

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра інженерії вагонів та якості продукції

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПРИВОДІВ
ПІДВАГОННОГО ОБЛАДНАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ

Пояснювальна записка і розрахунки
до магістерської кваліфікаційної роботи

МКР. 01000. 05. 00 ПЗ

Розробив здобувач групи
213-ВВГ-Д24

спеціальності 273 «Залізничний
транспорт ОПП «Вагони та вагонне
господарство»
(роботу виконано самостійно,
відповідно до принципів академічної
добросесності)

Райко Д.А.

Науковий керівник, доцент

Рибін А.В.

Рецензент: доцент, канд. техн. наук

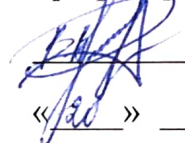
Обозний О. М.

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра інженерії вагонів та якості продукції
Освітньо-кваліфікаційний рівень - магістр
Спеціальність (напрямок підготовки) – 273 Залізничний транспорт
Спеціалізація (освітньо-професійна програма) – Вагони та вагонне господарство

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
інженерії
вагонів та якості
продукції,
професор, д-р техн. наук

 В. Г. Равлюк
« 30 » 11 2025 р.

ЗАВДАННЯ на магістерську кваліфікаційну роботу

Райку Дмитру Алімовичу

1 Тема «Удосконалення системи технічної діагностики приводів підвагонного обладнання пасажирських вагонів»

керівник Рибін Андрій Вікторович, доцент

затверджена розпорядженням по механіко-енергетичному факультету від
« 24 » лютого 2025 року № 13 .

2 Строк подання магістрантом проекту 31 грудня 2025 р.

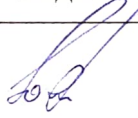
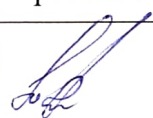
3 Вихідні дані отримати в період проходження переддипломної практики

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

Аналіз конструктивних особливостей та умов експлуатації приводів генераторів пасажирських вагонів. Аналіз умов експлуатації підвагонного обладнання.

Аналіз причин типових пошкоджень приводів підвагонних генераторів.
Особливості діагностування підвагонних редукторів пасажирських вагонів.
Визначення оптимальних місць кріплення датчиків та похибки вимірювань.
Розробка принципової схеми бортової системи діагностики. Удосконалення технологічного процесу деповського ремонту підвагонного обладнання.
Розрахунок економічного ефекту від впровадження. Висновки.

5 Консультанти окремих розділів

Розділ проекту	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування	Калабухін Ю.Є., д.е.н., професор		

6 Дата видачі завдання « 03 » березня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів	Примітка
1 Аналіз матеріалу, отриманого під час переддипломної практики	Жовтень 2025	виконано
2 Формулювання напрямку, мети та задач магістерської кваліфікаційної роботи	Жовтень 2025	виконано
3 Огляд існуючих методів та визначення напрямків дослідження	Жовтень 2025	виконано
4 Аналіз умов експлуатації підвагонного обладнання	Листопад 2025	виконано
5 Особливості діагностування підвагонних редукторів пасажирських вагонів	Листопад 2025	виконано
6 Удосконалення технологічного процесу деповського ремонту підвагонного обладнання	Грудень 2025	виконано
7 Обґрунтування економічної ефективності, оформлення та підпис розділу роботи	Грудень 2025	виконано
8 Перевірка роботи на наявність збігів текстових символів та графічних фрагментів	31.12.2025	виконано
9 Оформлення презентаційного матеріалу кваліфікаційної роботи	31.12.2025	виконано
10 Здавання матеріалу на перевірку та підпис керівнику	31.12.2025	виконано
11 Підпис ПЗ та презентаційного матеріалу	09.01.2026	виконата
12 Захист кваліфікаційної роботи у ДЕК	Згідно з графіком проведення підсумкової атестації	виконано

Магістрант


(підпис)

Д.А. Райко

(прізвище та ініціали)

Керівник


(підпис)

А. В. Рибін

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе пояснювальну записку обсягом 87 аркушів формату А4, що містить 4 розділи, 24 рисунки, 8 таблиць, 34 літературних джерела та 12 слайдів презентації.

Ключові слова: ЗАЛІЗНИЧНИЙ ТРАНСПОРТ, ПАСАЖИРСЬКІ ВАГОНИ, ПРИВОДИ ГЕНЕРАТОРІВ, РЕДУКТОР, ВІБРОАКУСТИЧНА ДІАГНОСТИКА, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, РЕМОНТ, БЕЗПЕКА РУХУ.

Об'єктом дослідження є процес технічного обслуговування та ремонту приводів підвагонного обладнання пасажирських вагонів. Метою дослідження є удосконалення системи технічної діагностики та технології ремонту приводів для підвищення надійності енергозабезпечення вагонів.

У роботі проведено аналіз конструктивних особливостей та типових пошкоджень приводів генераторів типів ТРКП, ТК-2 та редукторів від середньої частини осі. Обґрунтовано використання віброакустичного методу для виявлення дефектів зубчастих передач та підшипників. Розроблено принципову схему бортової системи діагностики для моніторингу стану обладнання в режимі реального часу.

Запропоновано впровадження нового технологічного обладнання в умови вагонного депо, зокрема балансувального станду БВІ-03-72М та випробувальної станції БЕР-40, що дозволяє автоматизувати процес контролю якості після ремонту. Проведено розрахунок економічної ефективності запропонованих заходів, який підтвердив їх доцільність та окупність.

ABSTRACT

This qualification work includes an explanatory note of 87 A4 pages, containing 4 sections, 24 figures, 8 tables, 34 references, and 12 presentation slides.

Keywords: RAILWAY TRANSPORT, PASSENGER CARS, GENERATOR DRIVES, GEARBOX, VIBRO-ACOUSTIC DIAGNOSTICS, TECHNOLOGICAL PROCESS, REPAIR, TRAIN SAFETY.

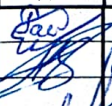



The object of the research is the process of maintenance and repair of under-car equipment drives of passenger railcars. The aim of the study is to improve the technical diagnostics system and repair technology of drives to increase the reliability of the railcars' power supply.

The work analyzes the design features and typical damages of generator drives of TRKP and TK-2 types, as well as gearboxes from the middle part of the axle. The use of the vibro-acoustic method for detecting defects in gears and bearings is substantiated. A schematic diagram of an on-board diagnostic system for real-time equipment condition monitoring has been developed.

The introduction of new technological equipment into the car depot conditions is proposed, in particular, the BVI-03-72M balancing stand and the BER-40 test station, which allows automating the quality control process after repair. The calculation of the economic efficiency of the proposed measures was performed, which confirmed their feasibility and payback.

Зміст

Вступ	7
1. Аналіз конструктивних особливостей та умов експлуатації приводів генераторів пасажирських вагонів	10
1.1 Особливості конструкції приводів від торця шийки осі (ТРКП, ТК-2)	11
1.2 Особливості конструкції приводів від середньої частини осі (EUK-160-1M, ВБА 32/2, ЖДР-0002)	22
1.3 Аналіз умов експлуатації підвагонного обладнання	30
1.4 Аналіз причин типових пошкоджень приводів підвагонних генераторів	32
Висновки до розділу 1	35
2 Особливості діагностування підвагонних редукторів пасажирських вагонів	37
2.1 Призначення та специфіка віброакустичної діагностики механічного обладнання	37
2.2 Визначення оптимальних місць кріплення датчиків та похибки вимірювань	40
2.3 Аналіз причин вібрації та діагностичні ознаки дефектів зубчастих пар	49
2.4 Типові пошкодження та причини їх виникнення для різних типів приводів	61
2.5 Розробка принципової схеми бортової системи діагностики	64
Висновки до розділу 2	67
3 Удосконалення технологічного процесу деповського ремонту підвагонного обладнання	68

<i>МКР. 01000.05.00 ПЗ</i>				
Зм.	Аркуш	№ докум.	Підпис	Дата
Розробив	Райко			
Перевірив	Рибін			10.02.24
Н. контр.	Шовкун			
Затвердив	Равлюк			25.02.24
УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ ПРИВОДІВ ПІДВАГОННОГО ОБЛАДНАННЯ ПАСАЖИРСЬКИХ ВАГОНІВ			Літер	Аркуш
			5	87
УкрДУЗТ				

3.1 Впровадження балансувального стенду моделі БВІ-03-72М	69
3.2 Впровадження випробувальної станції БЕР-40 для діагностування редукторів	71
Висновки до розділу 3	74
4 Розрахунок економічного ефекту від впровадження комплексу балансування та випробування	75
4.1 Коротка характеристика запропонованого заходу	75
4.2 Методика розрахунку економічного ефекту	75
4.3 Вихідні дані та розрахунок основних показників ефективності	77
Висновки до розділу 4	82
Загальні висновки по роботі	83
Список використаних джерел	84

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

дійність, безпека та комфорт пасажирських перевезень залізничним транспортом безпосередньо залежать від технічного стану рухомого складу. Пасажи́рський вагон – це складна технічна система, ефективне функціонування якої неможливе без стабільної роботи систем енергопостачання та забезпечення.

Одним з елементів цих систем є приводи підвагонних генераторів, які працюють у важких умовах динамічних навантажень, вібрацій та впливу навколишнього середовища. З часом, під дією експлуатаційних факторів, у вузлах приводів (карданних валах, редукторах, підшипниках) виникають дефекти та несправності, які при несвоєчасному виявленні призводять до відмов підвагонного обладнання, затримок поїздів та значних фінансових втрат при аварійних ситуаціях.

Існуюча система планово-попереджувальних ремонтів не завжди здатна виявити передвідмовний стан обладнання, що робить актуальним перехід до сучасних методів інструментальної діагностики та обслуговування за фактичним станом [6].

Актуальність теми.

Актуальність теми дослідження обумовлена кількома факторами, зокрема:

- Високою аварійністю приводів генераторів. Згідно зі статистичними даними вагонного депо ЛВЧД-6 та аналізу відмов на Укрзалізниці, несправності приводів типів ТРКП, ТК-2, ЕУК-160-1М, ВБА 32/2, ЖДР-0002 (руйнування карданних валів, пошкодження підшипників, ослаблення кріплень) складають значну частку від загальної кількості позапланових ремонтів пасажирських вагонів.

- Недосконалістю існуючих методів контролю. Традиційні методи діагностики, що базуються переважно на візуальному огляді та суб'єктивній оцінці персоналу під час стоянок, не дозволяють виявляти приховані дефекти (динамічний дисбаланс, зародження втомних тріщин), які проявляються лише під час руху.

- Необхідністю впровадження об'єктивного інструментального контролю. Забезпечення безпеки руху при зростанні швидкостей вимагає переходу від

традиційних візуальних методів контролю до автоматизованих систем вібромоніторингу [13] та високоточного балансування обертових частин.

Впровадження удосконаленої системи технічної діагностики дозволить попередити виникнення аварійних ситуацій, зменшити експлуатаційні витрати та подовжити термін служби дороговартісного підвагонного обладнання.

Мета і завдання дослідження.

Основна *мета* цього дослідження – поліпшення експлуатаційних характеристик та безпеки руху пасажирських вагонів шляхом удосконалення системи технічної діагностики приводів підвагонного обладнання на основі впровадження методів вібраційного моніторингу та новітніх технологій балансування [14].

Для досягнення цієї мети в магістерській кваліфікаційній роботі проведено комплексний аналіз причин відмов, моделювання динамічних процесів та розробку інженерних рішень щодо модернізації діагностичного комплексу депо.

Предмет і об'єкт дослідження.

Об'єктом дослідження є процес технічної експлуатації, діагностування та ремонту приводів підвагонного обладнання пасажирських вагонів. Він характеризує життєвий цикл вузлів приводу від моменту виникнення дефекту до його виявлення та усунення в умовах ремонтного підприємства. *Предметом* дослідження є методи та засоби вібраційної діагностики, закономірності зміни технічного стану елементів приводів та технології відновлення їх динамічної зрівноваженості.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні *завдання*:

- Провести аналіз конструктивних особливостей та умов експлуатації приводів генераторів (ТРКП, ТК-2, ЕУК-160-1М, ВБА 32/2, ЖДР-0002).
- Виявити причини типових несправностей приводів генераторів.
- Розробити принципову схему бортової системи діагностики для контролю стану обладнання в режимі реального часу.
- Запропонувати удосконалення технології деповського ремонту шляхом впровадження балансувального стенду моделі БВІ-03-72М для усунення причин підвищеної вібрації.
- Оцінити техніко-економічну ефективність запропонованих рішень [1, 7].

Наукова новизна. Наукова новизна цього дослідження характеризується комплексним підходом до вирішення проблеми діагностики приводів, що поєднує бортовий моніторинг з удосконаленням технології ремонту. Дістала подальшого розвитку методика діагностування, яка передбачає використання адаптивних порогових значень вібрації залежно від режимів руху вагона, що підвищує точність виявлення передвідмовних станів.

Джерела дослідження.

Для досягнення задач дослідження проаналізовані такі джерела, як: наукові публікації та технічна література з питань діагностики та моніторингу рухомого складу; нормативно-технічна документація АТ «Укрзалізниця» (інструкції з ремонту та обслуговування); статистичні дані щодо відмов та несправностей вагонного депо Харків-Сортувальний (ЛВЧД-6); технічна документація на діагностичне та балансувальне обладнання; матеріали науково-технічних конференцій в галузі залізничного транспорту.

Практична цінність дослідження.

Практична цінність цього дослідження полягає в розробці конкретних інженерних пропозицій, готових до впровадження у виробничий процес. Запропонована технологія балансування карданних валів на стенді БВІ-03-72М дозволить усунути основну причину вібрацій, що руйнують генератори, і тим самим збільшити міжремонтний ресурс вузлів. Розроблені алгоритми бортової діагностики можуть бути використані при модернізації систем управління електрообладнанням пасажирських вагонів. Система дозволяє ремонтним бригадам депо отримувати більш точну інформацію про стан підвагонних вузлів та попередити аварійні відмови на шляху прямування.

Список використаних джерел

1 Балака Є. І., Зоріна О. І., Колесникова Н. М., Писаревський І. М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті : навч. посіб. Харків : УкрДАЗТ, 2005. 210 с.

2 Борзилов І. Д. Технологія технічного обслуговування та ремонту вагонів : підручник. Харків : УкрДАЗТ, 2003. 246 с.

3 ДСТУ 6098:2009. Методи випробування на стійкість до механічних зовнішніх чинників, що впливають на машини, прилади та інші технічні вироби. Випробування на вплив вібрації з відтворенням заданої акселерограми процесу. Київ : Держспоживстандарт України, 2009.

4 Інструкція з ремонту редукторно-карданних приводів пасажирських вагонів. ЦЛ-0078 : затв. наказом Укрзалізниці від 31.03.09. № 219-С. Київ : Укрзаліниця, 2010. 191 с.

5 Катренко Л. А., Кіт Ю. В., Пістун І. П. Охорона праці : навч. посіб. 3-тє вид., перероб. і доп. Суми : ВТД „Університетська книга“, 2009. 540 с.

6 Кравченко В. М., Сидоров В. А., Седуш В. Я. Технічне діагностування механічного обладнання : підручник. Донецьк : ТОВ „Юго-Восток, Лтд“, 2007. 447 с.

7 Мартинов І. Е., Калабухін Ю. Є., Равлюк В. Г., Тимофєєва Т. О. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломних проектів «Впровадження інновацій у сферу вагоноремонтного підприємства та їх економічна ефективність». Харків : УкрДАЗТ, 2013. 38 с.

8 Перетяка Н. О., Боряк К. Ф. Аналіз випробувальних стендів механічних редукторів. Транспортні системи і технології : зб. наук. пр. ДУІТ. 2019. С. 4–20.

9 Порядок проведення повірки законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що перебувають в експлуатації, та оформлення її результатів: наказ Міністерства економічного розвитку і торгівлі України від 08.02.2016 № 193. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: URL: http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/RE28408.html (дата звернення: 12.12.2025).

10 Равлюк В. Г. Визначення технічного стану буксових підшипників рухомого складу шляхом вібродіагностування. Східно-Європейський журнал передових технологій. 2015. Вип. 2/7 (74). С. 11–15.

11 Равлюк В. Г. Застосування ефективного методу діагностування для достовірного виявлення дефектів буксових підшипників рухомого складу. Залізничний транспорт України. 2015. Вип. 3. С. 15–20.

12 Равлюк В. Г. Методичні вказівки та завдання до виконання самостійної (контрольної) роботи з дисципліни «Основи експлуатації та відновлення вагонів». Харків : УкрДАЗТ, 2013. 53 с.

13 Равлюк В. Г. Напрям досліджень з вібродіагностування ходової частини рухомого складу. Транспортне машинобудування : вісн. НТУ «ХПІ». Харків, 2008. Вип. 46. С. 112–117.

14 Равлюк В. Г. Підвищення точності діагностування підшипникових вузлів вагонів. Вібрації в техніці та технологіях. Вінниця : ВНАУ, 2015. Вип. 4 (80). С. 169–175.

15 Равлюк В. Г., Ткаченко М. А., Уманець А. С. та ін. Особливості виділення діагностичних ознак технічного стану редуктора пасажирського вагона. Зб. наук. пр. УкрДУЗТ. Харків, 2017. Вип. 177. С. 20–28.

16 Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до побудови, викладення та оформлення : метод. вказ. / уклад. Л. М. Козар та ін. Харків : УкрДАЗТ, 2014. 58 с.

17 Badaoui M. El., Cahouet V., Guillet F. et al. Modeling and detection of localized tooth defects in geared systems. Journal of Mechanical Design, Transactions of the ASME. 2001. Vol. 123. P. 422–430.

18 Brie D., Tomczak V., Oehimann H., Richard A. Gear crack detection by adaptive amplitude and phase modulation. Mechanical Systems and Signal Processing. 1997. Vol. 11(1). P. 149–167.

19 Choy F. K. Analysis of the effects of surface pitting and wear on the vibration of a gear transmission system. Tribology International. 1996. Vol. 29(1). P. 77–83.

20 Combet F., Gelman L. Optimal filtering of gear signals for early damage detection based on the spectral kurtosis. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2009. Vol. 23. P. 652–668.

21 Endo H., Rondel R. B. Enhancement of autoregressive model based gear tooth fault detection technique by the use of minimum entropy deconvolution filter. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2007. Vol. 21. P. 906–919.

22 Feldman M. Hilbert transform in vibration analysis. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2011. Vol. 25. P. 735–802.

23 Forrester B. D. Advanced vibration analysis techniques for fault detection and diagnosis in geared transmission systems : PhD thesis. Melbourne : Swinburne University of Technology, 1996.

24 Lee J. Y., Nandi A. K. Extraction of impacting signals using blind deconvolution. *Journal of Sound and Vibration*. 2000. Vol. 232 (5). P. 945–962.

25 Lee S. K., White P. R. The enhancement of impulsive noise and vibration signals for fault detection in rotating and reciprocating machinery. *Journal of Sound and Vibration*. 1998. Vol. 217 (3). P. 485–505.

26 Верстат для балансування 2-х опорних залізничних карданних валів, масою до 70 кг. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://shvp.com.ua/stanok-dlya-balansirovki-modeli-bvi-03-72-2-h-opornyh-kardannyh-valov-zh-d/> (дата звернення: 18.12.2025).

27 McFadden P. D. Detecting fatigue cracks in gears by amplitude and phase demodulation of the meshing vibration. *Journal of Vibration, Acoustics, Stress, and Reliability in Design*. 1986. Vol. 108. P. 165–170.

28 McFadden P. D. Examination of a technique for the early detection of failure in gears by signal processing of the time domain average of the meshing vibration. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 1987. Vol. 1 (2). P. 173–183.

29 Rondel R. B. A new method of modelling gear faults. *Journal of Mechanical Design*. 1982. Vol. 104. P. 259–267.

30 Staszewski W. J., Worden K., Timlinson G. R. Time-frequency analysis in gearbox fault detection using the Wigner-Ville distribution and pattern recognition. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 1997. Vol. 11 (5). P. 673–692.

31 Stewart R. M. Some useful data analysis techniques for gearbox diagnostics. Institute of Sound and Vibration Research, Paper MHM/R/10/77. 1977.

32 Vartin N., Jaussaud P., Combet F. Close shock detection using time-frequency Prony modeling. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2004. Vol. 18. P. 235–261.

33 Wang W. J., McFadden P. D. Early detection of gear failure by vibration analysis - I. Calculation of the time-frequency distribution. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 1993. Vol. 7 (3). P. 193–203.

34 Wang W., Wong A. K. Autoregressive model-based gear fault diagnosis. *Journal of Vibration and Acoustics*. 2002. Vol. 124. P. 172–179.