Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

Розроблення пропозицій для збільшення ресурсу підшипників тягових електричних двигунів електропоїздів

Пояснювальна записка і розрахунки
до кваліфікаційної роботи магістра

МКРМЕ 400.12.01 ПЗ

Розробив: студент групи 221-ЛЛГ-Д24
Спеціальності 273 Залізничний транспорт
Кобилинський В.І.
Керівник: Проф., д.т.н.
Дацун Ю.М.

Рецензент: доц., к.т.н.
Сумцов А.Л.

2026

Український державний університет залізничного транспорту

Факультет механіко-енергетичний
Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу
Освітньо-кваліфікаційний рівень: магістр
Спеціальність: 273. Залізничний транспорт («Локомотиви та локомотивне господарство»)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри,
професор, д-р техн. наук
_____В.Г. Пузир
(підпис)
«___» _____2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

Кобилинського Віталія Івановича

1. Тема «Розроблення пропозицій для збільшення ресурсу підшипників тягових електричних двигунів електропоїздів»
керівник Дацун Юрій Миколайович, проф., д.т.н.
затверджено розпорядженням по механіко-енергетичному факультету
від «06» жовтня 2025 року № 55 .
2. Строк подання студентом закінченої роботи «8» січня 2026 року.
3. Вихідні дані Методичні вказівки по збору статистичної інформації в локомотивних депо (№471)
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: - Особливості конструкції асинхронних тягових електричних машин та вимоги до них; - Розробка методики вибору радіального зазору в якірних підшипниках тягових двигунів; - Моделювання та аналіз електрокорозійного пошкодження підшипників тягових двигунів; - Економічне обґрунтування впровадження установки газополум'яноно напилення
5. Перелік графічного матеріалу – Асинхронний двигун типу TF 59-39-4 електропоїзду Екр-1 «Тарпан»; - Найбільш поширені несправності асинхронних тягових електродвигунів виявлені у процесі експлуатації; - Діаграма Ісікави для дефектів, що опинилися в області ризику; - Дослідження впливу величини радіального зазору на ресурс підшипника з урахуванням кривизни контактних поверхонь та товщини мастильної плівки; - Побудова еквівалентної схеми струмопровідного підшипника; - Механізм динамічного накопичувального пошкодження внаслідок розряду та руйнування масляної плівки; - Випробування продуктивності підшипників тягового двигуна; - Порівняння результатів випробувань підшипників X, Y та Z; - Розробка заходів для запобігання пошкодженню підшипників електричним струмом

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування	Калабухін Ю.Є., проф., к.т.н.		

7 Дата видачі завдання «20» лютня 2025 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.	10.10-19.10.2025	Виконано
2	Збирання та обробка статистичної інформації	20.10-30.10.2025	Виконано
3	Виконання роботи по розділам дипломного проекту. Аналіз одержаних даних, їх розрахунок та обробка	01.11-11.11.2025	Виконано
4	Перевірка виконаних завдань у керівника дипломного проекту, виправлення помилок, виконання робіт по розділам консультантів	12.11-30.11.2025	Виконано
5	Робота над оформленням графічної частини, проведення розрахунків та створення на їх підставі графічних матеріалів	01.12-15.12.2025	Виконано
6	Перевірка виконаних робіт у керівника проекту, виправлення помилок, чистове виконання розділів дипломного проекту	16.12-31.12.2025	Виконано
7	Нормоконтроль, виправлення помилок та підготовка до захисту	01.01-20.01.2026	Виконано

Студент_____Кобилинський В.І.

(підпис)

Керівник_____Дацун Ю.М.

(підпис)

Зміст

Вступ 6

Анотація 8

1 Особливості конструкції асинхронних тягових електричних машин та вимоги до них 9

1.1 Огляд асинхронних тягових електричних машин, що застосовуються у рухомому складі та їх переваги 10

1.2 Надійність роботи електропоїздів та АТЕД 12

1.3 Характеристики та принцип роботи АТЕД електропоїзда Екр-1 14

1.4 Основні несправності АТЕД в експлуатації 24

1.5 Аналіз причин виходу з ладу підшипників тягових двигунів електропоїздів 29

2 Розробка методики вибору радіального зазору в якірних підшипниках тягових двигунів 35

2.1 Постановка завдання дослідження 35

2.2 Визначення сил, що діють на підшипники тягових двигунів 36

2.3 Математична модель розподілу навантаження у підшипнику з урахуванням радіального зазору 45

2.4 Дослідження впливу радіального зазору на величину контактної напруги 55

2.5 Дослідження впливу радіального зазору на товщину мастильної плівки підшипника 59

2.6 Дослідження впливу величини радіального зазору на ресурс підшипника з урахуванням кривизни контактних поверхонь та товщини мастильної плівки 63

3 Моделювання та аналіз електрокорозійного пошкодження підшипників тягових двигунів 71

3.1 Матеріали та методи 74
3.2 Побудова еквівалентної схеми струмопровідного підшипника 75
3.3 Розрахунок струму валу струмопровідного підшипника 77
3.4 Механізм динамічного накопичувального пошкодження внаслідок розряду та руйнування масляної плівки 81
3.5 Моделювання електричного термозв'язку підшипника тягового двигуна 85
3.6 Результати розрахунку струму валу 87
3.7 Результати моделювання та аналіз електричного термічного зчеплення 89
3.8 Вплив параметрів на підвищення температури в мікрозонному пробої мастила підшипника 94
3.9 Порівняння результатів випробувань та моделювання 102
3.10 Розробка заходів для запобігання пошкодженню підшипників електричним струмом 107
4 Економічне обґрунтування впровадження установки газополум’яноно напилення 112
4.1 Характеристика інноваційного заходу, що впроваджується 112
4.2 Загальні положення економічного розрахунку при впровадженні нового обладнання 112
4.3 Капітальні витрати для впровадження установки газополум’яноно напилення 114
4.4 Калькуляція собівартості впровадження 115
4.5 Розрахунок економічного ефекту від впровадження 118
Список використаних джерел 121

Вступ

Одним із пріоритетних завдань, викладених у Стратегії науково-технічного розвитку Укрзалізниці на період до 2030 року, є зниження сукупних транспортних витрат за рахунок підвищення ефективності функціонування залізничного транспорту.

На сьогоднішній день основний парк тягового рухомого складу залізниць України складається з електровозів, тепловозів, електропоїздів та дизель-поїздів. Загальною особливістю перерахованого тягового рухомого складу є те, що для створення сили тяги застосовується тяговий привід, що включає тяговий двигун із системою керування та зубчасту передачу, що приводить в рух колісну пару.

Підшипники колісно-моторного блоку, як і тягові двигуни є відповідальним вузлом локомотива від їхньої надійної роботи, залежить безпека перевізного процесу та ефективність функціонування рухомого складу. Підшипники тягових двигунів є найбільш навантаженим елементом колісно-моторного блоку, оскільки експлуатуються при великих навантаженнях і швидкостях.

Результати досліджень, проведених у всій мережі залізниць України, показують, що підшипники не забезпечують заданий ресурс. Як правило, бракуються за результатами вібродіагностики та комісійних оглядів під час проведення планових та непланових ремонтів електровозів [1].

Залежно від характеру виникнення відмови підшипників поділяються на раптові та поступові. Раптові або миттєві відбуваються внаслідок різкої зміни значень одного або кількох параметрів підшипника. Як правило, вони наступають при стрибкоподібній зміні навантажень, електричних або механічних напруг у матеріалі підшипника. Поступові (параметричні) характеризуються плавною зміною параметрів підшипника, їх фізична природа – найчастіше зношування та втомне старіння матеріалу.

Застосовувані нині способи підвищення ресурсу підшипників

електровозів неможливо забезпечити ресурс підшипників до проведення поточного ремонту електровоза обсягом ТР-3.

Актуальність магістерської роботи. Досягнення стратегічних цілей, таких як збільшення швидкостей руху рухомого складу та його експлуатаційної надійності можливе за умови виявлення причин, що знижують ресурс вузлів та деталей, а також розроблення заходів, що забезпечують їх гарантований ресурс роботи. Незважаючи на нові технічні рішення в конструкції, ресурс підшипників тягових двигунів не досягає 160 тис.км пробігу, що підтверджується досвідом багаторічної експлуатації і кількістю непланових ремонтів. Таким чином, дослідження, спрямовані на виявлення причин виходу з ладу підшипників тягових двигунів та розробку заходів щодо підвищення ресурсу їхньої роботи, є актуальними.

Метою роботи є збільшення ресурсу підшипників тягових двигунів електропоїздів.

Завдання дослідження:

1. Виконати аналіз особливості конструкції асинхронних тягових електричних машин;

2. Виконати аналіз причин виходу з ладу підшипників тягових двигунів електропоїздів;

3. Розробити методику вибору радіального зазору в якірних підшипниках тягових двигунів;

4. Виконати аналіз електрокорозійного пошкодження підшипників тягових двигунів;

5. Розробити заходи для запобігання пошкодженню підшипників електричним струмом;

6. Здійснити техніко-економічне обґрунтування впровадження установки газополум’яноно напилення.

Об'єкт дослідження: електрорухомий склад. Електропоїзди.

Предмет дослідження: засоби підвищення ресурсу підшипників тягових двигунів електропоїздів.

Анотація

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 12 слайдів презентації, 125 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 44 рисунка, 11 таблиць, 51 літературних джерел.

Ключові слова: ПІДШИПНИК, ТЯШОВИЙ ДВИГУН, ЕЛЕКТРОПОЇЗД, РАДІАЛЬНИЙ ЗАЗОР, ЕЛЕКТРОКОРОЗІЙНЕ ПОШКОДЖЕНЯ.

Актуальність магістерської роботи. Досягнення стратегічних цілей, таких як збільшення швидкостей руху рухомого складу та його експлуатаційної надійності можливе за умови виявлення причин, що знижують ресурс вузлів та деталей, а також розроблення заходів, що забезпечують їх гарантований ресурс роботи. Таким чином, дослідження, спрямовані на виявлення причин виходу з ладу підшипників тягових двигунів та розробку заходів щодо підвищення ресурсу їхньої роботи, є актуальними.

Метою роботи є збільшення ресурсу підшипників тягових двигунів електропоїздів.

Об'єкт дослідження: електрорухомий склад. Електропоїзди.

Предмет дослідження: засоби підвищення ресурсу підшипників тягових двигунів електропоїздів.

Abstract

This qualification work includes 12 presentation slides, 125 sheets of explanatory note in A4 format, including 44 figures, 11 tables, 51 literary sources.

Keywords: BEARING, TRACTION MOTOR, ELECTRIC TRAIN, RADIAL CLEARANCE, ELECTRO-CORROSION DAMAGE.

Relevance of the master's thesis. Achieving strategic goals, such as increasing the speed of rolling stock and its operational reliability, is possible provided that the causes that reduce the resource of components and parts are identified, as well as the development of measures to ensure their guaranteed service life. Thus, research aimed at identifying the causes of failure of traction motor bearings and developing measures to increase their service life are relevant.

The purpose of the work is to increase the service life of traction motor bearings of electric trains.

Object of research: electric rolling stock. Electric trains.

Subject of research: means of increasing the service life of traction motor bearings of electric trains.

Список використаних джерел

1. Murdock, D.A. Active thermal control of power electronics module / Murdock D.A., Ramos Torres J.E., Connors J.J., Lorenz R.D. // IEEE Transactions on Industry Applications, VOL. 42, NO. 2, MARCH/APRIL 2006. – pp. 552 – 558.

2. Державна цільова програма реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 16.12.2009 №1390. - 920 с.

3. Ибраев Ж.С., Пя Д.Р. Асинхронный тяговый привод локомотивов и их характерные неисправности. Материалы Международной научно-практической конференции «Роль транспортной науки и образования в реализации пяти институциональных реформ», посвященной Плану нации «100 конкретных шагов» 27-28 апреля 2016 г. Алматы: Казахская академия транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева, 2016. - С. 61-67.

4. Комплексна програма оновлення рухомого складу на 2008-2020 роки: затверджена наказом Міністерства транспорту та зв'язку від 14.10.2008 №1259. -45 с.

5. Правила ремонту електричних машин тепловозів та дизель-поїздів: наказ 451-Ц от 28.07.2011. Київ: Укрзалізниця, 2012. - 259 с.

6. Про вдосконалення системи технічного обслуговування, експлуатації, поточного та капітального ремонтів тягового рухомого складу.: Наказ № 055 від 30.01.2019 р. - Київ: Укрзалізниця, 2019. –16 с.

7. Luo, Z.X. Research on Traction Motor Bearing Electric Erosion of Metro Vehicle and Its Improvement Measures. J. Electr. Drive Locomot. **2021**, 2021, 37–41.

8. Cai, M.Y.; Chen, X.M.; Nie, S.Y. Research on electric corrosion of generator bearings for wind turbine. J. Ship Eng. **2019**, 41, 302–306+310.

9. Wang, Q.Q.; Liu, R.F.; Ren, X.J. The Motor Bearing Discharge Breakdown Based on the Multi-Physics Field Analysis. Trans. China Electrotech. Soc. **2020**, 35, 4251–4257.

10. Plazenet, T.; Boileau, T.; Caironi, C.C.; Nahid-Mobarakeh, B. Influencing

Parameters on Discharge Bearing Currents in Inverter-Fed Induction Motors. IEEE Trans. Energy Convers. **2021**, 36, 940–949. [CrossRef]

11. Bao, J.; Xu, C.B.; Zhao, H.C. Research on Electric Corrosion Failure of Drive Motor Bearing. J. Microtome **2022**, 50, 58–64.

12. Xie, G.; Luo, J.; Guo, D.; Liu, S.; Li, G. Damages on the lubricated surfaces in bearings under the influence of weak electrical currents. Sci. China Technol. Sci. **2013**, 56, 2979–2987. [CrossRef]

13. Loos, J.; Bergmann, I.; Goss, M. Influence of High Electrical Currents on WEC Formation in Rolling Bearings. Tribol. Trans. **2021**, 64, 708–720. [CrossRef]

14. Busse, D.F.; Erdman, J.M. The effects of PWM voltage source inverters on the mechanical performance of rolling bearing. IEEE Trans. Ind. Appl. **1997**, 32, 567–576. [CrossRef]

15. Zika, T.; Gebeshuber, I.C.; Buschbeck, F.; Preisinger, G.; Groschl, M. Surface analysis on rolling bearings after exposure to defined electric stress. Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribol. **2009**, 223, 787–797. [CrossRef]

16. Chiou, Y.-C.; Lee, R.-T.; Lin, C.-M. Formation criterion and mechanism of electrical pitting on the lubricated surface under AC

electric field. Wear **1999**, 236, 62–72. [CrossRef]

17. Bhattacharya, S.; Resta, L.; Divan, D.M.; Novotny, D.W.; Lipo, T.A. Experimental comparison of motor bearing currents with PWM hard and soft switched voltage-source inverters. IEEE Trans. Power Electron. **1996**, 14, 552–562. [CrossRef]

18. Niskanen, V.; Muetze, A.; Ahola, J. Study on Bearing Impedance Properties at Several Hundred Kilohertz for Different Electric Machine Operating Parameters. IEEE Trans. Ind. Appl. **2014**, 50, 3438–3447. [CrossRef]

19. Wang, Z.; Mao, S.; Tian, H.; Su, B.; Cui, Y. Simulation Analysis and Experimental Research on Electric Thermal Coupling of Current Bearing. Lubricants **2024**, 12, 73. [CrossRef]

20. Wang, Q. Research on Capacitances Calculation and the Bearing Damage Degree in Bearing Currents of AC Motors. Master's Thesis, Beijing Jiaotong University, Beijing, China, 2021

21. He, F.; Xie, G.; Luo, J. Electrical bearing failures in electric vehicles.

Friction **2020**, 8, 4–28. [CrossRef]

22. Lin, C.-M.; Chiou, Y.-C.; Lee, R.-T. Pitting mechanism on lubricated surface of Babbitt alloy/bearing steel pair under ac electric field. Wear **2001**, 249, 132–141. [CrossRef]

23. Liu, W. The prevalent motor bearing premature failures due to the high frequency electric current passage. Eng. Fail. Anal. **2014**, 45, 118–127. [CrossRef]

24. Bond, S.; Jackson, R.L.; Mills, G. The influence of various grease compositions and silver nanoparticle additives on electrically induced rolling-element bearing damage. Friction **2024**, 12, 796–811. [CrossRef]

25. Tischmacher, H.; Gattermann, S. Multiple signature analysis for the detection of bearing currents and the assessment of the resulting bearing wear. In Proceedings of the International Symposium on Power Electronics Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, Sorrento, Italy, 20–22 June 2012; pp. 1354–1359.

26. Furtmann, A. Elektrisches Verhalten Von Maschinenelementen Im Antriebsstrang. Ph.D. Thesis, Leibniz Universitat Hannover, Hannover, Germany, 2017.

27. Chi, L.Q.; Zhang, D.H.; Zhao, J.Q. Research Progress on the Mechanism and Mitigation Measure of Electrical Corrosion Damage in Rotating Motor Bearings. J. Electrotechnol. **2024**, 39, 6409–6430.

28. Tang, J. Electrotechnics, 2nd ed.; Higher Education Press: Beijing, China, 2005; pp. 64–65.

29. Deng, S.E.; Jia, Q.Y.; Xue, J.X. Principles of Rolling Bearing Design, 2nd ed.; China Standard Press: Beijing, China, 2014; pp. 138–139.

30. Muetze, A.; Binder, A.; Vogel, H.; Hering, J. What can bearings bear? IEEE Ind. Appl. Mag. **2006**, 12, 57–64. [CrossRef]