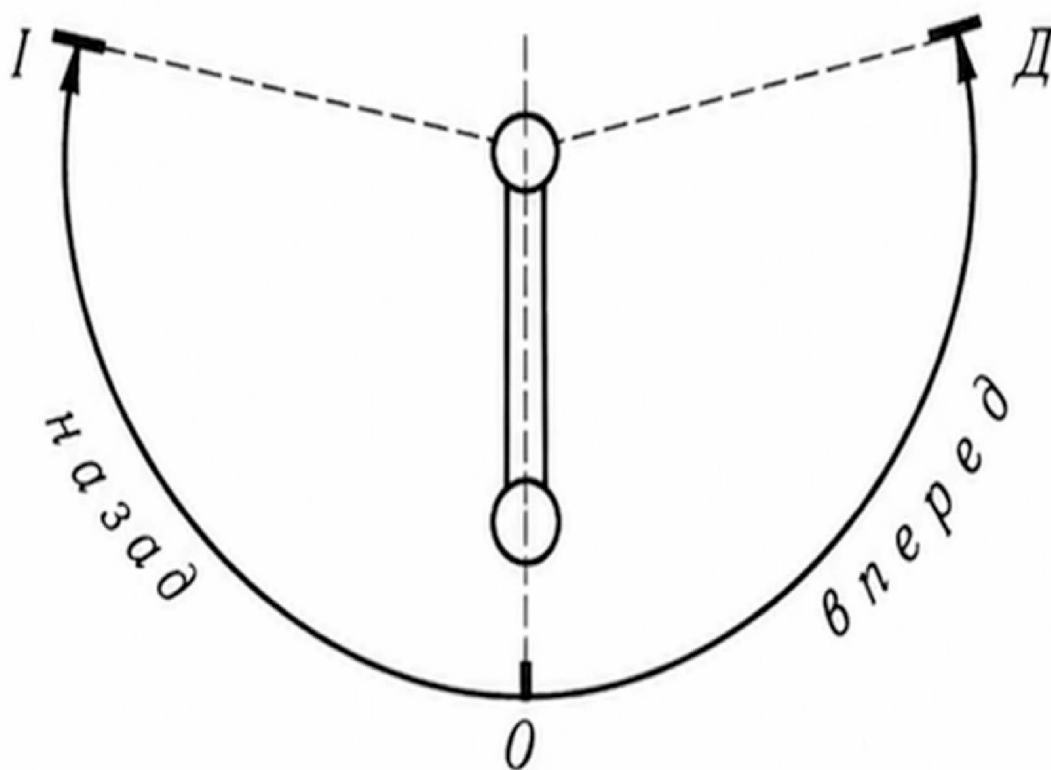
34. Ranjan, A., & Misra, P. (2020). Evaluation of radio wave propagation in underground coal mines for IoT-based automation. *IEEE Internet of Things Journal*, 7(9), 8901-8910.

35. Gui, J., & Thomson, S. (2011). Teleoperation and automation of trackbound underground haulage: Economic and safety impacts. *Mining Engineering*, 63(8), 45-52.

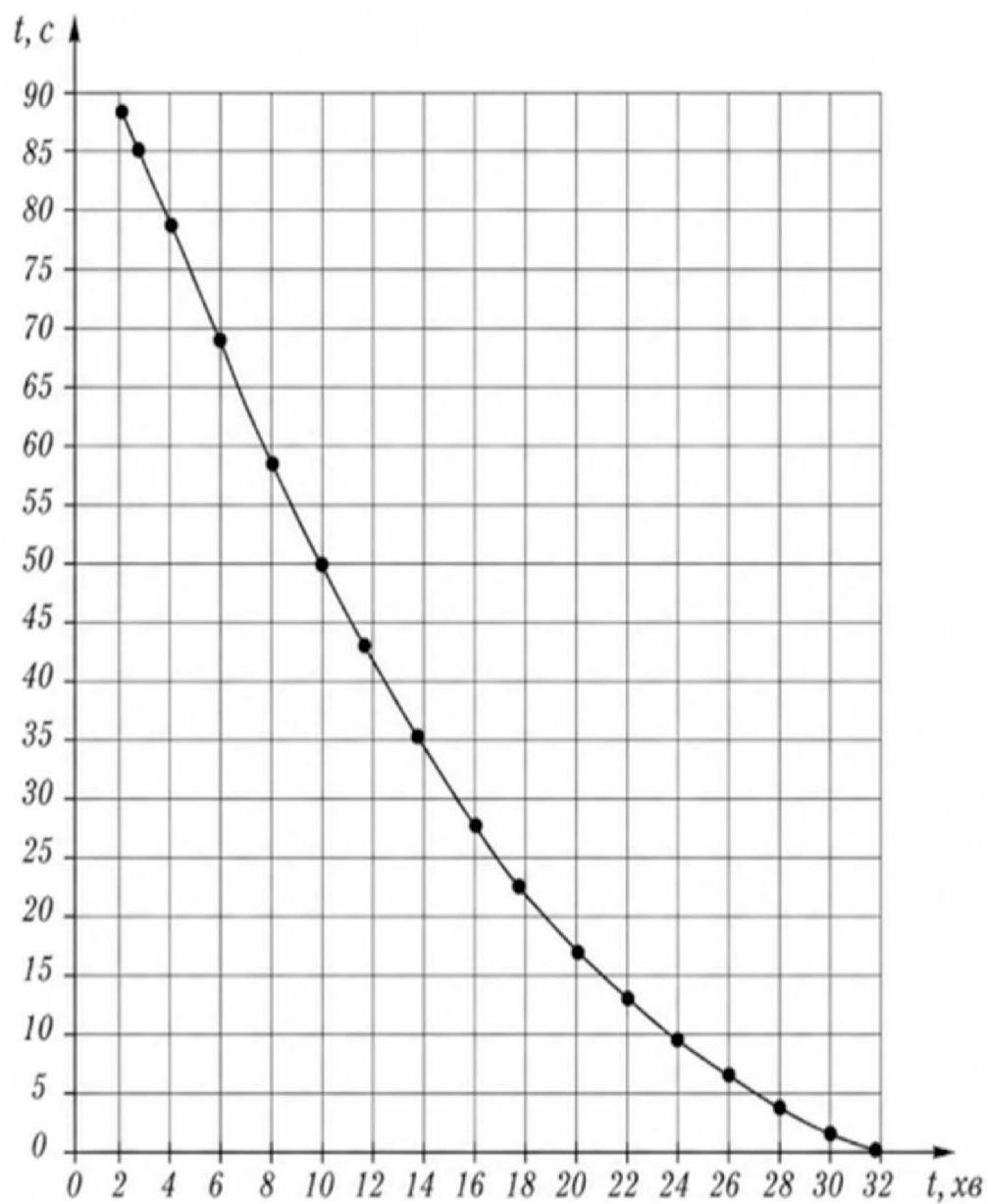
Спрощена блок-схема системи керування рудничним електровозом



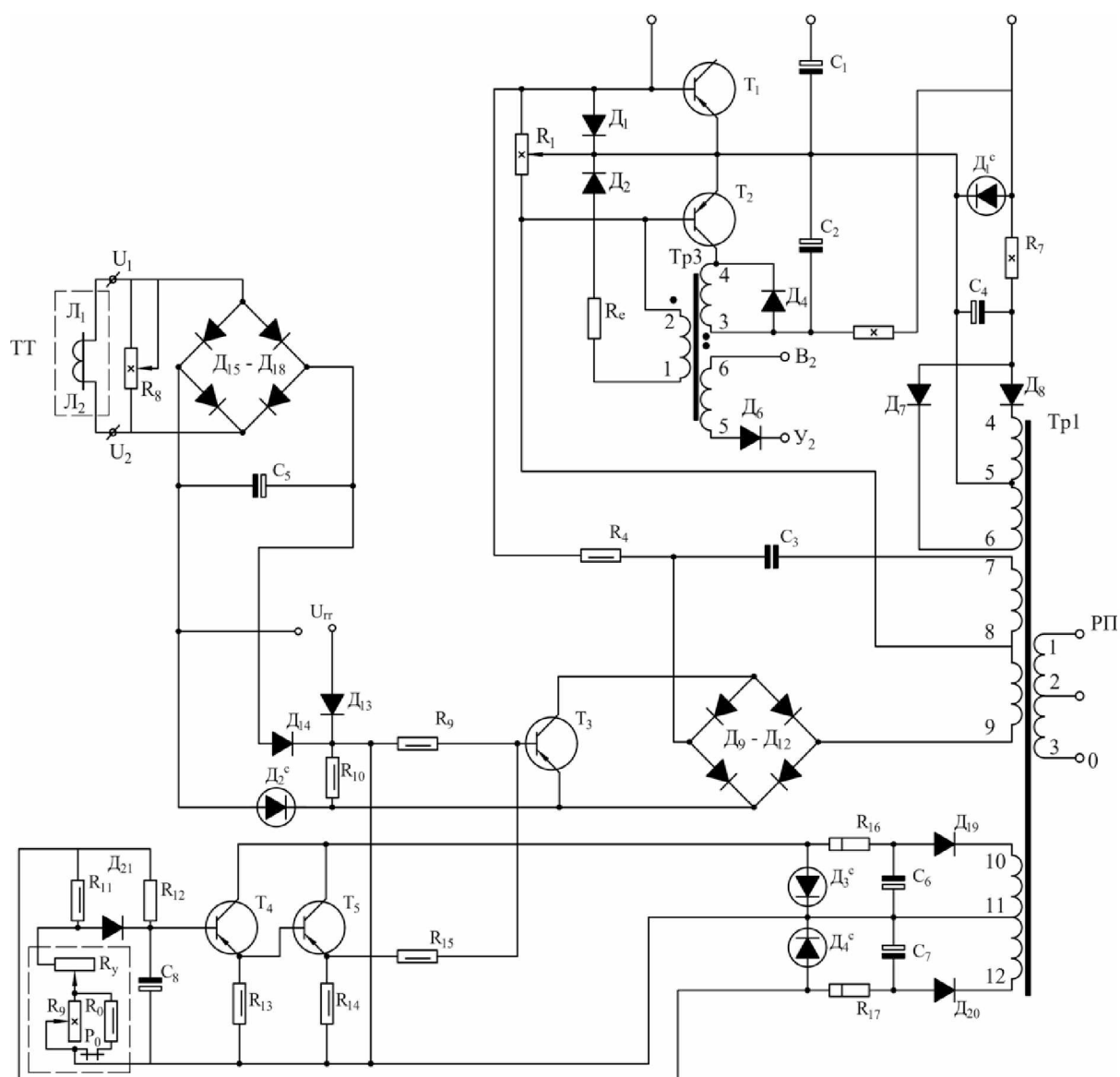
Рукоятка керування



Характеристика нагрівання тиристора.



Принципова схема блоку керування тиристорами



Характеристика задаючого пристрою

