**МІНСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів

# ОПТИМІЗАЦІЯ РОБОТИ РЕЙКОВИХ КІЛ ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ

## Пояснювальна записка

до випускної кваліфікаційної роботи першого
освітнього ступеня бакалавр
ВКР 01.25.02.14.ПЗ

Виконав здобувач вищої освіти
групи 135 – ОКСКРП – д22
(робота виконано самостійно, відповідно
до принципів академічної доброчесності)
_____Єлизавета ЗАКРЕВСЬКА

Керівник: професор, канд. техн. наук

_____ Володимир ХІСМАТУЛІН

Рецензент: доцент, канд. техн. наук

_____ Наталія КОРОЛЬОВА

Харків 2025 рік

Анотація

Бакалаврська кваліфікаційна робота на здобуття ступеня бакалавр за спеціальністю 273 Залізничний транспорт на тему «Оптимізація роботи рейкових кіл шляхом створення автоматизованих засобів контролю». Український державний університет залізничного транспорту, кафедра «Автоматика та комп'ютерне телекерування рухом поїздів» – Харків, 2025 рік, 86 аркуші пояснювальної записки, містить 7 таблиць та 23 рисунки, список використаної літератури містить з 27 найменування використаної літератури.

Бакалаврська кваліфікаційна робота зосереджена на дослідженні технологій і пристроїв для діагностики та контролю рейкових кіл, які відіграють важливу роль у залізничних системах. У першому розділі розглядаються принципи роботи рейкових кіл, їхні особливості та застосування в системах автоматичного блокування. Також аналізуються різні типи рейкових кіл і їхня специфіка на станціях, після чого зроблено висновки про їхню функціональність.

Другий розділ зосереджений на передачі сигналів у рейкових колах і методах підвищення їхньої стійкості до перешкод. Описуються сучасні способи діагностики, ключові параметри, що впливають на роботу кіл, і технології для покращення надійності тональних рейкових кіл. Окремо розглядається вплив зовнішніх факторів, таких як тяговий струм, імпульсні та коливальні навантаження, на функціонування цих систем, з подальшими висновками.

Третій розділ присвячений розробці автоматизованої підсистеми для контролю стану рейкових кіл. Пояснюється призначення фазочутливих рейкових кіл і обґрунтовується необхідність створення такої підсистеми для ефективної діагностики тональних кіл. Завершується розділ висновками про її практичну цінність.

Четвертий розділ аналізує ефективність розроблених систем контролю рейкових кіл, оцінюючи їхню здатність підвищувати безпеку та надійність залізничного руху. Робота пропонує прості рішення для вдосконалення діагностики та функціонування рейкових кіл

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РЕЙКОВІ КОЛА; АВТОМАТИЧНЕ БЛОКУВАННЯ; ТОНАЛЬНІ РЕЙКОВІ КОЛА; ПЕРЕДАЧА СИГНАЛІВ; ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ; ДІАГНОСТИКА РЕЙКОВИХ КІЛ; ТЯГОВИЙ СТРУМ; ФАЗОЧУТЛИВЕ КОЛО; АВТОМАТИЗОВАНА ПІДСИСТЕМА; КОНТРОЛЬ СТАНУ.

Abstracts

Bachelor's qualification work for a bachelor's degree in specialty 273 Railway transport on the topic Optimization of rail circuits operation by creating automated control devices. Ukrainian State University of Railway Transport, Department of Automation and Computerized Train Control – Kharkiv, 2025, 86 pages of explanatory note, contains 7 tables and 23 figures, the list of references includes 27 titles of used literature.

The bachelor's qualification work focuses on the study of technologies and devices for diagnostics and control of rail circuits, which play an important role in railway systems. The first chapter discusses the principles of rail circuits, their features, and applications in automatic interlocking systems. It also analyzes the different types of rail circuits and their specificity at stations, and then draws conclusions about their functionality.

The second section focuses on signal transmission in rail circuits and methods of increasing their resistance to interference. It describes modern diagnostic methods, key parameters affecting the operation of the circuits, and technologies for improving the reliability of tone rail circuits. The influence of external factors, such as traction current, impulse and oscillating loads, on the functioning of these systems is also discussed, followed by conclusions.

The third chapter is devoted to the development of an automated subsystem for monitoring the state of rail circuits. The purpose of phase – sensitive rail circuits is explained and the necessity of creating such a subsystem for effective diagnostics of tone circuits is substantiated. The section concludes with conclusions about its practical value.

The fourth section analyzes the effectiveness of the developed rail circuit monitoring systems, assessing their ability to improve the safety and reliability of rail traffic. The paper offers simple solutions to improve the diagnostics and operation of rail circuits

KEYWORDS: RAIL CIRCUITS; AUTOMATIC INTERLOCKING; TONE RAIL CIRCUITS; SIGNAL TRANSMISSION; NOISE IMMUNITY; DIAGNOSTICS OF RAIL CIRCUITS; TRACTION CURRENT; PHASE – SENSITIVE CIRCUIT; AUTOMATED SUBSYSTEM; CONDITION MONITORING.

**Український державний університет залізничного транспорту**

**Факультет** інформаційно – керуючих систем та технологій
**Кафедра** автоматики та комп'ютерного телекерування рухом поїздів
**Ступінь вищої освіти:** бакалавр
**Спеціальність:** 273 «Залізничний транспорт»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**
Завідувач кафедри,
доцент, канд. техн. наук

_____Василь СОТНИК
«_24_» __лютого_ 2025

**ЗАВДАННЯ**
**ДО ВИПУСКНОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**
**ПЕРШОГО ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВР**
Закревській Єлизаветі Олексіївні

**1 Тема** Оптимізація роботи рейкових кіл шляхом створення автоматизованих засобів контролю
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** Технічна документація рейкових кіл, схеми, описи принципів роботи, специфікації пристроїв; Дані про системи автоматичного блокування, інформація про типи систем; Характеристики різновидів рейкових кіл, параметри, конструктивні особливості; Результати тестування сигналів експериментальні дані про передачу сигналів у рейкових колах; Вимірювання параметрів рейкових кіл, дані про струм, напругу, частоту, які впливають на роботу; Показники гармонік тягового струму, імпульсних і коливальних навантажень; Опис сучасних технологій діагностики, методи, прилади, програмне забезпечення для аналізу стану рейкових кіл; Технічні характеристики фазочутливих кіл, принципи роботи, параметри; Показники ефективності систем, статистика, результати впровадження подібних підсистем.
**4 Зміст розрахунково – пояснювальної записки**
1 Аналіз технологій та пристроїв для діагностики та контролю параметрів рейкових кіл
2 Дослідження передачі сигналів у рейкових колах та розробка методів підвищення їх завадостійкості
3 Проєктування автоматизованої підсистеми для контролю стану рейкових кіл
4 Аналіз ефективності застосування розроблених систем контролю рейкових кіл

**5 Перелік графічного матеріалу**

Схематичне зображення рейкового кола; Кодове рейкове коло змінного струму на частоті 25Гц; Схематичне зображення увімкнення апаратури рейкових кіл тональної частоти; Схематичне зображення розгалуженого рейкового кола; Схематичне зображення пропуску тягового струму у двониткових рейкових колах; Перелік ключових перешкод і факторів, що порушують стабільність роботи рейкової лінії; Схема заміщення РК; Вплив опору ізоляції на характеристичний імпеданс РЛ при різних частотах несучого сигналу; Вплив опору ізоляції на коефіцієнт поширення сигналу в РЛ при різних частотах несучого сигналу; Схема заміщення РК в шунтовому режимі; Одиночний імпульс і періодична послідовностіть імпульсів; Реалізація випадкової послідовності імпульсних завад; Гістограма розподілу величин амплітуд імпульсних перешкод; Флуктуаційна перешкода з дисперсією, що дорівнює одиниці  та середнім значенням, рівним нулю, на вході приймального пристрою; Аналіз потужності перешкод за допомогою програмного модуля Simulink; Структура схема діагностики та контролю пристроїв автоматики; Алгоритм контролю та діагностування колійних реле; Структурна схема підсистема діагностування ТРК

**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 | Аналіз технологій та пристроїв для діагностики та контролю параметрів рейкових кіл | 10.03.2025 р. | |
| 2 | Дослідження передачі сигналів у рейкових колах та розробка методів підвищення їх завадостійкості | 10.04.2025 р. | |
| 3 | Проєктування автоматизованої підсистеми для контролю стану рейкових кіл | 10.05.2025 р. | |
| 4 | Аналіз ефективності застосування розроблених систем контролю рейкових кіл | 10.06.2025 р. | |

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

Студент_____Єлизавета ЗАКРЕВСЬКА

Керівник_____Володимир ХІСМАТУЛІН

Зміст


Вступ 10

1 Аналіз технологій та пристроїв для діагностики та контролю параметрів рейкових кіл 11

1.1 Аналіз функціональних особливостей та принципів роботи рейкових кіл 11

1.2 Аналіз застосування рейкових кіл у різних типах систем автоматичного блокування 15

1.3 Аналіз та характеристика різновидів рейкових кіл 16

1.4 Аналіз особливостей рейкових кіл у межах станційної Інфраструктури 24

1.5 Висновки по розділу 29

2 Дослідження передачі сигналів у рейкових колах та розробка методів підвищення їх завадостійкості 30

2.1 Методи діагностики та аналіз сучасних рейкових кіл 30

2.2 Аналіз та визначення параметрів рейкових кіл які впливають на їх нормальну роботу 33

2.3 Методи та технології покращення надійної роботи тональних рейкових кіл 39

2.4 Характерні властивості та особливості передачі сигналів у тональних рейкових колах 42

2.5 Аналіз впливу гармонік тягового струму на функціонування тональних рейкових кіл 48

2.6 Аналіз роботи тональних рейкових кіл під впливом імпульсних та коливальних навантажень 49

2.7 Висновки по розділу 54

3 Проєктування автоматизованої підсистеми для контролю стану рейкових кіл 56
3.1 Функціональне призначення та специфіка роботи фазочутливого рейкового кола 56
3.2 Обґрунтування створення підсистеми для контролю та діагностики тональних рейкових кіл 66
3.3 Висновки по розділу 79
4 Аналіз ефективності застосування розроблених систем контролю рейкових кіл 80
Висновки 83
Список використаної літератури 84

Вступ

Системи автоматизації та телемеханіки відіграють ключову роль у залізничному транспорті, забезпечуючи ефективне перевезення вантажів і стабільну роботу промислової інфраструктури держави. Вони відповідають за керування рухом потягів, спрощення процедур розподілу вагонів на сортувальних станціях, а також гарантування безпеки під час руху. Основою цих процесів є використання рейкових кіл як головних датчиків на коліях, а також телемеханічних систем зв'язку. Останнім часом з'явилося багато інноваційних типів рейкових кіл. Їхня робота зазнала суттєвих змін завдяки впровадженню напівпровідникових технологій, використанню залізобетонних шпал і підвищенню частоти сигнального струму [1].

Рейкові кола становлять фундаментальну основу для функціонування різноманітних систем залізничної автоматизації та телемеханіки, таких як автоблокування, сигналізація для локомотивів, централізоване керування стрілками й сигналами, диспетчерський нагляд за рухом потягів, автоматизовані переїзні системи та багато інших механізмів. На сьогодні розроблено понад 30 різновидів рейкових кіл, які включають близько 800 модифікацій. Незважаючи на численні спроби знайти більш сучасні альтернативи, замінити рейкові кола поки що не вдалося повною мірою. Нові розробки або застосовуються лише частково, або перебувають на етапі тестування та вдосконалення. Виявлення несправностей у рейкових колах (РК) поки що не автоматизовано і проводиться за допомогою різноманітних приладів для вимірювання.

Часто електромеханікам систем доводиться виїжджати безпосередньо до місця поломки, щоб з'ясувати її природу, що значно подовжує процес усунення проблем. Одним із способів підвищення надійності обладнання, яке гарантує безпеку руху потягів, є використання технологій для постійного моніторингу його стану. Системи діагностики сприяють зниженню частоти збоїв у пристроях СЦБ завдяки передбаченню потенційних проблем, а також пришвидшують пошук несправного компонента на залізничних ділянках [1].

Висновки

Проведене дослідження присвячене аналізу та вдосконаленню роботи рейкових кіл, які є важливою частиною залізничного транспорту, адже вони забезпечують безпеку руху поїздів і стабільність систем автоматичного керування. У першому розділі було розглянуто основи роботи рейкових кіл: їхні принципи, функції та використання в різних системах автоблокування. Ми вивчили різні типи рейкових кіл, їхні особливості на станціях і визначили, що сучасні технології дозволяють ефективніше контролювати їхній стан. Це допомагає виявляти проблеми та підвищувати надійність залізничної інфраструктури.

У другому розділі ми зосередилися на передачі сигналів у рейкових колах і методах підвищення їхньої стійкості до перешкод. Було проаналізовано сучасні способи діагностики, визначено фактори, які впливають на роботу кіл, зокрема гармоніки тягового струму та імпульсні навантаження. Особливу увагу приділили тональним рейковим колам, які виявилися більш надійними. Запропоновані методи покращення їхньої роботи дозволяють зменшити збої та забезпечити стабільність сигналів навіть у складних умовах.

Третій розділ присвячений розробці автоматизованої підсистеми для контролю стану рейкових кіл. Ми детально розглянули роботу фазочутливих і тональних кіл, обґрунтували необхідність створення такої системи. Вона спрощує діагностику, економить час і підвищує точність виявлення несправностей. Це важливий крок до автоматизації залізничних процесів.

Четвертий розділ показав, що впровадження розроблених систем значно покращує ефективність контролю рейкових кіл. Вони зменшують кількість помилок, економлять ресурси та підвищують безпеку руху.

Загалом, дослідження довело, що сучасні технології та автоматизація здатні зробити залізничний транспорт надійнішим і безпечнішим. Розроблені рішення відкривають нові можливості для вдосконалення роботи рейкових кіл, що сприятиме розвитку транспортної системи та забезпечить комфорт і безпеку пасажирів у майбутньому.

Список використаної літератури

1 Ковальчук В. В. Системи залізничної автоматики та телемеханіки [Текст]: навч. посіб. / В. В. Ковальчук. – Київ: НТУ, 2022. – 320с.

2 Укрзалізниця. Методичні рекомендації з підготовки фахівців з автоматики та телемеханіки на залізничному транспорті [Текст] / АТ «Укрзалізниця». – Київ: Укрзалізниця, 2022. – 150с.

3 Петренко О. М. Інноваційні методи діагностики тональних рейкових кіл [Електронний ресурс] / О. М. Петренко // Залізничний транспорт України. – 2023. – №2. – 45–52с.

4 Шевченко І. О. Електричні системи залізничної автоматики: навчальний посібник [Текст] / І. О. Шевченко. – Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 280 – 290с.

5 Бойник А. Б. Станційні системи автоматики та телемеханіки: навчальний посібник [Текст] / А. Б. Бойник, В. П. Січкар. – Дніпро: Дніпровський національний університет залізничного транспорту, – 2021. – 245 – 260с.

6 Гаврилюк В. І. Обладнання систем залізничної автоматики та телемеханіки: навчальний посібник [Текст] / В. І. Гаврилюк, О. П. Дуб. – Львів: Львівська політехніка, 2023. – 412 с.

7 Кравець О. В., Сидоренко І. М. Дослідження причин несправностей обладнання залізничної автоматики [Текст] / О. В. Кравець, І. М. Сидоренко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – Харків: УкрДУЗТ, 2023. – Вип. 1(98). – С. 22–28.

8 Січкар В. П., Дуб О. П. Методи діагностики та аналіз несправностей рейкових кіл [Текст] / В. П. Січкар, О. П. Дуб // Вісник Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпро: ДНУЗТ, 2023. – No 48. – С. 185–192.

9 Білоус О. В. Забезпечення надійності систем залізничної автоматики та телемеханіки [Текст] / О. В. Білоус // Автоматика, зв’язок, інформатика. – Київ: Укрзалізниця, 2023. – No 3. – С. 12–18.

10 Козак Ю. О. Електромагнітна сумісність у системах залізничного транспорту: навчальний посібник [Текст] / Ю. О. Козак. – Київ: НТУ, 2022. – 512 с.

11 Степаненко О. М., Кравчук П. В. Дослідження електромагнітної сумісності рухомого складу з системами сигналізації та зв'язку [Текст] / О. М. Степаненко, П. В. Кравчук // Вісник Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпро: ДНУЗТ, 2023. – No 49. – С. 15 – 23.

12 Литвиненко С. М. Підвищення надійності рейкових кіл через оптимізацію електромагнітної сумісності з системами тягового електропостачання [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту / С. М. Литвиненко. – Дніпро: ДНУЗТ, 2023. – 28 с.

13 Павлюк Р. С. Технології захисту тональних рейкових кіл від імпульсних електромагнітних перешкод [Текст] / Р. С. Павлюк // Вісник Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпро: ДНУЗТ, 2023. – No 50. – С. 175–182.

14 Коваль С. П. Сучасні приймачі сигналів для тональних рейкових кіл [Текст] / С. П. Коваль // Вісник Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпро: ДНУЗТ, 2023. – No 49. – С. 200–206.

15 Мельник О. В. Рейкові кола залізничного транспорту: довідник [Текст] / О. В. Мельник, І. П. Сенько. – Київ: Укрзалізниця, 2022. – 520 с.

16 Савчук В. М., Гриценко О. П. Тональні рейкові кола в системах залізничної автоматики: проектування, налаштування, технічне обслуговування та підвищення надійності [Текст] / В. М. Савчук, О. П. Гриценко. – Київ: Видавництво «Транспорт України», 2023. – 340 с.

17 Ковальчук О. С. Математичне моделювання рейкових кіл із розподіленими параметрами колій: навчальний посібник [Текст] / О. С. Ковальчук. – Дніпро: Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна, 2022. – 140 с.

18 Петренко В. І., Соловей О. М. Сучасні системи автоматики та телемеханіки на залізничному транспорті: навчальний посібник [Текст] / В. І. Петренко, О. М. Соловей, Л. П. Коваль. – Харків: УкрДУЗТ, 2023. – 460 с.

19 Мельничук І. В. Аналіз впливу імпульсних перешкод на функціонування тональних рейкових кіл [Текст] / І. В. Мельничук // Вісник Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – Дніпро: ДНУЗТ, 2023. – No 50. – С. 150–156.

20 Кравець Л. О. Дослідження впливу електромагнітних перешкод на приймальні пристрої тональних рейкових кіл [Текст] / Л. О. Кравець // Інформаційно – керуючі системи на залізничному транспорті: науково – технічний журнал. – Харків: УкрДУЗТ, 2023. – №4 (124). – С. 30–38.

21 Сергієнко О. В. Цифрові системи обробки сигналів локомотивної сигналізації з підвищеною стійкістю до перешкод [Текст]: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту / О. В. Сергієнко. – Харків: УкрДУЗТ, 2023. – 26 с.

22 Профатилов В. І. Системи діагностики та контролю фазочутливих рейкових кіл. Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті. – 2023. – №17. – С. 6 – 30.

23 Гнатів З. М. Цифрові та аналогові інтегральні мікросхеми: довідник [Текст] / З. М. Гнатів, І. Р. Підлісецький. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2023. – 512 с.

24 Ковальчук І. В. Програмно – апаратний комплекс для автоматизованої діагностики залізничних систем [Текст] / І. В. Ковальчук, О. М. Литвин. – Дніпро: Дніпровський національний університет залізничного транспорту ім. ак. В. Лазаряна, 2023. – 320 – 340с.

25 Семенюк Р. О. Довідник технічних характеристик сучасних мікросхем [Електронний ресурс] / Р. О. Семенюк. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – Режим доступу: https://ela.kpi.ua/handle/123456789/54321.

26 Левицький А. В. Технічні параметри та застосування сучасних мікроелектронних компонентів [Електронний ресурс] / А. В. Левицький. – Харків: ХНУРЕ, 2023. – Режим доступу: https://openarchive.nure.ua/handle/123456789/24567.

27 Texas Instruments. ADS7816, ADM1485: 12-bit sampling analog-to-digital converter [Електронний ресурс]. - Data Sheet. - URL: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ads7816.pdf (Дата звернення 21.05.2025).