

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ СТРУМОЗНІМАННЯ
ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО
РЕГУЛЮВАННЯ НАТИСКАННЯ СТРУМОПРИЙМАЧА
ЕЛЕКТРИЧНОГО РУХОМОГО СКЛАДУ

Пояснювальна записка і розрахунки
до кваліфікаційної роботи магістра

КРМ.273.14.09.26.01 ПЗ

Розробив: здобувач вищої освіти
групи 214-ЕЕ-Д24
спеціальності 273 «Залізничний транспорт»
освітньої програми «Електровози та
електропоїзди»
(роботу виконано самостійно, відповідно
до принципів академічної доброчесності)

_____ Сергій ОГУРЦОВ
(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент, доцент кафедри
Володимир НЕРУБАЦЬКИЙ

Рецензент: к.т.н., доцент, доцент кафедри
Катерина ІВАКІНА

Харків – 2026

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет: механіко-енергетичний

Кафедра: електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Спеціальність: 273 «Залізничний транспорт»

Освітня програма: «Електровози та електропоїзди»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук

_____ Михайло БАБАЄВ
(підпис)

«___» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ Огурцову Сергію Сергійовичу

1 Тема «Підвищення якості струмознімання за рахунок застосування системи автоматичного регулювання натискання струмоприймача електричного рухомого складу»,

керівник Нерубацький Володимир Павлович, к.т.н., доцент, доцент кафедри, затверджені розпорядженням по механіко-енергетичному факультету від 24 лютого 2025 року № 14.

2 Строк подання здобувачем закінченої роботи: 10 січня 2026 року.

3 Вихідні дані: струмоприймач типу Т-5М1 (П-5) з такими технічними параметрами: номінальна напруга 3000 В, конструктивна швидкість руху 130 км/год, вага 269 кг.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки

1) Огляд конструктивних елементів струмоприймачів електричного рухомого складу.

2) Визначення параметрів і характеристик системи автоматичного регулювання натискання струмоприймача при його взаємодії з контактною підвіскою.

3) Особливості запропонованих елементів системи автоматичного регулювання натискання струмоприймача.

4) Економічний розділ.

5 Перелік ілюстративного матеріалу

1) Титульний аркуш презентації – один слайд.

2) Загальна характеристика кваліфікаційної роботи – один слайд.

3) Огляд конструктивних елементів струмоприймачів електричного рухомого складу – один слайд.

4) Визначення принципу регулювання натискання струмоприймача – один слайд.

5) Опис та розрахунок системи автоматичного регулювання натискання струмоприймача – один слайд.

6) Визначення параметрів системи автоматичного регулювання натискання струмоприймача – два слайди.

7) Синтез системи автоматичного регулювання натискання струмоприймача – один слайд.

8) Особливості запропонованих елементів системи автоматичного регулювання натискання струмоприймача – один слайд.

9) Розрахунок економічної доцільності впровадження технічного рішення – один слайд.

10) Висновки до кваліфікаційної роботи – один слайд.

6 Консультанти окремих розділів

Найменування розділу	Ім'я, прізвище, науковий ступінь та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічний розділ	Юлія УТКІНА, канд. екон. наук, доцент		

7 Дата видачі завдання: 24 лютого 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1 Отримання завдання на кваліфікаційну роботу, формування змісту та етапів виконання роботи.	24.02.–09.03.25	
2 Збирання та обробка інформації за темою роботи.	10.03.–31.03.25	
3 Виконання кваліфікаційної роботи за розділами.	01.04.–31.10.25	
4 Перевірка виконаних завдань у керівника кваліфікаційної роботи, виправлення помилок.	01.11.–16.11.25	
5 Оформлення ілюстративного матеріалу до кваліфікаційної роботи.	17.11.–30.11.26	
6 Нормоконтроль та усунення зауважень щодо оформлення кваліфікаційної роботи.	01.12.–14.12.25	
7 Перевірка випускної кваліфікаційної роботи на наявність текстових збігів.	15.12.–21.12.25	
8 Рецензування випускної кваліфікаційної роботи.	22.12.–31.12.25	
9 Підготовка до захисту кваліфікаційної роботи.	01.01.–10.01.26	

Здобувач вищої освіти _____ Сергій ОГУРЦОВ
(підпис)

Керівник КР _____ Володимир НЕРУБАЦЬКИЙ
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 93 аркушів пояснювальної записки формату А4, у тому числі 42 рисунків, 8 таблиць, 26 літературних джерел, 1 додаток.

Ключові слова: електричний рухомий склад, струмоприймач, гумокордний елемент, система автоматичного регулювання, датчик, контактне натискання.

Об'єктом дослідження є процеси взаємодії струмоприймача, оснащеного пневматичними гумокордними елементами, із контактною підвіскою з урахуванням нелінійностей навантажувальних характеристик пневматичних елементів струмоприймача.

Метою дослідження є підвищення якості струмознімання за рахунок покращення динамічних характеристик струмоприймачів із використанням системи автоматичного регулювання натискання.

У кваліфікаційній роботі розглянуто недоліки в існуючих конструкціях струмоприймачів електричного рухомого складу та запропоновано варіанти усунення виявлених недоліків, внесені пропозиції щодо модернізації конструкції струмоприймачів з метою підвищення якості струмознімання за рахунок застосування системи автоматичного регулювання натискання.

ABSTRACT

This qualification paper includes 93 sheets of A4 explanatory note, including 42 pictures, 8 tables, 26 literary sources, 1 supplement.

Keywords: electric rolling stock, current collector, rubber cord element, automatic control system, sensor, contact pressing.

The object of the study is the interaction processes of a current collector equipped with pneumatic rubber cord elements with a contact suspension, taking into account the nonlinearities of the loading characteristics of the pneumatic elements of the current collector.

The purpose of the study is to improve the quality of current collection by improving the dynamic characteristics of current collectors using an automatic pressure control system.

The qualification work considered the shortcomings in the existing designs of pantographs of electric rolling stock and proposed options for eliminating the identified shortcomings, and made proposals for modernizing the design of pantographs in order to improve the quality of current collection through the use of an automatic pressure control system.

Зміст

Вступ	7
1 Огляд конструктивних елементів струмоприймачів електричного рухомого складу	9
1.1 Особливості систем автоматичного регулювання струмоприймачів	10
1.2 Огляд відомих датчиків вимірювання контактного натискання	14
1.3 Висновки до першого розділу	14
2 Визначення параметрів і характеристик системи автоматичного регулювання натискання струмоприймача при його взаємодії з контактною підвіскою	15
2.1 Визначення принципу регулювання натискання струмоприймача	16
2.2 Опис системи автоматичного регулювання натискання струмоприймача	21
2.3 Визначення вхідного сигналу системи автоматичного регулювання натискання струмоприймача	23
2.4 Розрахунок системи автоматичного регулювання натискання струмоприймача і дослідження її параметрів	25
2.5 Висновки до другого розділу	54
3 Особливості запропонованих елементів системи автоматичного регулювання натискання струмоприймача	55
3.1 Полоз струмоприймача з пневматичними пружними елементами	55
3.2 Блок керування системи автоматичного регулювання натискання струмоприймача	58
3.3 Пневматична система струмоприймача, оснащеного системою автоматичного регулювання натискання	62
3.4 Висновки до третього розділу	63

					<i>КРМ.273.14.09.26.01 ПЗ</i>			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив	Огурцов				<i>Підвищення якості струмознімання за рахунок застосування системи автоматичного регулювання натискання струмоприймача електричного рухомого складу</i>	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів	Нерубацький						5	93
Рецензент	Івакіна					УкрДУЗТ		
Н. контр.	Нерубацький							
Затвердив	Бабасєв							

4 Економічний розділ	64
4.1 Стисла характеристика запропонованого технічного рішення	64
4.2 Методика розрахунку економічного ефекту	64
4.3 Визначення одноразових витрат на встановлення гумокордного елемента	67
4.4 Визначення вартісної оцінки результатів	71
4.5 Визначення показників економічного ефекту	74
4.6 Висновки до четвертого розділу	76
Висновки до кваліфікаційної роботи	77
Список використаних джерел	78
Додаток А. Ілюстративний матеріал до кваліфікаційної роботи	82

					<i>KPM.273.14.09.26.01 ПЗ</i>	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вступ

Залізничний транспорт є головним та організуючим елементом транспортної системи України. Найближчим часом залізничні перевезення не матимуть конкурентів у плані економічної ефективності та екологічної надійності під час транспортування значних обсягів масових вантажів на середні та дальні відстані, а також при організації пасажирських перевезень.

У процесі технічного оновлення залізничного транспорту провідне значення має електрифікація, яка сприяє підвищенню швидкості руху поїздів та зменшенню тривалості доставки вантажів і пасажирів.

Зі зростанням швидкостей руху питання забезпечення надійного та стабільного струмознімання набуває особливої актуальності у світовій практиці. Згідно з програмою розвитку ПАТ «Українська залізниця», підвищення швидкостей передбачене для всіх типів електричного рухомого складу в усіх діапазонах, що зумовлює потребу у подальшій модернізації, вдосконаленні та створенні нових елементів, зокрема струмоприймачів.

Одним із ключових напрямів технічного вдосконалення струмоприймачів електричного рухомого складу є застосування підйомно-опускних механізмів із пневматичними гумокордними елементами, інтегрованими в систему автоматичного регулювання зусилля натискання на контактний провід. Конструкція струмоприймачів має відповідати вимогам, що визначаються швидкістю руху на конкретній ділянці, та забезпечувати дотримання допустимих експлуатаційних параметрів [1]. При встановленні середнього значення сили натискання важливо, з одного боку, гарантувати стабільне струмознімання, а з іншого – мінімізувати знос контактного проводу і вставок струмоприймача в усьому діапазоні швидкостей руху.

Проблему зміни статичної сили натискання пропонується розв'язувати за рахунок використання активно керованих струмоприймачів із приводами регулювання. Найбільш перспективним вважається метод авторегулювання

натискання в зоні контакту, що реалізується за допомогою системи стеження зі зворотним зв'язком. Його особливість полягає в тому, що величина статичного натискання струмоприймача змінюється залежно від сигналу датчика, який фіксує миттєве значення натискання у точці контакту [2].

Кваліфікаційна робота спрямована на вдосконалення струмоприймачів електричного рухомого складу за рахунок використання систем автоматичного регулювання натискання, які забезпечують зменшення зносу контактних елементів завдяки підтриманню оптимального притискання до контактного проводу.

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є підвищення якості струмознімання за рахунок покращення динамічних характеристик струмоприймачів із використанням системи автоматичного регулювання натискання.

Об'єктом дослідження є процеси взаємодії струмоприймача, оснащеного пневматичними гумокордними елементами, із контактною підвіскою з урахуванням нелінійностей навантажувальних характеристик пневматичних елементів струмоприймача.

Предметом дослідження є струмоприймач електричного рухомого складу, оснащений пневматичними гумокордними елементами.

Висновки до кваліфікаційної роботи

Проведені дослідження дають підставу зробити такі висновки.

1. Проведено аналіз існуючих систем автоматичного регулювання натискання струмоприймачів і систем вимірювання контактного натискання, який дозволив виявити основні недоліки існуючих пристроїв, на підставі чого запропоновано систему автоматичного регулювання натискання.

2. Розглянуто принцип регулювання натискання струмоприймача та структурні схеми системи автоматичного регулювання натискання для різних швидкостей руху, в результаті синтезу якої запропоновано рекомендації щодо її технічного вдосконалення для зменшення часу регулювання з 2,07 до 1,19 с, а перерегулювання – на 20,4 %.

3. Запропоновано систему автоматичного регулювання натискання струмоприймача на основі мікропроцесорного блоку керування, що забезпечує раціональне натискання при швидкостях руху до 200 км/год.

4. Встановлено, що економічний ефект від використання модернізованих струмоприймачів становить 1,485 млн. грн на 100 струмоприймачів за 10 років, термін окупності інвестицій становить два роки.

Список використаних джерел

1. Устенко О. В., Вовк Е. М., Ляшенко С. В. Дослідження аеродинамічних властивостей струмоприймача при високошвидкісному русі. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2017. Вип. 173. С. 131–136.
2. Божко В. В., Гордієнко Д. О. Особливості прискореного руху на електрифікованих ділянках залізниць України. *Електрифікація транспорту*. 2012. № 4. С. 75–79.
3. Панченко С. В., Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Нерубацький В. П. Конструкція та динаміка електричного рухомого складу. Ч. 1: підручник. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 280 с.
4. Панченко С. В., Бабаєв М. М., Блиндюк В. С., Нерубацький В. П. Конструкція та динаміка електричного рухомого складу. Ч. 2: підручник. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 204 с.
5. Огурцов С. Дослідження підвищення якості струмознімання на залізничному транспорті. Тези доповідей 85-ї студентської науково-технічної конференції (Харків, УкрДУЗТ, 10–11 грудня 2024 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2025.
6. Щербак Я. В., Івакіна К. Я. Основи теорії автоматичного регулювання електромеханотронних систем : навч. посібник. Харків: ХНУМГ імені О. М. Бекетова, 2019. 222 с.
7. O'Connor D. Modeling and simulation of pantograph-catenary systems / Massachusetts Institute of technology. 1984. 149 p.
8. Vesely G. C. Modelling and experimentation of pantograph dynamic / Massachusetts Institute of technology. 1983. 111 p.
9. Нерубацький В. П., Огурцов С. С., Шаповалова Д. С. Сучасні аспекти розвитку і впровадження інтелектуальних енергетичних систем Smart Grid. *Збірник наукових праць X міжнародної науково-технічної конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'2024»*

(Київ, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 26–27 листопада 2024 р.). Київ: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2024. С. 218–219.

10. Нерубацький В. П., Огурцов С. С., Шаповалова Д. С. Впровадження та перспективи розвитку інноваційних технологій в енергетичній галузі. Збірник наукових праць X міжнародної науково-технічної конференції «*Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'2024*» (Київ, НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 26–27 листопада 2024 р.). Київ: НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського», 2024. С. 222–223.

11. Nerubatskyi V., Hordiienko D., Ohurtsov S. Development of intelligent transport systems with high reliability and efficiency of operation on railways. Збірник тез доповідей міжнародної конференції «*Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії '2025*» (Харків, ХНАДУ, 11–12 березня 2025 р.). Харків: ФОП Бровін О.В., 2025. С. 16–18.

12. Nerubatskyi V., Hordiienko D., Ohurtsov S. Application of modern methods of digital signal processing in controlling power active filters. Збірник тез доповідей міжнародної конференції «*Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії '2025*» (Харків, ХНАДУ, 11–12 березня 2025 р.). Харків: ФОП Бровін О.В., 2025. С. 48–50.

13. Нерубацький В. П., Шаповалова Д. С., Огурцов С. С. Відновлювані джерела енергії як ключ до подолання енергетичної кризи. Збірник матеріалів X міжнародного молодіжного конгресу «*Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*» (Львів, НУЛП, 27–28 березня 2025 р.). Київ: Яроченко Я. В., 2025. С. 196.

14. Нерубацький В. П., Шаповалова Д. С., Огурцов С. С. Смарт-технології для моніторингу та управління природними ресурсами. Збірник матеріалів X міжнародного молодіжного конгресу «*Сталий розвиток: Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*» (Львів, НУЛП, 27–28 березня 2025 р.). Київ: Яроченко Я. В., 2025. С. 197.

15. Нерубацький В. П., Фалєєв Ф. Р., Огурцов С. С. Застосування можливостей штучного інтелекту для розпізнавання об'єктів під час руху

залізничного рухомого складу. Тези дванадцятої міжнародної науково-технічної конференції *«Інформатика, управління та штучний інтелект (ІУШІ-2025)»* (Харків – Краматорськ – Тернопіль, НТУ «ХПІ» – ДДМА, 14–16 травня 2025 р.). Харків: НТУ «ХПІ», 2025. С. 77.

16. Нерубацький В. П., Шаповалова Д. С., Огурцов С. С. Розвиток концепції інтернету речей у сучасних містах. Тези дванадцятої міжнародної науково-технічної конференції *«Інформатика, управління та штучний інтелект (ІУШІ-2025)»* (Харків – Краматорськ – Тернопіль, НТУ «ХПІ» – ДДМА, 14–16 травня 2025 р.). Харків: НТУ «ХПІ», 2025. С. 78.

17. Нерубацький В. П., Фалєєв Ф. Р., Огурцов С. С. Інноваційні технології в галузі вітроенергетики. Матеріали ІХ всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених *«Актуальні проблеми сучасної енергетики»* (Херсон, ХНТУ, 22 травня 2025 р.). Херсон: Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2025. С. 125–127.

18. Нерубацький В. П., Фалєєв Ф. Р., Огурцов С. С. Засоби енергозбереження при експлуатації високошвидкісного залізничного транспорту. Матеріали ІХ всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції студентів, аспірантів і молодих вчених *«Актуальні проблеми сучасної енергетики»* (Херсон, ХНТУ, 22 травня 2025 р.). Херсон: Книжкове видавництво ФОП Вишемирський В. С., 2025. С. 165–167.

19. Nerubatskyi V. P., Faliiev F. R., Ohurtsov S. S. Considerations of the human factor in the operation of the railway transport. Матеріали XVII міжнародної науково-практичної конференції *«Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті (MINTT – 2025)»* (Одеса, ХДМА, 28–30 травня 2025 р.). Одеса: ХДМА, 2025. С. 68–69.

20. Огурцов С. Дослідження адаптивних методів керування силовими активними фільтрами за рахунок використання сучасних методів цифрової обробки сигналів. Тези доповідей 84-ї студентської науково-технічної конференції (Харків, УкрДУЗТ, 11–12 грудня 2024 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2024. С. 120.

21. Огурцов С. Аналіз заходів щодо зниження проникнення перешкод в системах керування пристроями електрорухомого складу. Тези доповідей 84-ї студентської науково-технічної конференції (Харків, УкрДУЗТ, 11–12 грудня 2024 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2024. С. 126–127.

22. Басов Г. Г., Яцько С. І. Розвиток електричного моторвагонного рухомого складу. Ч. 2: навч. посіб. Харків: Апекс+, 2005. 248 с.

23. Гетьман Г. К. Теорія електричної тяги : підручник: у 2 т. Дніпро: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2014. Т. 1. 578 с.

24. Гетьман Г. К. Теорія електричної тяги : підручник: у 2 т. Дніпро: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2015. Т. 2. 490 с.

25. Правила технічної експлуатації залізниць України. Київ, 2002. 132 с.

26. Калабухін Ю. Є., Шраменко О. В. Визначення економічного ефекту заходів науково-технічного прогресу на залізничному транспорті : методичні вказівки до виконання економічної частини дипломного проекту для студентів спеціальності «Електричний транспорт» ч. 2. Харків: УкрДУЗТ, 2011 30 с.