

Український державний університет залізничного транспорту

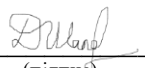
Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ХОДОВОЇ
ЧАСТИНИ МОТОРНОГО ВАГОНА ЕЛЕКТРОПОЇЗДА ЗА РАХУНОК
МОДЕРНІЗАЦІЇ

Пояснювальна записка і розрахунки
до кваліфікаційної роботи бакалавра

КРБ.141.26.05.25.01 ПЗ

Розробила: здобувачка групи 104-ЕТ-Д21
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
освітньої програми «Електричний
транспорт»
(роботу виконано самостійно, відповідно
до принципів академічної доброчесності)

 Дар'я ШАПОВАЛОВА
(підпис)

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

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

Харків – 2025 р.

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 45 аркушів пояснювальної записки формату А4, у тому числі 10 рисунків, 1 таблицю, 15 літературних джерел, 1 додаток (8 слайдів презентації).

Ключові слова: ЕЛЕКТРОПОЇЗД ПОСТІЙНОГО СТРУМУ, МОТОРНИЙ ВІЗОК, БУКСОВИЙ ВУЗОЛ, ГІДРОФЕДЕР, РЕСОРНЕ ПІДВІШУВАННЯ, ДЕМПФУВАННЯ КОЛИВАНЬ, МОДЕРНІЗАЦІЯ.

Об'єктом дослідження є процеси взаємодії елементів ресорного підвішування моторного візка з колісно-моторним блоком електропоїзда серії ER2 в умовах експлуатаційних навантажень.

Метою дослідження є підвищення експлуатаційних властивостей моторних вагонів електропоїздів постійного струму ER2 за рахунок введення в перший ступінь підвішування пружно-демпфуючих елементів типу гідрофедер.

У роботі виконано техніко-аналітичне обґрунтування доцільності заміни фрикційних гасників на сучасні пружно-демпфуючі елементи типу гідрофедер. Проведено розрахунок і добір характеристик гідрофедера з урахуванням жорсткості, демпфуючих властивостей та температурної стійкості еластомерних матеріалів. Запропоновано конструктивні зміни буксового вузла, які дають змогу інтегрувати нові елементи без суттєвої перебудови рами візка. Проведено аналіз пошкоджуваності та зношуваності елементів механічної частини моторного візка, що підтверджує доцільність модернізації для підвищення його надійності та ресурсу.

ABSTRACT

This qualification work includes 45 pages of an explanatory note in A4 format, featuring 10 figures, 1 table, 15 literature sources, and 1 appendix (8 presentation slides).

Keywords: DC ELECTRIC TRAIN, MOTOR BOGIE, AXLEBOX ASSEMBLY, HYDROFEDER, SUSPENSION SYSTEM, VIBRATION DAMPING, MODERNIZATION.

The object of the study is the interaction between the suspension components of the motor bogie and the wheelset-traction unit of the ER2 series electric train under operational loading conditions.

The purpose of the study is to enhance the operational performance of DC motor cars of the ER2 series by introducing hydrofeder-type elastic-damping elements into the first stage of suspension.

In the qualification work, a technical and analytical justification was provided for replacing friction dampers with modern hydrofederalers. The selection of hydrofeder parameters was carried out with consideration of stiffness, damping properties, and temperature resistance of elastomeric materials. Proposed design modifications to the axlebox assembly enable integration of the new elements without significant changes to the bogie frame. An analysis of failure rates and wear of mechanical components of the motor bogie confirmed the feasibility of modernization to improve reliability and extend service life.

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет: механіко-енергетичний

Кафедра: електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Спеціальність: 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма: «Електричний транспорт»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук

_____ Михайло БАБАЄВ
(підпис)

«___» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ Шаповаловій Дар'ї Сергіївні

1 Тема «Покращення експлуатаційних властивостей ходової частини моторного вагона електропоїзда за рахунок модернізації»,
керівник Нерубацький Володимир Павлович, к.т.н., доцент,
затверджені розпорядженням по механіко-енергетичному факультету
від 12 травня 2025 року № 26.

2 Строк подання студентом закінченої роботи: 13 червня 2025 року.

3 Вихідні дані: моторний візок електропоїзда EP2 із щелепним буксовим вузлом. Для модернізації застосовується гідрофедер 230303B-1 із жорсткістю 0,75 кН/мм (вертикально) та 2,5 кН/мм (горизонтально), що забезпечує статичний прогин підвіски від 34,5 мм до 48,8 мм залежно від навантаження. Розрахунки виконано з урахуванням коефіцієнта динаміки 0,3 та масових характеристик вагона.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки

1) Сучасний стан та аналіз пошкоджуваності електропоїздів серії EP2.

2) Концепція модернізації ходової частини моторного вагона електропоїзда EP2.

5 Перелік ілюстративного матеріалу

1) Титульний аркуш презентації – один слайд.

2) Загальна характеристика кваліфікаційної роботи – один слайд.

3) Статистика пошкоджень та несправностей ходової частини моторних вагонів електропоїздів серії EP2 – один слайд.

4) Вимоги до модернізації моторних візків – один слайд.

5) Вибір гідрофедера для модернізації буксового вузла електропоїзда EP2 – один слайд.

6) Модернізація рами візка – один слайд.

7) Порівняльна характеристика серійного буксового вузла та гідрофедера 230303В-1– один слайд.

8) Висновки до кваліфікаційної роботи – один слайд.

6 Консультанти окремих розділів

Розділ	Ім'я, прізвище, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7 Дата видачі завдання: 28 квітня 2025 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1 Отримання завдання на кваліфікаційну роботу. Формування змісту та етапів виконання роботи.	28.04.–29.04.25	
2 Збирання та обробка статистичної інформації.	30.04.–12.05.25	
3 Виконання кваліфікаційної роботи за розділами.	13.05.–08.06.25	
4 Перевірка виконаних завдань у керівника кваліфікаційної роботи, виправлення помилок.	09.06.–11.06.25	
5 Оформлення ілюстративного матеріалу до кваліфікаційної роботи.	12.06.–13.06.25	
6 Нормоконтроль. Перевірка випускної кваліфікаційної роботи на наявність текстових збігів.	14.06.–15.06.25	
7 Підготовка до захисту.	16.06.–17.06.25	

Здобувачка  Дар'я ШАПОВАЛОВА
(підпис)

Керівник _____ Володимир НЕРУБАЦЬКИЙ
(підпис)

Зміст

Вступ	6
1 Сучасний стан та аналіз пошкоджуваності електропоїздів серії EP2	8
2 Концепція модернізації ходової частини моторного вагона електропоїзда EP2	13
2.1 Загальні вимоги до модернізації моторних візків	13
2.2 Вибір основних характеристик гідрофедера для модернізації буксового вузла моторного візка електропоїзда EP2	17
2.3 Модернізація рами візка	23
2.4 Вибір характеристик гідрофедерів для модернізації першого (буксового) ступеня підвішування	27
Висновки до кваліфікаційної роботи	32
Список використаних джерел	34
Додаток А. Ілюстративний матеріал до кваліфікаційної роботи	36

					<i>КРБ.141.26.05.25.01 ПЗ</i>		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Покращення експлуатаційних властивостей ходової частини моторного вагона електропоїзда за рахунок модернізації</i>		
Розробив	Шаповалова						
Перевірів	Нерубацький						
Рецензент	Івакіна						
Н. контр.	Нерубацький						
Затвердив	Бабасєв				Літ. Аркуш Аркушів 5 45 УкрДУЗТ		

Вступ

Сучасні зміни в суспільстві охоплюють усі сфери діяльності, зокрема й транспортну галузь. Зростає мобільність населення, а разом із цим підвищуються вимоги до якості та комфорту наданих транспортних послуг.

На цьому тлі дедалі помітніше проявляється розрив між сучасними вимогами, що висувуються до приміського рухомого складу, і його реальним станом.

В таких умовах актуальним стає пошук додаткових шляхів підвищення технічного рівня і споживчих якостей наявного вітчизняного моторвагонного рухомого складу.

На залізницях України й досі експлуатуються електропоїзди серії EP2 та їхні модифікації, більшість яких була випущена ще в другій половині XX століття. На ряді регіональних напрямків вони становлять значну частину парку електропоїздів постійного струму. У зв'язку з цим технічні та експлуатаційні показники цих поїздів суттєво впливають на загальну ефективність функціонування приміського залізничного транспорту. Однак саме для цієї серії рухомого складу фіксується найбільша кількість відмов, особливо з боку механічного обладнання.

На вартість життєвого циклу цих поїздів найбільший вплив мають пошкодження колісно-моторного блоку, пов'язані з конструкцією буксових зв'язків колісних пар з рамою візка. Фрикційні гасителі коливань першого ступеня підвішування мають нестабільні енергопоглинаючі властивості, що ускладнюється масовим виходом з ладу їх шарнірів і втратою функціональної працездатності гасителів.

Відмова механізмів демпфірування коливань першого ступеня ресорного підвішування призводить до збільшення амплітуд галопування і підстрибування візка, що спричиняє значне підвищення навантажень у вузлах і деталях колісно-моторного блоку і рами візка.

З огляду на викладене, проведення робіт із модернізації вузлів з'єднання колісних пар із рамою візка (першого ступеня підвішування) з метою забезпечення

необхідних динамічних характеристик моторвагонного рухомого складу, підтримання їхньої стабільності в міжремонтний період, а також зниження експлуатаційних витрат на технічне обслуговування та ремонт видається актуальним напрямом. Усі заходи з модернізації мають відповідати чинним нормативам і вимогам безпеки, затвердженим на території України.

Метою кваліфікаційної бакалаврської роботи є підвищення експлуатаційних властивостей моторних вагонів електропоїздів постійного струму ЕР2 за рахунок введення в перший ступінь підвішування пружно-демпфуючих елементів типу гідрофедер.

Об'єктом дослідження є процеси взаємодії елементів ресорного підвішування моторного візка з колісно-моторним блоком електропоїзда серії ЕР2 в умовах експлуатаційних навантажень.

Предметом дослідження є ходова частина моторного вагона електропоїзда постійного струму.

Висновки до кваліфікаційної роботи

1. Виконану кваліфікаційну роботу присвячено аналізу технічного стану моторних вагонів електропоїздів серії EP2 та пошуку шляхів підвищення їх надійності й стійкості в умовах інтенсивної експлуатації. Основну увагу зосереджено на елементах першого ступеня ресорного підвішування, зокрема на фрикційних гасниках коливань, які більше не відповідають сучасним вимогам щодо ефективності демпфування та забезпечення стабільності руху.

2. На основі аналізу технічної документації, експлуатаційних матеріалів та типових відмов встановлено, що основні проблеми пов'язані зі зносом гасників, втратою їх робочих характеристик, а також руйнуванням шарнірних з'єднань. Це, у свою чергу, призводить до посилення коливань візків, виникнення додаткових динамічних навантажень у колісно-моторних блоках, погіршення плавності ходу та прискореного зносу елементів ходової частини.

3. Як одне з перспективних технічних рішень запропоновано заміну застарілих фрикційних гасників сучасними пружно-демпфуючими елементами – гідрофедерами. Ці елементи поєднують функції амортизації та пружності, відзначаються підвищеною стабільністю роботи, меншим зношуванням і здатністю забезпечити якісне демпфування коливань. Установлення гідрофедерів сприяє зниженню вібрацій, покращенню плавності ходу та підвищенню технічної надійності рухомого складу загалом.

4. Результати роботи засвідчили, що модернізація першого ступеня ресорного підвішування із застосуванням гідрофедерів може бути реалізована без суттєвих конструктивних змін у конструкції візків, з урахуванням чинних нормативних документів, стандартів та умов експлуатації на залізницях України. Запропоноване технічне рішення спрямоване на продовження строку служби моторвагонного рухомого складу, підвищення його надійності, безпеки та якості транспортного обслуговування.

5. Застосування гідрофедерів як елементів першого ступеня ресорного підвішування моторних вагонів серії EP2 є актуальним, технічно обґрунтованим і перспективним напрямом підвищення надійності та експлуатаційної ефективності електропоїздів. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані не лише під час капітального ремонту, але й при серійному оновленні парку приміських електропоїздів, що дозволяє значно зменшити експлуатаційні витрати та підвищити ефективність технічного обслуговування.

6. Подальші дослідження доцільно спрямувати на впровадження інтелектуальних систем моніторингу стану елементів підвіски, що дозволить здійснювати превентивне обслуговування та своєчасне виявлення дефектів. Також перспективним напрямом є оцінка довготривалої ефективності впроваджених рішень в умовах різних кліматичних зон та навантажень на залізничній мережі України.

Список використаних джерел

1. Abdelsalam A. A., El-Sabbagh S. H., Mohamed W. S., Khozami M. A. Studies on swelling behavior, mechanical and thermal properties of ternary rubber blend composites in the presence of compatibilizers. *Pigment & Resin Technology*. 2023. Vol. 52, No. 5. P. 614–623. DOI: 10.1108/PRT-02-2022-0020.
2. Atmadzhova D., Ralev V. Method for determining the forces acting on an axle box designed for the installation of an adapter bearing. *ET*. 2023. Vol. 2, No. 3. Sep. DOI: <https://doi.org/10.5937/engtoday2300010A>.
3. Babanin O., Bulba V. Designing the technology of express diagnostics of electric train's traction drive by means of fractal analysis. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 4, 9 (82). P. 45–54. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.76520.
4. Biluhin D. S. Design features and operating characteristics of voltage regulators of DC domestic electric rolling stock. *Science and Transport Progress*. 2007. No. 15. P. 19–22. DOI: 10.15802/stp2007/17671.
5. Bondarev, O. M., Yagoda, D. O., Bondarev, O. O., & Skoblenko, V. M. (2013). Theoretical and experimental evaluation of strength indices for traction reduction-gear housings of welded construction KEVRZ for electric trains ER2, ER9. *Science and Transport Progress*, (4(46), 99–110. DOI: 10.15802/stp2013/16599.
6. Gavrilovs P., Gorbacovs D., Eiduks J., Strautmanis G., Arshad A. Examining failures in rubber-cord couplings within ER2 series electric trains. *Transport*. 2024. Vol. 39, No. 2. P. 183–196. DOI: <https://doi.org/10.3846/transport.2024.22411>.
7. Gorbacovs D., Gavrilovs P., Eiduks J. Determination of the metal structure, testing of hardness of the fastening bolts of the rubber-cord coupling for traction gear of electric trains of the ER2 series. *2020 IEEE 8th Workshop on Advances in Information, Electronic and Electrical Engineering (AIEEE)*. Vilnius, Lithuania, 2021. P. 1–4. DOI: 10.1109/AIEEE51419.2021.9435756.

8. Li K., Chen Z., Shi W. Rubber aging life prediction based on interpolation and improved time-temperature superposition principle. *Materials Research Express*. 2022. Vol. 9, No. 1. 015301. DOI: 10.1088/2053-1591/ac45ba.

9. Sumtsov A., Falendysh A., Chyhyryk N., Vasilenko O., Vykhopen I. Energy Saving for the Suburban Rolling Stock. *International Journal of Engineering and Technology*. 2018. Vol. 7 (4.3). P. 361–365. DOI:10.14419/ijet.v7i4.3.19835.

10. Tishchenko V., Lohvinenko O., Odegov M. Determination of the frequency of natural oscillations of the elements of the mechanical system of the motor carriage rolling stock. *Municipal Economy of Cities (Technical Science)*. 2023. No. 4 (178). P. 293–298. DOI: <https://doi.org/10.33042/2522-1809-2023-4-178-293-298>.

11. Мороз В. І., Братченко О. В., Бобрицький С. В. Обґрунтування перспективних напрямків підвищення експлуатаційної надійності тягових передач електропоїздів серії ЕР-2. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. Харків, 2009. Вип. 111. С. 176–182.

12. Панченко С. В., Бабаєв М. М., Блиндюк В. С. Нерубацький В. П. Конструкція та динаміка електричного рухомого складу: підручник. Частина 1. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 282 с.

13. Правила ремонту електричних машин електровозів і електропоїздів. ЦТ-0063 : Затв. і введено в дію наказом Міністерства транспорту України від 27.02.2003 р. №53Ц. К.: Мінтранс України, 2003. 281 с.

14. Устенко О. В., Візник Р. І., Ловська А. О. та ін. Основи теорії коливань і стійкості рухомого складу: навч. інструкція. Харків: УкрДУЗТ, 2021. 129 с.

15. Фомін О. В. Дослідження дефектів та пошкоджень несучих систем залізничних напіввагонів: монографія. Київ: ДЕТУТ, 2014. 299 с.