

Український державний університет залізничного транспорту  
Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ З ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ  
ГАЛЬМУВАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ

Пояснювальна записка і розрахунки  
до магістерської кваліфікаційної роботи

МКРМЕ 420.10.01 ПЗ

Розробив студент групи 211-ЛЛГ-Д23  
спеціальності 273 Залізничний транспорт  
Освітня програма: «Локомотиви та  
локомотивне господарство»  
(роботу виконано самостійно, відповідно  
до принципів академічної доброчесності)

\_\_\_\_\_ Денис МИРОНЕНКО  
(підпис)

Керівник:

д.т.н. проф. кафедри ЕРРС,

Юрій ДАЦУН

Рецензент:

доцент кафедри ІВ та ЯП, к. т. н

Андрій РИБІН

# Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр

Спеціальність: 273. Залізничний транспорт

Освітня програма Локомотиви та локомотивне господарство

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,

професор, д-р техн. наук

\_\_\_\_\_ В.Г. Пузир

(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Мироненко Денису Вадимовичу

1. Тема «Розроблення пропозицій з вдосконалення системи гальмування пасажирських електровозів»  
керівник Дацун Юрій Миколайович, д.т.н. професор  
затверджено розпорядженням по механіко-енергетичному факультету від «30» вересня 2024 року № 38.
2. Строк подання студентом закінченої роботи «25» грудня 2024 року.
3. Вихідні дані Методичні вказівки по збору статистичної інформації в локомотивних депо(№471)
4. 1 Аналіз існуючих систем захисту від юза та буксування тягового рухомого складу. 1.1 Цілі та завдання створення систем захисту від юза і буксування. 1.2 Розвиток протиюзових та протибуксовочних систем рухомого складу. 1.3 Огляд існуючих систем захисту від юза та буксування і особливості їхньої роботи. 1.4 Спосіб виявлення буксування та юза коліс транспортного засобу з електричною передачею. 1.5 Необхідність удосконалення алгоритмів роботи протиюзових та протибуксовочних систем. 1.6 Завдання, які необхідно вирішити для створення системи захисту від юза при пневматичному гальмуванні. 2 Теоретичні основи побудови системи захисту від юза. 2.1 Опис процесів у місці контакту «колесо – рейка» для створення систем захисту від юза і буксування. 2.2 Математична модель електровоза ЧС7 для аналізу роботи системи захисту від юза. 2.3 Моделювання системи пневматичного гальмування. 3 Пропозиції з вдосконалення системи гальмування пасажирських електровозів. 3.1 Новий метод виявлення юза. 3.2 Основні вимоги до алгоритму роботи системи протиюзового захисту. 3.3 Аналіз ефективності алгоритму захисту від юзу. 3.4 Реалізація блоку захисту від юзу та буксування. 4 Розрахунок економічного ефекту від вдосконалення системи гальмування пасажирських електровозів.

5. Перелік графічного матеріалу 1 Загальна характеристика магістерської роботи. 2 Задачі та склад магістерської роботи. 3 Аналіз існуючих типів протиюзових та протибуксовочних систем. 4 Аналіз пошкоджень колісних пар електровозів. 5 Модель визначення напружено-деформованого стану колеса в контакті «колесо-рейка» методом кінцевих елементів. 6 Моделювання механічної частини електровоза ЧС7. 7 Реалізація блоку захисту від юзу та буксування . 8 Алгоритм роботи модернізованої системи захисту від юзу та буксування. 9 Висновки

#### 6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування			

7 Дата видачі завдання «10» жовтня 2024 року.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу. Формування змісту та етапів роботи.	2.10–15.10	
2	Збирання та обробка статистичної інформації	16.10–25.10	
3	Виконання роботи по розділам дипломного проекту. Аналіз одержаних даних, їх розрахунок та обробка	26.10–3.11	
4	Перевірка виконаних завдань у керівника дипломного проекту, виправлення помилок, виконання робіт по розділам консультантів	4.11–26.11	
5	Робота над оформленням графічної частини, проведення розрахунків та створення на їх підставі графічних матеріалів	27.11–6.12	
6	Перевірка виконаних робіт у керівника проекту, виправлення помилок, чистове виконання розділів дипломного проекту	7.12–19.12	
7	Нормоконтроль, виправлення помилок та підготовка до захисту	20.12–25.12	

Студент \_\_\_\_\_ Мироненко Д.В.

(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Дацун Ю.М.

(підпис)

## АНОТАЦІЯ

Дана магістерська кваліфікаційна робота включає в себе 9 слайдів презентації, 93 аркуша пояснювальної записки формату А4, що включає 28 рисунків, 6 таблиць, 26 літературних джерел.

Ключові слова: РУХОМИЙ СКЛАД, СИСТЕМИ ЗАХИСТУ, МАГІСТРАЛЬНИЙ ПАСАЖИРСЬКИЙ ЕЛЕКТРОВАЗ, ЮЗ, БУКСУВАННЯ.

Об'єкт дослідження – магістральний пасажирський електровоз серії ЧС7.

Мета роботи полягає у розробці пропозицій для удосконалення системи захисту від юза для магістрального пасажирського електровоза серії ЧС7, яка забезпечить підвищення рівня безпеки руху, зменшення експлуатаційних витрат та покращення ефективності гальмівних процесів.

В магістерській роботі проведено аналіз існуючі системи захисту від юза та буксування. Сформульовано основні вимоги до системи контролю ковзання колісних пар рухомого складу. Запропоновано удосконалення системи шляхом впровадження алгоритмів цифрової обробки сигналів, зокрема фільтрації коливань кутової швидкості колісних пар. Розроблено методику інтеграції таких алгоритмів із системою захисту від юза та буксування. Крім того, запропоновано підвищити точність вимірювальних датчиків для забезпечення стабільної роботи системи.

## ANNOTATION

This master's qualification work includes 12 presentation slides and 93 pages of explanatory notes in A4 format, featuring 28 figures, 6 tables, and 26 references.

Keywords: ROLLING STOCK, PROTECTION SYSTEMS, MAINLINE PASSENGER ELECTRIC LOCOMOTIVE, WHEEL SLIDE, WHEEL SLIP.

The object of the study is the mainline passenger electric locomotive of the ChS7 series.

The aim of the work is to develop proposals for improving the anti-slide protection system for the mainline passenger electric locomotive of the ChS7 series, ensuring enhanced safety, reduced operational costs, and improved braking process efficiency.

The master's thesis analyzes existing anti-slide and anti-slip protection systems. The main requirements for the wheelset slip control system of rolling stock are formulated. An improvement is proposed through the implementation of digital signal processing algorithms, including filtering wheelset angular velocity fluctuations. A methodology for integrating these algorithms with the anti-slide and anti-slip protection systems is developed. Additionally, it is proposed to enhance the accuracy of measurement sensors to ensure stable system operation.

## Зміст

Вступ	6
1. Аналіз існуючих систем захисту від юза та буксування тягового рухомого складу	8
1.1 Цілі та завдання створення систем захисту від юза і буксування	8
1.2 Розвиток протиюзових та протибуксовочних систем рухомого складу	10
1.3 Огляд існуючих систем захисту від юза та буксування і особливості їхньої роботи	12
1.4 Спосіб виявлення буксування та юза коліс транспортного засобу з електричною передачею	23
1.5 Необхідність удосконалення алгоритмів роботи протиюзових та протибуксовочних систем	24
1.6 Завдання, які необхідно вирішити для створення системи захисту від юза при пневматичному гальмуванні	33
2 Теоретичні основи побудови системи захисту від юза	36
2.1 Опис процесів у місці контакту «колесо – рейка» для створення систем захисту від юза і буксування	36
2.2 Математична модель електровоза ЧС7 для аналізу роботи системи захисту від юза	48
2.3 Моделювання системи пневматичного гальмування	55
3 Пропозиції з вдосконалення системи гальмування пасажирських електровозів	60
3.1 Новий метод виявлення юза	60

					<i>МКРМЕ 420.10.04 ПЗ</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Мироненко</i>			Розроблення пропозицій з вдосконалення системи гальмування пасажирських електровозів	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Дацун</i>					4	92
<i>Реценз.</i>		<i>Рибін</i>				УкрДУЗТ		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Анацький</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Пузир</i>						

3.2 Основні вимоги до алгоритму роботи системи протиюзового захисту	64
3.3 Аналіз ефективності алгоритму захисту від юзу	70
3.4 Реалізація блоку захисту від юзу та буксування	72
4 Розрахунок економічного ефекту від вдосконалення системи гальмування пасажирських електровозів	80
4.1 Загальні положення розрахунку економічного ефекту при впровадженні нової технології	80
4.2 Розрахунок економічного ефекту	82
Висновки	88
Список використаних джерел	90

					<i>МКРМЕ 420.10.05 ПЗ</i>	Арк.
						5
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

## Вступ

Сучасні залізничні перевезення є важливою складовою транспортної системи будь-якої країни, що забезпечує економічну стабільність, мобільність населення та розвиток інфраструктури. Зростання обсягів перевезень пасажирів та підвищення швидкостей руху висуває нові вимоги до безпеки експлуатації локомотивів. Особливо це стосується магістральних пасажирських електровозів, які працюють у складних умовах високої динаміки та змінного навантаження.

Одним із ключових елементів, що визначає безпеку та надійність руху, є система гальмування. Вона не лише забезпечує своєчасне зниження швидкості, але й запобігає таким негативним явищам, як юз (блокування коліс) та буксування. Ці процеси призводять до погіршення контакту «колесо–рейка», збільшення гальмівного шляху та зношування обладнання, що знижує загальний рівень експлуатаційної безпеки.

Існуючі системи протиюзового захисту демонструють певні недоліки, серед яких недостатня чутливість до змін динамічних параметрів, обмежена швидкість реагування та обмеження в адаптації до різних умов експлуатації. У зв'язку з цим розробка нових принципів функціонування таких систем, побудованих на сучасних методах обробки сигналів і математичного моделювання, є актуальною задачею.

У магістерській роботі розглядається розробка удосконаленої системи захисту від юза для магістрального пасажирського електровоза серії ЧС7. Основна увага приділяється створенню нових критеріїв оцінки стану колісних пар, алгоритмів функціонування системи, а також математичного моделювання процесів у зоні контакту «колесо–рейка».

Актуальність дослідження визначається необхідністю підвищення рівня безпеки пасажирських перевезень, зменшення експлуатаційних витрат та впровадження інноваційних технологій у системи гальмування електровозів.



Результати роботи можуть бути використані для розробки сучасних пристроїв протиюзового захисту, що відповідають вимогам ефективності та надійності.

Таким чином, дослідження спрямоване на вирішення важливої науково-практичної задачі, яка має значний потенціал для впровадження у галузі залізничного транспорту.

Предмет дослідження – інформаційні, механічні та пневматичні процеси у екіпажній частині та системі гальмування електровозів серії ЧС7.

Об'єкт дослідження – магістральний пасажирський електровоз серії ЧС7.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі завдання:

1. Розглянути і проаналізувати існуючі системи захисту від юза та буксування.
2. Сформулювати основні вимоги до системи контролю ковзання колісних пар.
3. Розробити пропозиції з вдосконалення системи гальмування пасажирських електровозів.
4. Виконати техніко-економічне обґрунтування впровадження запропонованих заходів

Практичне значення результатів дослідження підтверджено в тезах доповіді Мироненка, представлених на науково-технічній конференції, що відбулася в Харкові 22–23 листопада 2024 року. Тези доповідей. – Харків:УкрДУЗТ, 2024. – 107 с.



## Список використаних джерел

- 1 The current state of knowledge about wheel-rail adhesion: Synthesis report / ORE/UIC. — B44 RP14—1978[S].
- 2 EN-15595-2018. Railway applications—Braking—Wheel slide protection (includes Amendment A1:2011) [Text]. — Publication date 2018-12-12. — CEN/TC 256, 2018.
- 3 Hasegawa I., Kayashima K. Brake Technology for 140 km/h Operation of Narrow-Gauge Lines // RTRI Report. — 1999. — Vol. 13, no. 10. — P. 35–40.
- 4 Survey on Wheel Slip Control Design Strategies, Evaluation and Application to Antilock Braking Systems / F. Pretagostini [et al.] // IEEE Access. — 2020. — Vol. 8. — P. 10951–10970.
- 5 HIL testing of wheel slide protection systems: criteria for continuous updating and validation / L. Pugi [et al.] // Railway Engineering Science. — 2023. — June. — Vol. 31, issue 2. — P. 108–121. — URL: <https://doi.org/10.1007/s40534-022-00298-7>.
- 6 Barna G., M. K. Safety and reliability of microprocessor brake control systems for multiple units (in Polish) // Proceedings of 6th International Conference on Quality, Safety and Ecology in Vehicles - QSEV 2009, Krakow, 15-16 June 2009. — 2009. — P. 9–10.
- 7 Barna G. Diagnosis of Wheel Slide Protection Systems for rail vehicles // 2012 17th International Conference on Methods & Models in Automation & Robotics (MMAR). — 2012. — P. 331–336.
- 8 Boiteux M. Auxiliaires sophistiqués du freinage d'aujourd'hui — les antienrayeurs // Chemins de Fer. — 1999. — Vol. 6, no. 459. — P. 24–35.
- 9 EN-15595-2009. Railway applications—Braking—Wheel slide protection [Text]. — Publication date 2009-06-01. — CEN/TC 256, 2009.

10 Shiomi S., Itano Y. Anti-skid control equipment applied by Fuzzy control // In Proceedings of the 3rd Transportation and Logistics Conference (Translog 1994). — Japan Society of Mechanical Engineers, 1994. — P. 237–240.

11 Polach O. A Fast Wheel-Rail Forces Calculation Computer Code // Vehicle System Dynamics. — 2000. — Jan. — Vol. 33. — P. 728–739.

12 Nakazawa S.-I. Development of a New Wheel Slide Protection System Using a New Detection Algorithm // Quarterly Report of RTRI. — 2011. — Aug. — Vol. 52, no. 3. — P. 136–140.

13 BS EN 15595:2018. Railway applications. Braking. Wheel slide protection [Text]. — Publication date 2023-10-15. — The British Standards Institution, 2018.

14 Mei T. X., Yu J., Wilson D. A mechatronic approach for effective wheel slip control in railway traction // Proceedings of The Institution of Mechanical Engineers Part F-Journal of Rail and Rapid Transit. — May 2009. — Vol. 223. — P. 295–304.

15 Nakazawa S.-i., Hijikata D. Wheel Slide Protection System by the Use of the Tangential Force in the Macro Slip Area // Quarterly Report of RTRI. — 2017. — Vol. 58. — P. 196–203. — URL: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:116778868>.

16 Polach O. Influence of Locomotive Tractive Effort on the Forces Between Wheel and Rail // Vehicle System Dynamics. — 2001. — Jan. — Vol. 35. — P. 7–22.

17 Development of a slip and slide simulator for electric locomotive based on inverter-controlled induction motor / K. Wei, J. Zhao, X. You, T. Q. Zheng // 2009 4th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications. — 2009. — P. 1999–2003.

18 Matsumoto Y., Eguchi N., Kawamura A. Novel re-adhesion control for train traction system of the "Shinkansen" with the estimation of wheel-to-rail adhesive force // IECON'01. 27th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (Cat. No. 37243). Vol. 2. — Nov. 2001. — P. 1207–1212.

19 Barna G., Lewandowski M. Simulation model of wheel slip and slide protection systems for rail vehicles // Technical Transactions. — 2016. — Vol. 2016, Electronical Engineering Issue 1–E (2) 2016. — URL: [https://www.ejournals.eu/Czasopismo-Techniczne/2016/Elektrotechnika-Zeszyt-1-E\(2\)-2016/art/7779/](https://www.ejournals.eu/Czasopismo-Techniczne/2016/Elektrotechnika-Zeszyt-1-E(2)-2016/art/7779/).

20 He J. H. An overview on wheel-rail adhesion utilization of heavy-haul locomotive (in Chinese) // Journal of the China Railway Society. — 2018. — Vol. 40, issue 9. — P. 30–39.

21 Фокін М. Д., Лоскутов А. А., Второв А. К. Протипогонні пристрої рухомого складу. — К.: Транспорт, 1970. — 102 с.

22 Тулупов В. Д. Автоматичне регулювання сил тяги та гальмування електроподвижного складу. — К.: Транспорт, 1978. — 368 с.

23 Пудовіков О. Є., Муров С. А. Моделювання режиму регулювального гальмування довгоскладового поїзда // Світ транспорту. — 2015. — Т. 13, № 2. — С. 28—33.

24 Хамнаєва А. А. Моделювання витрати стисненого повітря пневматичних систем на прикладі роботи гальм поїзда в режимі зарядки та відпуску // Сучасні технології. Системний аналіз. Моделювання. — 2022. — 3(75). — С. 130—138. — URL: <https://ojs.irgups.ru/index.php/stsam/article/view/912/686>.

25 Язиков В. М. Чисельне моделювання динаміки поїзда в режимі реального часу // Вісник державного технічного університету. — 2015. — 2(46). — С. 123—126.

26 Кудрявцев М. М. Дослідження динаміки необресорених мас вагонів. Зб. наук. пр. ДІІТ. Вип. 287. — К. : Транспорт, 1965. — 168 с.