

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Український державний університет залізничного транспорту
Кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів

**РОЗРОБЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ
СТАНУ КОМПОНЕНТІВ ТОНАЛЬНИХ РЕЙКОВИХ КІЛ**

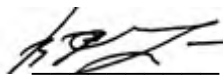
Пояснювальна записка

до випускної кваліфікаційної роботи першого
освітнього ступеня бакалавр
ВКР 01.25.02.23.ПЗ

Виконав здобувач вищої освіти
групи 106 – АКІТ – д21
(робота виконано самостійно, відповідно
до принципів академічної доброчесності)

 Владислав ПАРХОМЕНКО

Керівник: професор, канд. техн. наук

 Володимир ХІСМАТУЛІН

Рецензент: доцент, канд. техн. наук

 Наталія КОРОЛЬОВА

Харків 2025 рік

Бакалаврська кваліфікаційна робота на здобуття ступеня бакалавр за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології на тему Розроблення пристрою для автоматизованого діагностування стану компонентів тональних рейкових кіл. Український державний університет залізничного транспорту, кафедра «Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів» – Харків, 2025 рік, 82 аркуші пояснювальної записки, містить 9 таблиць та 30 рисунків, список використаної літератури містить з 23 найменування.

Бакалаврська кваліфікаційна робота присвячена дослідженню тональних рейкових кіл (ТРКЗ), які використовуються в системах автоматичного регулювання руху на залізницях. У першому розділі розглядається література, ставляться цілі та завдання дослідження. Описуються основні параметри ТРКЗ, кабельні мережі, обладнання для їх роботи, а також система централізованого розміщення апаратури. Окремо висвітлюються питання технічного обслуговування та профілактики, а також підбиваються підсумки. Другий розділ присвячений аналізу впливу зовнішніх факторів на стабільність роботи ТРКЗ. Розглядаються електромагнітні перешкоди, зміни характеристик елементів кіл та ізоляції баласту. Визначаються оптимальні умови роботи в нормальному та шунтовому режимах, проводяться відповідні розрахунки.

Третій розділ описує пристрій для автоматизованого діагностування стану компонентів ТРКЗ. Подається його структурна та принципова схеми, пояснюється, як він перевіряє колійні генератори та приймачі. Робота спрямована на підвищення надійності та ефективності тональних рейкових кіл шляхом аналізу їх роботи, виявлення проблем і створення сучасного діагностичного обладнання. Результати можуть бути корисними для вдосконалення залізничних систем автоматизації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТОНАЛЬНІ РЕЙКОВІ КОЛА; ТРКЗ; АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ РУХУ; КАБЕЛЬНІ МЕРЕЖІ; ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ПЕРЕШКОДИ; ІЗОЛЯЦІЯ БАЛАСТУ; ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ; РЕМОНТНО – ПРОФІЛАКТИЧНІ ЗАХОДИ; ЗАЛІЗНИЧНА АВТОМАТИКА; ФУНКЦІОНАЛЬНА СТІЙКІСТЬ; НОРМАЛЬНИЙ РЕЖИМ; ШУНТОВИЙ РЕЖИМ; КОЛІЙНІ ГЕНЕРАТОРИ; КОЛІЙНІ ПРИЙМАЧІ; АВТОМАТИЗОВАНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ; СТРУКТУРНА СХЕМА; ПРИНЦИПОВА СХЕМА; ЗОВНІШНІ ФАКТОРИ.

Bachelor's qualification work for a bachelor's degree in specialty 151 Automation and computer – integrated technologies on the topic Development of a device for automated diagnostics of the state of components of tone rail circuits. Ukrainian State University of Railway Transport, Department of Automation and Computerized Train Traffic Control – Kharkiv, 2025, 82 pages of explanatory note, contains 9 tables and 30 figures, the list of references includes 23 titles.

The bachelor's qualification work is devoted to the study of tone rail circuits (TRC3) used in automatic traffic control systems on railways. The first chapter reviews the literature, sets the goals and objectives of the study. It describes the main parameters of TRC3, cable networks, equipment for their operation, as well as the system of centralized placement of equipment. The issues of maintenance and prevention are covered separately, and the results are summarized. The second section is devoted to the analysis of the influence of external factors on the stability of the fuel dispenser³. Electromagnetic interference, changes in the characteristics of circuit elements and ballast insulation are considered. The optimal operating conditions in normal and shunt modes are determined, and the corresponding calculations are performed.

The third section describes the device for automated diagnostics of the state of the fuel dispenser components³. Its structural and schematic diagrams are presented, and it is explained how it checks track generators and receivers. The work is aimed at improving the reliability and efficiency of tone rail circuits by analyzing their operation, identifying problems, and creating modern diagnostic equipment. The results can be useful for improving railway automation systems.

KEYWORDS: TONE RAIL CIRCUITS; AUTOMATIC TRAFFIC CONTROL; CABLE NETWORKS; ELECTROMAGNETIC INTERFERENCE; BALLAST ISOLATION; MAINTENANCE; REPAIR AND PREVENTIVE MEASURES; RAILWAY AUTOMATION; FUNCTIONAL STABILITY; NORMAL MODE; SHUNT MODE; TRACK GENERATORS; TRACK RECEIVERS; AUTOMATED DIAGNOSTICS; STRUCTURAL DIAGRAM; SCHEMATIC DIAGRAM; EXTERNAL FACTORS.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет інформаційно – керуючих систем та технологій

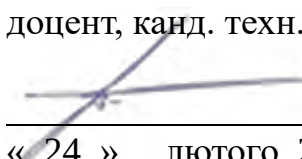
Кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Спеціальність: 151 «Автоматизація, комп'ютерно – інтегровані технології»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
доцент, канд. техн. наук

 Василь СОТНИК
« 24 » лютого 2025

ЗАВДАННЯ ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ПЕРШОГО ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР Пархоменко Владиславу Олександровичу

1 Тема Розроблення пристрою для автоматизованого діагностування стану компонентів тональних рейкових кіл

Керівник Хісматулін Володимир Шайдуллович, кандидат технічних наук, професор
затверджені розпорядженням по факультету інформаційно – керуючих систем та технологій від «24» лютого 2025 року №11

2 Строк подання студентом закінченої роботи «10» червня 2025 року

3 Вихідні дані Наукові статті і монографії з тематики тональних рейкових кіл, їх конструкції та принципу роботи; Інструкції та технічні документи, що описують роботу та обслуговування ТРК; Дослідження про вплив електромагнітних завад та зовнішніх факторів на залізничну автоматику та сигналізацію; Технічні документи щодо процесів встановлення, налаштування, тестування та обслуговування ТРК; Інструкції з профілактичного обслуговування та ремонту компонентів ТРК, таких як кабельні лінії, генератори та приймачі, ізоляційні елементи; Рекомендації щодо технічного контролю стану ТРК.

4 Зміст розрахунково – пояснювальної записки

1 Огляд літератури, формулювання цілей і ключових завдань дослідження

2 Аналіз впливу зовнішніх факторів на функціональну стійкість тональних рейкових кіл

3 Пристрій для автоматизованого діагностування стану компонентів тональних рейкових кіл

5 Перелік графічного матеріалу

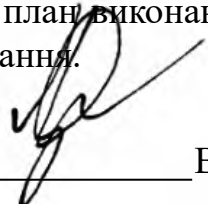
Структурна схема ТРКЗ; Схема підключення апаратури ТРКЗ; Схема живильного кінця ТРКЗ з використанням універсальної апаратури; Схема електрична принципова ГПЗ; Схема електрична принципова генератора ГПУ; Структурна схема системи АБТЦ; Загальна схема заміщення рейкового кола; Осцилограми сигнального струму ТРК; Тимчасова залежність і спектральний склад зворотного тягового струму; Схема поширення сигнального струму в безстиківій ТРЦ; Залежність напруги на генераторі від довжини кабелю для трьох значень конденсатора; Залежність напруги на генераторі від довжини суміжної рейкової лінії для трьох значень опору резистора; Схема струмів витоку; Схема заміщення опору ізоляції рейкової лінії; Спрощена схема заміщення рейкової лінії при дерев'яних шпалах; Спрощена схема заміщення ізоляції рейкового кола при залізобетонних шпалах; Схема заміщення елемента опору ізоляції рейкового кола; Схема заміщення елемента рейкової лінії; Графік залежності U_g від довжини рельсової лінії; Графік залежності $U_{пп}$ від R_b при мах довжині рельсової лінії для кожної з обраних частот при U_g ; Схема заміщення РК у шунтовому режимі; Графік залежності $U_{пп}$ від відстані потягу до апаратури живлячого кінця на дільниці; Графік залежності $U_{пп}$ від відстані потягу до апаратури прийомного кінця до вступу на дільниці; Графік залежності $U_{пп}$ від відстані потягу до апаратури передавального кінця після прослідкування ділянки; Структурна схема пристрою діагностування стану колійних генераторів та приймачів; Схема аналогового ключа; Графічне позначення аналогового комутатору.

6 Дата видачі завдання «24» Січня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури, формулювання цілей і ключових завдань дослідження	10.04.2025 р.	
2	Аналіз впливу зовнішніх факторів на функціональну стійкість тональних рейкових кіл	10.05.2025 р.	
3	Пристрій для автоматизованого діагностування стану компонентів тональних рейкових кіл	10.06.2025 р.	

Примітка – Розгорнутий календарний план виконання випускної кваліфікаційної роботи наведений у додатку до завдання.

Студент  Владислав ПАРХОМЕНКО

Керівник  Володимир ХІСМАТУЛІН

Зміст

Вступ	10
1 Огляд літератури, формулювання цілей і ключових завдань дослідження	12
1.1 Основний опис параметрів тонального рейкового кола ТРКЗ	12
1.2 Кабельні мережі для тональних рейкових кіл	18
1.3 Обладнання для функціонування тонального кола ТРКЗ	20
1.4 Система автоматичного регулювання руху з тональними рейковими колами та централізованим розміщенням апаратури	26
1.5 Ремонтно – профілактичні заходи та технічне обслуговування тональних рейкових кіл	29
1.6 Висновки за розділом	32
2 Аналіз впливу зовнішніх факторів на функціональну стійкість тональних рейкових кіл	34
2.1 Комплексний огляд та аналіз актуальних питань	34
2.2 Вивчення ефектів електромагнітних перешкод на функціонування тональних рейкових кіл	39
2.3 Аналіз впливу зміни характеристик елементів тональних кіл на їх робочі режими	41
2.4 Аналіз впливу характеристик ізоляції баласту на функціонування тональних рейкових кіл	49
2.5 Визначення оптимальних умов роботи та розрахунок нормального режиму	58
2.6 Визначення оптимальних умов роботи та розрахунок шунтового режиму	61
2.7 Висновки за розділом	64

					ВКР 01.25.02.23.ПЗ			
Ізм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Пархоменко В.О.			Розроблення пристрою для автоматизованого діагностування стану компонентів тональних рейкових кіл	Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Хісматулін В.Ш.					8	82
						УкрДУЗТ 106 – АКІТ – д21		
Н. контр.		Ананьєва О.М.						
Затв.		Сотник В.О.						

3 Пристрій для автоматизованого діагностування стану компонентів тональних рейкових кіл	65
3.1 Структурна схема пристрою для автоматизованого діагностування компонентів тональних рейкових кіл	65
3.2 Принципова схема пристрою для автоматизованого діагностування компонентів колійних генераторів та приймачів	68
3.3. Висновки за розділом	79
Висновки	80
Список використаної літератури	81

					ВКР 01.25.02.06.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Традиційні типи рейкових кіл мають низку обмежень, серед яких ключовим недоліком є необхідність встановлення ізолюючих стиків. Саме ці елементи спричиняють близько 30% загальної кількості відмов у роботі таких систем. На зміну їм сьогодні активно впроваджуються безстикові рейкові кола, які значно переважають за технічними й експлуатаційними характеристиками [1].

До основних переваг таких систем належать: можливість застосування суцільнозварених кіл; зменшення потреби в дросель – трансформаторах; централізована установка керуючого та силового обладнання; універсальність щодо різних типів тягового рухомого складу; підвищена стійкість до електромагнітних та інших завад; знижене споживання електроенергії.

Живлення рейкового кола забезпечує генератор, від якого електричний струм розподіляється вздовж рейок у два боки від точки його під'єднання до приймачів сусідніх рейкових кіл. У системах автоматизації використовують два різновиди тональних рейкових кіл: ТРЦ – 3 та ТРЦ – 4, що різняться частотами роботи генераторів. Такі кола застосовуються як на перегонах, так і на станціях незалежно від типу тяги. На перегонах використовують кола без ізоляційних стиків, а на станціях – із ними. Обладнання для рейкових кіл розміщене на станції та з'єднане з рейками через кабельну мережу.

Рейкові кола в системах залізничної автоматики функціонують у складному середовищі, де на їхню стабільність впливають численні чинники. До ключових належать погодні умови, такі як перепади температури чи рівень вологості, що суттєво позначаються на опорі ізоляції баласту. Також значну роль відіграють електромагнітні перешкоди, які створює тягова електрична мережа, особливо на ділянках із інтенсивним рухом. Окрім того, з часом параметри апаратури тональних рейкових кіл можуть змінюватися через зношення чи старіння матеріалів, що ускладнює їхню роботу. Додатковими факторами є механічні навантаження від поїздів, вібрації та корозія рейок. Усе це вимагає постійного контролю й удосконалення систем для забезпечення безпеки руху [1].

					ВКР 01.25.02.06.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Чинники, що дестабілізують роботу рейкових кіл, впливають на напругу, яка надходить до колійних приймачів, що може призводити до збоїв у різних режимах їх функціонування – нормальному, шунтовому або контрольному. Такі відхилення створюють серйозні ризики для безпеки руху поїздів, адже від стабільності рейкових кіл залежить правильна робота систем автоматики. Щоб гарантувати надійність і безперебійність тональних рейкових кіл, проводять регулярні перевірки напруги як на приймачах, так і на генераторах. Цей процес потребує значних зусиль, часу та фінансових ресурсів, що ускладнює підтримання обладнання в належному стані. Через це виникає потреба в розробці сучасного рішення – пристрою, який би автоматично відстежував рівень напруги. Використання новітніх комп'ютерних технологій у такому пристрої дало б змогу не лише спростити контроль, а й значно знизити витрати на обслуговування [1].

Автоматизація цього процесу значно покращила б продуктивність залізничних систем, мінімізувала ризик помилок, спричинених людським фактором, і дозволила оперативно виявляти та усувати неполадки. Впровадження такого рішення стало б суттєвим прогресом у вдосконаленні залізничної інфраструктури, забезпечуючи вищий рівень безпеки руху та раціональне використання ресурсів у майбутньому. Автоматичний контроль дозволяє оперативно виявляти відхилення в роботі обладнання, що значно скорочує ризик виникнення аварій.

Такий підхід зменшує залежність від ручної праці, заощаджуючи час і кошти, які раніше витрачалися на регулярні перевірки. Це сприяє формуванню більш надійної, ефективної та сучасної системи залізничного транспорту, здатної відповідати на майбутні виклики. Завдяки автоматизації підвищується точність діагностики, що допомагає уникати збоїв і підтримувати стабільність роботи.

Завдяки економії ресурсів з'являється можливість інвестувати їх у вдосконалення інших ключових напрямів інфраструктури, таких як модернізація обладнання чи підвищення комфорту пасажирів. У результаті залізнична система не лише адаптується до нових технологій, а й суттєво підвищує рівень безпеки. Це дозволяє їй ефективно справлятися з сучасними вимогами, зменшувати ризики аварій і забезпечувати стабільну роботу в умовах швидких змін, що є важливим для майбутнього транспорту [1].

					ВКР 01.25.02.06.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Висновки

Виконано аналіз впливу різноманітних нестабільних зовнішніх та внутрішніх чинників, що можуть негативно впливати на функціонування тональних рейкових кіл. Досліджено поведінку еквівалентних електричних моделей ТРК в умовах трьох основних режимів експлуатації, із детальним вивченням початкових параметрів рейкової лінії.

Оцінено ступінь впливу електромагнітних завад на стабільність та надійність роботи рейкових кіл. Проведено математичне моделювання та аналіз впливу опору ізоляції баластного шару на ефективність функціонування тонального рейкового кола. З огляду на те, що реальні значення електричних компонентів (таких як резистори й конденсатори) можуть відхилятися від номіналів у допустимих межах, а також змінюватися внаслідок температурних коливань, вологості або процесів старіння, було виконано розрахунок впливу цих змін на характеристики ТРК, зокрема на напругу, яка фіксується на колійному приймачі. У ході досліджень встановлено, що різноманітні чинники, які порушують стабільність роботи системи, мають суттєвий вплив на рівень напруги, що подається на колійний приймач. Такі зміни можуть викликати відхилення від штатного режиму функціонування тонального рейкового кола – нормального, шунтового або контрольного, що безпосередньо пов'язано з ризиком порушення безпеки залізничного руху.

У межах цієї роботи запропоновано структурну та принципову схему пристрою для автоматизованого діагностування компонентів колійних генераторів та приймачів. Комплекс складається з аналогових перемикачів, модуля узгодження сигналів, аналого – цифрового перетворювача та персонального комп'ютера або ноутбука. Координація процесу обміну інформацією між АЦП та комп'ютером здійснюється за допомогою мікроконтролера PIC16F874. В якості комутуючих елементів застосовано мікросхеми K591KN3 та K590KN6. Здійснено технічний аналіз компонентів, які використані в конструкції пристрою, з урахуванням їх параметрів, що впливають на точність і стабільність роботи системи.

					ВКР 01.25.02.06.ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Список використаної літератури

1 Савченко В. І., Дудар І. М., Козловський І. А. Системи виявлення поїздів на залізничному транспорті. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2021. – 180 – 195с.

2 Іваненко П. М. Сучасні мікропроцесорні засоби автоматизації на залізничному транспорті. Залізничний транспорт. – 2018. – № 5. – С. 12 – 20.

3 Горбенко Л. І., Попов А. О. Теоретичні основи електротехніки. Електричні кола: навчальний посібник. – Харків: УкрДУЗТ, 2021. – 160 с.

4 Мельник С. О., Костенко В. І. Оптимізація параметрів рейкових кіл на дільницях з різною електропровідністю колії. Залізнична автоматика та телемеханіка. – 2021. – №2. – С. 24–31.

5 Жук С. І., Красноштан В. А. Особливості роботи тональних рейкових кіл на ділянках з нестабільними параметрами колії. Вісник ДНУЗТ. – 2020. – №64. – С. 105–112.

6 Мойсеєнко В. І., Курцев М. С., Лазарєв О. В. Технології та технічні засоби систем керування рухом поїздів: навчальний посібник. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – 28 – 38 с.

7 Гребенюк В. Ю., Соловей І. М. Застосування мікропроцесорних систем управління для підвищення ефективності залізничного транспорту. Залізнична автоматика та телемеханіка. – 2020. – №2. – С. 33 – 42.

8 Захарченко В. Л., Глушак М. Ю. Цифрові системи управління на залізниці. – Харків: УкрДУЗТ, 2020. – С. 49–60.

9 Іваненко М. М. Автоматизовані системи керування та телемеханіка на залізничному транспорті: навчальний посібник. – Київ: Логос, 2022. – С. 113 – 121.

10 Автоматизовані системи інтервального регулювання рухом поїздів: метод. вказівки [Електронний ресурс]. УкрДУЗТ. – Харків: Український державний університет залізничного транспорту, 2020. – 84 с. – Режим доступу: https://xemttc.at.ua/Metod_zbs/akredit_2020/AT/mp_asirrp_sr_2020.pdf, вільний. – Дата звернення 10.05.2025 року

11 Гребенюк В. Ю., Соловей І. М. Застосування мікропроцесорних систем управління для підвищення ефективності залізничного транспорту. Залізнична автоматика та телемеханіка. – 2020. – №2. – С. 60 – 65.

					ВКР 01.25.02.06.ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- 12 Кулик П.Д., Івакін М.С., Удовиков А.А. Тональні рейкові кола в системах ЖАТ. – К.: Видавничий дім «Мануфактура», 2004.
- 13 Практичний посібник з технічного утримання апаратури тональних рейкових кіл (П.Д. Кулик, О.О. Удовіков, В.І. Басов та ін.). Басов та ін. – Київ: Видавництво, 2006. – 236 с.)
- 14 Федоров М.Є. Сучасні системи автоблокування з тональними рейковими колами: Навчальний посібник. – 2004. – 132 с.
- 15 Система автоблокування з тональними рейковими колами, централізованим розміщенням апаратури і дублюючими каналами передачі інформації мікропроцесорна АБТЦ – М. Посібник з експлуатації 41571 – 00 – 00 РЕ. – 2004. – 66с.
- 16 Копитко А.І., Дьяків В.І. Дослідження електричних характеристик ізоляції баласту тональних рейкових кіл при різних експлуатаційних умовах. Системи управління, навігації та зв'язку. - 2018. – №1 (45). – С. 61 – 65.
- 17 Гаврилюк В.І., Мелешко В.В. Електричний імпеданс тягових рейок в діапазоні звукових частот. Інформаційно – керуючі системи залізничного транспорту, 2015. – №2. – С. 31 – 36.
- 18 Щека В. І., Гаврилюк В. І. Дослідження особливостей роботи рейкових кіл в умовах електромагнітного впливу контактної мережі // Залізничний транспорт України. – 2015. – № 4. – С.16 – 19.
- 19 Гаврилюк В. І., Щека В. І., Мелешко В. В. Випробування нових типів рухомого складу на електромагнітну сумісність із пристроями сигналізації та зв'язку. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2015. – № 5(59). – С. 7 – 15.
- 20 Романцев І. О., Гаврилюк В. І. Визначення опору ізоляції баласту рейкового кола без фазових вимірів і виключення залежностей. Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті, 2015. – № 9. – С. 86 – 93.
- 21 V. І. Гаврилюк, О. М. Возняк, В. В. Мелешко. Підвищення точності позиціонування поїзда на під'їзній ділянці до залізничного переїзду. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 1 (61) Р. 9 – 18.
- 22 В. І. Гаврилюк. Норми і методи випробування рухомого складу на електромагнітну сумісність із системами сигналізації та зв'язку. Електромагнітна сумісність і безпека на залізничному транспорті. 2016. № 12. 10 с.
- 23 В. Гаврилюк. Міжнародні норми на електромагнітну сумісність рухомого складу із системами сигналізації та зв'язку. Українська залізниця, №5 – 6 (47 – 48), 2017 С. 46 – 50.