УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
Факультет «Механіко-енергетичний »
Кафедра «Експлуатації та ремонту рухомого складу»

# РОЗРОБЛЕННЯ ПРОПОЗИЦІЙ З ПІДВИЩЕННЯ РЕСУРСУ ТЯГОВИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ВАНТАЖНИХ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Пояснювальна записка і розрахунки
до магістерської кваліфікаційної роботи
МКРМЕ.410.12.01.ПЗ

Виконав:
студент групи 221-ЛЛГ-Д23
спеціальності J7 «Залізничний транспорт
Освітня програма «Локомотиви та
локомотивне господарство транспорт»
(роботу виконано самостійно, відповідно
до принципів академічної доброчесності)
Назарій ДРОНЬ
(підпис)

Керівник:
професор, д-р техн. наук
Денис ЖАЛКІН

Рецензент:
професор, д-т техн. наук
Олександр КРАШЕНІНІН

Харків − 2025 р.

**Українська державна академія залізничного транспорту**

**Факультет** механіко-енергетичний
**Кафедра** експлуатації та ремонту рухомого складу
**Освітньо-кваліфікаційний рівень** магістр
**Спеціальність** J7 «Залізничний транспорт»
**ОП** Локомотиви та локомотивне господарство

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри д.т.н., проф.

_____В.Г.Пузир
(підпис)

_____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ**
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**
Дроню Назарію Степановичу

1. Тема «Розроблення пропозицій з підвищення ресурсу тягових електричних машин вантажних електровозів постійного струму» керівник роботи Жалкін Денис Сергійович, д.т.н., професор; затверджені розпорядженням по механічному факультету від «17» березня 2025 року № 17.
2. Строк подання студентом роботи «10» червня 2025 року.
3. Вихідні дані Технічні характеристики ТРС. Статистична звітність по роботі підприємства. Показники надійності роботи ТЕД. Характеристики тягових електродвигунів та обладнання для контролю технічного стану та ремонту. Характеристики відділення для ремонту ТЕД.
4. Зміст розрахунково–пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Аналіз умов роботи тягових електродвигунів тепловозів. 2. Аналіз конструкції та ушкоджень тягових електродвигунів. 3. Технологія ремонту тягового електродвигуна. 4. Удосконалення контролю технічного стану ТЕД. 5. Економічне обґрунтування впровадження пристрою для вібродіагностування тягового електродвигуна.
5. Перелік графічного матеріалу 1. Ціль та задачі роботи. 2. Аналіз роботи ТЕД. 3. Конструкція та пошкодження ТЕД. 4. Аналіз надійності роботи ТЕД. 5. Обладнання для контролю стану ізоляції ТЕД 6. Обладнання та технологія сушки ізоляції ТЕД. 7. Обладнання для ремонту ТЕД 8. Організація сервісу ТЕД. 9. Організація моніторингу технічного стану ТЕД. 10. Діагностування ТЕД. 11. Висновки.

6. Консультанти окремих розділів .

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|---|---|---|---|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |

7. Дата видачі завдання «15» грудня 2024 року.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів магістерської роботи | Строк виконання етапів проекту | Примітка |
|---|---|---|---|
| 1 | Отримання завдання на магістерську роботу. | 15.12-25.12 | Виконано |
| | Формування змісту та етапів роботи. | | |
| 2 | Збирання та обробка статистичної інформації. | 25.12-25.01 | Виконано |
| 3 | Виконання роботи по розділам магістерської | | |
| | роботи. Аналіз одержаних даних, їх обробка. | 25.01-25.02 | Виконано |
| 4 | Перевірка виконаних завдань у керівника | | |
| | магістерської роботи, виправлення помилок, | 25.02-25.03 | Виконано |
| | виконання робіт по розділам консультантів. | | |
| 5 | Робота над оформленням графічної частини | 25.03-25.04 | Виконано |
| 6 | Перевірка виконаних робіт у керівника роботи, | | |
| | консультантів, виправлення помилок, чистове | 25.04-10.05 | Виконано |
| | виконання розділів магістерської роботи. | | |
| 7 | Нормоконтроль, виправлення помилок та | 10.05-31.05 | Виконано |
| | підготовка до захисту. | | |
| | | | |

**Студент** Дронь Н.С.
( підпис ) (прізвище та ініціали)

**Керівник** Жалкін Д.С.
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 14 слайдів презентації, 101 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 32 рисунків, 10 таблиць, 17 літературних джерел.

Ключові слова: ЕЛЕКТРОВОЗ, ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ДВИГУН, РЕСУРС, НАДІЙНІСТЬ, МОНІТОРИНГ, ТЕХНІЧНИЙ СТАН

Об'єкт дослідження**:** процеси експлуатації, технічного обслуговування та ремонту ТЕД електровозів постійного струму.

Предметом дослідження є розробка заходів з підвищення надійності роботи та ресурсу ТЕД електровозів.

Практична значущість роботи. Запропоновані методи моніторингу та прогнозування технічного стану ТЕД дозволять підвищити надійність роботи підшипників кочення та збільшити ресурс роботи ізоляції. Обґрунтовано джерело техніко-економічного ефекту від впровадження моделі.

Результатами кваліфікаційної роботи є пропозиції з удосконалення методів моніторингу технічного стану ТЕД електровозів постійного струму з метою підвищення їхнього ресурсу. Запропоновані технологія моніторингу технічного стану та пристрій контролю зволоженості ізоляції ТЕМ електровозів постійного струму дозволяє підвищити ресурс тягових машин на 30-40 %



## ABSTRACT

This qualification work includes 14 presentation slides, 101 pages of an explanatory note in A4 format, featuring 32 figures, 10 tables, and 17 literature references.

Keywords: ELECTRIC LOCOMOTIVE, TRACTION ELECTRIC MOTOR, RESOURCE, RELIABILITY, MONITORING, TECHNICAL CONDITION

Object of research: processes of operation, maintenance and repair of TED of DC electric locomotives.

The subject of the research is the development of measures to increase the reliability of operation and resource of TED of electric locomotives.

Practical significance of the work. The proposed methods of monitoring and forecasting the technical condition of TED will allow to increase the reliability of operation of rolling bearings and increase the resource of insulation. The source of the technical and economic effect from the implementation of the model is substantiated.

The results of the qualification work are proposals for improving the methods of monitoring the technical condition of TED of DC electric locomotives in order to increase their resource. The proposed technology of monitoring the technical condition and the device for monitoring the moisture content of TEM insulation of DC electric locomotives allows to increase the resource of traction machines by 30-40 %.

Зміст


Вступ 7

1 Аналіз умов роботи тягових електродвигунів ТЛ-2К1 електровозів ВЛ10 та ВЛ11 10

1.1 Аналіз причин відмов ТЕД 10

1.2 Призначення та особливості конструкції тягового електродвигуна 17

1.3 Характерні несправності тягового електродвигуна. Аналіз причин зниження надійності 29

2 Технологія ремонту тягового електродвигуна ТЛ-2К1 37

2.1 Контроль і усунення відмов вузлів ТЕД 38

2.2 Ремонт головних і додаткових полюсів 43

2.3 Ремонт якоря 45

2.4 Просочення і сушіння ізоляції обмоток електричних машин 55

3 Пропозиції по підвищенню ресурсу ТЕД 62

3.1 Контроль ізоляції ТЕД 62

3.2 Балансування ТЕД 69

3.3 Захист ТЕД від небезпечних режимів експлуатації 72

3.4 Система моніторингу під час сервісу ТЕД 74

3.7 Застосування системи діагностування ТЕД під час сервісу 86

4 Економічне обґрунтування впровадження пристрою для вібродіагностування тягового електродвигуна 90
4.1 Характеристика інноваційного заходу, що впроваджується 90
4.2 Загальні положення економічного розрахунку при впровадженні нового обладнання 91
4.3 Капітальні витрати для створення діагностичного пристрою 92
4.4 Калькуляція собівартості діагностування 94
4.5 Розрахунок економічного ефекту від впровадження пристрою 97
Висновки 99
Список використаних джерел 100
Додаток А - Акт перевірки магістерської кваліфікаційної роботи 101

# Вступ

Моніторинг стану та діагностика несправностей ТЕД локомотивів необхідні для оптимізації технічного обслуговування та підвищення рівня надійності. Відмовлення зазвичай починаються з незначних дефектів, які з часом зростають. Основними завданнями діагностики тягових електродвигунів (ТЕД) локомотивів є визначення поточного стану та прогнозування зміни технічного стану підшипникових вузлів ТЕД залежно від напрацювання. У виробництві раптовий вихід із ладу підшипників ТЕД локомотивів може призвести до непоправних наслідків. Дуже важливо виявляти будь-який дефект на ранній стадії, що виключає ризик виникнення серйозних пошкоджень ТЕД. Система технічної діагностики повинна включати регулярний моніторинг технічного стану локомотивних ТЕД, а також пошук несправностей, пошкоджень, визначення ступеня небезпеки дефектів і оцінку залишкового ресурсу обладнання [1, 2]. Тому до актуальних завдань для залізниці належить проведення діагностики технічного стану ТЕД та локомотива загалом.

Несправності підшипників у ТЕД становлять близько 40–50 % всіх несправностей двигунів [2, 4]. Підшипники двигунів, як правило, схильні до неідеальних умов, таких як перевантаження, перекіс, електричне розмиття і недостатня кількість мастила [5].

Багато методів було використано для діагностики несправностей підшипників кочення і може бути класифіковані залежно від типу виміру. Це може бути, наприклад, вібрація, температура [8] або акустичні виміри [9]. Вимірювання вібрації – найбільш широко використовуваний та ефективний спосіб виявлення несправностей підшипників кочення, але не дає чіткої вказівки на несправності при низькій швидкості. Вібрація може бути зафіксована з інших механічних частин, що призводить до помилкових спрацьовувань. Крім того, оскільки сигнали вібрації відносяться до всіх механічних елемен-

тів, вони допускають лише виявлення несправностей, а не їхню діагностику. Щоб підвищити надійність діагностики несправностей, особливо для критичних областей застосування, крім вібрації, сигнал якоря може використовуватися як інший індикатор несправності [10]. Показано, що він є ефективним індикатором несправності підшипника кочення, особливо при низьких частотах обертання якоря двигуна [11, 12]. Більше того, датчики струму не обов'язково збільшують вартість системи, оскільки вони є частиною ланцюгів захисту живлення в таких системах [13]. Таким чином, комбіноване використання сигналів як вібрації, так і струму забезпечить надійнішу систему виявлення та діагностики несправностей без значного підвищення вартості.

Досвід експлуатації електровозів показує, що вентиляція ТЕД не завжди забезпечує необхідну витрату повітря. Це призводить до інтенсивного теплового старіння ізоляції обмоток ТЕД. Закриття вихідних отворів електричної машини у зимовий період експлуатації ще більше збільшує швидкість теплового старіння обмоток, що призводить до різкого зниження надійності тягових машин.

Знижений ресурс ізоляційних конструкцій є основною причиною відмов ТЕД електровозів постійного струму. Таким чином, розробка нових методик, технологій та засобів визначення стану технічного стану тягових машин та підвищення їх ресурсу є актуальним завданням.

Метою роботи є розробка методики та засобів для підвищення надійності тягових електричних машин електровозів постійного струму.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати стан надійності тягових машин електровозів постійного струму з визначенням найбільш шкідливих вузлів ТЕД.

2. Визначити вплив експлуатаційних впливів на пошкодження ізоляції ТЕД електровозів;

3. Уточнити механізм процесу зниження діелектричних властивостей ізоляційних конструкцій ТЕД електропоїздів;

4. Запропонувати методику та засоби контролю технічного стану ТЕД, стану ізоляції та підшипників;

5. Визначити техніко-економічну ефективність пропозицій.

Методи дослідження**.** У теоретичній частині роботи використано такі методи: теорія надійності та статистики, теорія нагрівання та охолодження твердого тіла, оцінки техніко-економічної ефективності результатів досліджень.

Об'єкт дослідження**:** процеси експлуатації, технічного обслуговування та ремонту ТЕД електровозів постійного струму.

Предметом дослідження є розробка заходів з підвищення надійності роботи та ресурсу ТЕД електровозів.

Практична значущість роботи. Запропоновані методи моніторингу та прогнозування технічного стану ТЕД дозволять підвищити надійність роботи підшипників кочення та збільшити ресурс роботи ізоляції. Обґрунтовано джерело техніко-економічного ефекту від впровадження.

В ході підготовки та виконання роботи автором була використана інформація, у тому числі текст, алгоритми, методики проведення аналізу, досліджень, визначення певних характеристик, параметрів та вихідних даних, розрахунків тощо, які міститься у джерелах [1-14], наведених у списку використаних джерел, а також інформація, отримана в результаті консультування з керівником роботи, науковими, науково-педагогічними працівниками та іншими особами, яка є неопублікованими авторськими напрацюваннями (найсучасніша інформація дослідницького, інноваційного характеру), дозволеними для використання автору цієї роботи виключно при виконанні тільки цієї роботи. Результатами роботи автора є пропозиції з підвищення ресурсу ТЕД електровозів постійного струму.

## Висновки

1. Виконано аналіз чинників, що знижують надійність ТЕД електровозів постійного струму, та запропонована система моніторингу технічного стану їх підшипників в експлуатації. Найбільш інформативними для системи моніторингу діагностичними сигналами є спектр вібрації та струми ТЕД.

2. Результати аналізу надійності електровозів постійного струму показують, що на тягові електричні машини припадає близько половини відмов. Дві треті відмови ТЕД обумовлені ушкодженням ізоляційних конструкцій. Низька надійність ізоляції ТЕД викликана зниженням механічної та електричної міцності через електричний, тепловий та механічний старіння з різким зниженням пробивної напруги через перезволоження.

3. Стан ізоляції тягових машин в експлуатації, обумовлений впливом температури, відносної та абсолютної вологості навколишнього повітря на надійність ізоляційних конструкції. Механізм зниженої надійності ізоляції, в зимовий період експлуатації, викликаний її крихкістю через різке зниження вологи у навколишньому середовищі.

4. Для підвищення ресурсу ТЕД електровозів постійного струму необхідні: - введення системи температурного контролю, що забезпечує виявлення перегрітих ТЕД із встановленням причин їх перегріву (нестача охолоджуючого повітря через порушення в системі вентиляції, істотної відмінності в струмовому навантаженні) і керувати швидкістю теплового старіння ізоляції; у зимовий період експлуатації; контролювати величину зволоженості (електричної міцності) з наступною калориферною або струмовою сушкою перезволожених ТЕД ресурсозберігаючим імпульсно-переривчастим методом.

5. Запропоновані технологія моніторингу технічного стану та пристрій контролю зволоженості ізоляції ТЕМ електровозів постійного струму дозволяє підвищити ресурс тягових машин на 30-40 % та отримати річний економічний ефект понад 178 тис. грн на один електровоз типу ВЛ10.

Список використаних джерел


1 Позднякова Л.О., Котик В.В., Котик В.О., Куделя В.І Методичні рекомендації до розрахунку економічної частини дипломного проекту для студентів механіко-енергетичного факультету усіх форм навчання. – Харків.: УкрДУЗТ, 2020. -19 с.

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

3 Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро- та дизель-поїздів): Наказ № Ц-85/25 Ком.т. від 01.05.2023 р. – Укрзалізниця, 2023.– 18 с.

4 Тартаковский Э.Д. Основы автоматизации технического обслуживания, диагностирования и ремонта локомотивов: Учебное пособие. ч.2. / Э.Д.Тартаковский. -Харьков: ХИИТ, 1991. - 95 с.

5 Яковенко В.Г., Мирошниченко Ю.В., Моцна І.В., Жердєв М.Д. Методичні вказівки до розрахунку економічної частини дипломного проекту. для студентів спеціальності «Залізничний транспорт» за освітньою програмою «Локомотиви та локомотивне господарство» усіх форм навчання. –Харків.: УкрДУЗТ, 2020. - 46 с.

6 Данилевський, В. Автоматизований випробувальний комплекс тягових електричних машин залізничного рухомого складу на статичних перетворювачах / В.І. Данилевський// Локомотив-інформ. 2009. - № 8. - С. 10-11.

7 Трубіцин, Н. Бездротові технології вимірювання для діагностування вузлів локомотива /Н.В. Трубицин, О.М. Телегін, В.Ю. Теттер// Локомотив-інформ. 2009. - № 6. - С. 28-31.