

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра експлуатації та ремонту рухомого складу

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ДІАГНОСТУВАННЯ ТЯГОВИХ  
ЕЛЕКТРИЧНИХ ДВИГУНІВ ПАСАЖИРСЬКИХ ТЕПЛОВОЗІВ

Пояснювальна записка і розрахунки  
до магістерської кваліфікаційної роботи

МКРМЕ 530.13.01 ПЗ

Розробив студент групи 211-ЛЛГ-Д24  
спеціальності 273 Залізничний транспорт  
Освітня програма: «Локомотиви та локомотивне  
господарство»

\_\_\_\_\_ Євгеній ВИННИК  
(підпис)

Керівник:

доцент кафедри ЕРРС, канд. техн. наук  
Андрій СУМЦОВ

Рецензент:

доцент кафедри ЕРРС, канд. техн. наук  
Сергій МИХАЛКІВ

# 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

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

## **ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Виннику Євгенію Вікторовичу

1 Тема «Удосконалення технології діагностування тягових електричних двигунів пасажирських тепловозів»

Керівник проекту Сумцов Андрій Леонідович, к. т. н., доцент

Затверджені розпорядженням по механіко-енергетичному факультету від «06» жовтня 2025 року № 49

2 Строк подання студентом закінченої роботи «29» грудня 2025 р.

3 Вихідні дані до роботи Наказ Укрзалізниці №429-ЦЗ від 15.11.2015 р. «Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро- та дизель-поїздів)», «Конструкція тягового електричного двигуна ЕД-121»

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань які потрібно розробити) 1 Аналіз відмов ТЕД локомотивів та особливості технології ТО й ПР. 2 Особливості конструкції ТЕД ЕД-121. 3 Визначення механічних віброзбурювальних сил в системі вал-підшипник. 4 Обґрунтування використання спектрального аналізу у вібраційній діагностиці роторного обладнання. Визначення економічної ефективності впровадження віброаналізатора для ТЕД тепловозів ТЕП70. Список використаних джерел

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Загальна характеристика роботи. Діаграми відмов тягових електричних двигунів тепловозів ТЕП70. Зв'язок параметрів вихідних процесів і структурних параметрів підшипникового вузла. Обрання довжини вібраційних реалізацій для подальших досліджень. Розрахунок частот перекочування елементів підшипника кочення ТЕД ЕД-121. Реалізація спектральних методів

вібродіагностування підшипників кочення ТЕД. Визначення технічного стану підшипника кочення ТЕД. Висновки

6 Консультанти окремих розділів

Розділ проекту	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Техніко-економічне обґрунтування	Калабухін Ю. Є., докт. техн. наук		

7 Дата видачі завдання «29» вересня 2025 року

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1. Збирання та обробка статистичної інформації	01.10-09.10.2025	Виконано
2. Розробка основних розділів пояснювальної записки	10.10-19.10.2025	Виконано
3. Розробка та написання проектної частини роботи	20.10-30.10.2025	Виконано
4. Розробка графічного матеріалу роботи	01.11-11.11.2025	Виконано
5. Розробка дослідного розділу	12.11-19.11.2025	Виконано
6. Розробка економічної частини роботи. Підпис економічного розділу у консультанта	20.11-24.11.2025	Виконано
7. Комплектування пояснювальної записки	25.11-30.11.2025	Виконано
8. Нормоконтроль	01.12-20.12.2025	Виконано

Студент \_\_\_\_\_ Є. В. Винник

Керівник \_\_\_\_\_ А. Л. Сумцов

## Зміст

Вступ	6
1 Аналіз відмов ТЕД локомотивів та особливості технології ТО й ПР	8
1.1 Аналіз технічного стану парку ТРС	8
1.2 Упровадження методів технічного діагностування для вузлів та агрегатів рухомого складу	10
1.3 Особливості діагностування вузлів колісно-моторного блоку тягового рухомого складу	15
1.3.1 Тепловізійна діагностика обладнання локомотивів	23
1.3.2 Діагностика за струмом електродвигунів	24
1.3.3 Властивості та обмеження бортових систем діагностування	25
2 Особливості конструкції ТЕД ЕД-121	31
3 Визначення механічних віброзбудовувальних сил в системі вал-підшипник	48
3.1 Визначення електромагнітних віброзбудовувальних сил при пошкодженнях підшипникового вузла	54
4 Обґрунтування використання спектрального аналізу у вібраційній діагностиці роторного обладнання	68
4.1 Визначення діагностичних ознак несправностей на спектрах вібрації підшипника кочення НО-323330ЕМ	80
5 Визначення економічної ефективності впровадження віброаналізатора для ТЕД тепловозів ТЕП70	89
5.1 Коротка характеристика запропонованого заходу	89
5.2 Методика розрахунку економічного ефекту	89

					МКРМЕ.530.13.04 ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат.	Удосконалення технології діагностування тягових електричних двигунів пасажирських тепловозів	Лит.	Лист	Листів
Розробив	Винник							
Перевірив	Сумцов						4	101
Рецензент	Михалків					УкрДУЗТ		
Н. Контр.	Анацький							
Затвердив	Пузир							

5.3 Вихідні дані, що необхідні для розрахунку економічного ефекту	91
Висновки	99
Список використаних джерел	100

## АНОТАЦІЯ

Дана магістерська кваліфікаційна робота містить 10 слайдів презентації, 101 аркуш пояснювальної записки формату А4, що включає 20 рисунків, 7 таблиць, 14 літературних джерел.

Ключові слова: ВІБРАЦІЯ, ДІАГНОСТУВАННЯ, ПІДШИПНИК, СПЕКТР, ТЕПЛОВИЗ, ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ ДВИГУН.

Об'єкт дослідження – тяговий електродвигун тепловоза ТЕП70.

Мета магістерської роботи полягає в підвищенні ефективності технології діагностування тягових електродвигунів тепловоза ТЕП70.

У магістерській роботі розглядаються причини відмов тепловозів ТЕП70 і пропонується впровадження удосконаленої технології вібродіагностування підшипникових вузлів тягових електродвигунів. Установлено, що аналіз прямого спектра вібросигналу має обмежену інформативність для ранньої діагностики, оскільки корисні гармоніки маскуються шумами та сигналами від інших вузлів. Запропоновано впроваджувати метод спектра обвідної вібрації, який дозволить виділити модулюючий сигнал із резонансних коливань та забезпечить чітку ідентифікацію дефектів тіл кочення, нівелюючи вплив випадкових флуктуацій та ковзання.

За результатами підрахована економічна ефективність від упровадження запропонованого заходу у технологію ремонту тягових електричних двигунів.

## ABSTRACT

This master's qualification work includes 10 presentation slides, 101 sheets of explanatory notes in A4 format, including 20 figures, 7 tables, 14 references.

Keywords: BEARING, DIAGNOSTICS, DIESEL LOCOMOTIVE, SPECTRUM, TRACTION MOTOR, VIBRATION.

The object of the study is the traction motor of TEP70 diesel locomotive.

The purpose of the master's thesis is to improve the efficiency of the diagnostic technology for traction electric motors of the TEP70 diesel locomotive.

The master's thesis examines the causes of TEP70 diesel locomotive failures and proposes the implementation of an improved vibration diagnostics technology for traction motor bearing units. It has been established that the analysis of the direct vibration signal spectrum has limited informativeness for early diagnosis, as useful harmonics are masked by noise and signals from other assemblies. The implementation of the vibration envelope spectrum method is proposed, which allows extracting the modulating signal from resonant oscillations and ensures clear identification of rolling element defects, neutralizing the impact of random fluctuations and slippage.

Based on the results, the economic efficiency of implementing the proposed measure into the repair technology of traction electric motors has been calculated.

## Вступ

Сучасна стратегія розвитку АТ «Укрзалізниця» базується на докорінній трансформації технічної бази компанії. Враховуючи критичний знос наявного парку, пріоритетом визначено перехід до експлуатації енергоефективного рухомого складу. Вирішальним кроком у цьому напрямку стало укладання у листопаді 2025 року довгострокового контракту з французьким виробником Alstom на постачання 55 двосистемних електровозів. Окрім цього, інвестиційна програма передбачає оновлення тепловозного сегмента за підтримки партнерів зі США. Впровадження сучасної тяги дозволить не лише оновити основні фонди, а й досягти значного економічного ефекту шляхом зменшення витрат на технічне обслуговування та паливно-енергетичні ресурси, що є ключовим показником ефективності для залізничної галузі на найближче десятиліття [1].

Гарантування безпеки перевезень безпосередньо залежить від експлуатаційної надійності локомотивного парку. У цьому контексті критичного значення набуває жорсткий контроль технічного стану ключових агрегатів, насамперед – тягових електродвигунів (ТЕД). Сучасна стратегія технічного обслуговування та поточних ремонтів вимагає обов'язкової інтеграції засобів інструментального контролю. Пріоритетним є застосування методів вібраційної діагностики, які дозволяють ідентифікувати приховані дефекти механічних вузлів ще на стадії їх зародження. Такий підхід дає змогу уникнути раптових відмов, прогнозувати розвиток несправностей та планувати заміну вузлів у плановому порядку, мінімізуючи ризики аварійних ситуацій [2].

*Мета дослідження* - підвищення ефективності технології діагностування тягових електродвигунів тепловоза ТЕП70.

*Об'єкт дослідження* – тяговий електродвигун тепловоза ТЕП70.

*Предмет дослідження* - технологія діагностування тягового електродвигуна тепловоза ТEP70.

*У роботі поставлені такі завдання:*

- 1) Провести аналіз відмов ТЕД пасажирських тепловозів.
- 2) Дослідити спектральний склад вібрації у широкому діапазоні частот для виявлення гармонічних складових, пов'язаних з перекочуванням елементів підшипників кочення.
- 3) Застосувати метод амплітудної демодуляції та аналізу спектра обвідної вібрації для визначення видів пошкоджень елементів підшипників кочення.
- 4) Здійснити техніко-економічне обґрунтування впровадження засобів вібродіагностування ТЕД тепловозів ТEP70.

## Висновки

1) Аналіз результатів відмов тепловозів ТЕП70 упродовж відповідного періоду продемонстрував, що більшість відмов спричинені пошкодженням ізоляції та моторно-якірних підшипників ТЕД, що доводить актуальність обраної теми.

2) Установлено, що дослідження спектрального складу вібросигналу виключно у широкому частотному діапазоні (прямий спектр) має обмежену інформативність для ранньої діагностики підшипникових вузлів. Це зумовлено тим, що інформативні гармонічні складові, пов'язані з кінематикою елементів кочення, мають низьку енергію і маскуються більш потужними низькочастотними детермінованими сигналами від інших вузлів агрегату та фоновим шумом.

3) Доведено ефективність застосування спектра обвідної вібрації для ідентифікації дефектів. Використання цієї методики дозволило виділити модулюючий сигнал із високочастотних резонансних коливань конструкції та чітко візуалізувати дискретні складові, що відповідають розрахунковим частотам перекошування тіл кочення, нівелюючи вплив випадкових флуктуацій та ковзання.

4) Економічний ефект за розрахунковий період становить 3572088 грн, одноразові витрати на придбання комплексу з вібродіагностування окупаються на другому році.

## Список використаних джерел

1 Угода з Alstom на 55 локомотивів дозволить УЗ модернізувати вкрай застарілий парк [Електронний ресурс] // Міністерство розвитку громад та територій України. — 2025. — 17 листопада. — Режим доступу: <https://mindev.gov.ua/news/uhoda-z-alstom-na-55-lokomotyviv-profinansovana-mizhnarodnymy-partneramy-dozvolyt-uz-modernizuvaty-vkrai-zastarilyi-park-ta-vtrymaty-obsiah-y-vantazhnykh-perevezen>

2 Тартаковський Е. Д., Калабухін Ю. С., Фалендиш А. П. Удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту тягового рухомого складу: монографія. Харків: УкрДУЗТ, 2020. 324 с.

3 Крашенінін О. С., Шапатіна О. О., Васьковський А. А., Миколаєнко Д. О., Шпортак М. В. Моделювання надійності тягового рухомого складу впродовж життєвого циклу. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2025. Вип. 211. С. 206 — 214.

4 Randall R. B. *Vibration-Based Condition Monitoring: Industrial, Automotive and Aerospace Applications*. 2nd Edition. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2021. 608 p.

5 *The Virgin Pendolino constructed by Alstom passes the one million miles mark*. Alstom Press Release. 2008. URL: <https://www.alstom.com/press-releases-news/2008/1/the-virgin-pendolino-constructed-by-alstom-passes-the-one-million-miles-mark>.

6 *Alstom's 'star trek' scanner that transformed Virgin fleet maintenance*. Rail Technology Magazine. 2016. URL: <https://www.railtechnologymagazine.com/Rail-Industry-Focus-/alstoms-star-trek-scanner-that-transformed-virgin-fleet-maintenance>.

7 *Alstom TrainScanner: Product Sheet*. Alstom Transport. 2022. URL: [https://www.alstom.com/sites/alstom.com/files/2022/05/02/Alstom\\_ProductSheet\\_HealthHub\\_TrainScanner.pdf](https://www.alstom.com/sites/alstom.com/files/2022/05/02/Alstom_ProductSheet_HealthHub_TrainScanner.pdf).

8 Worth A., Escartin-Claveria B. *Alstom's approach to railway condition monitoring*. Derby: Alstom Transport, 2016.

9 Басов К. Г. Тягові електричні машини рухомого складу: підручник. Київ: Транспорт України, 2005. 424 с.

10 Вольченко М. А. Тягові електричні машини: навчальний посібник. Дніпро: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2011. 257 с.

11 ДСТУ ISO 13373-1:2008. Контроль статну та діагностика машин. Вібраційний контроль стану. Частина 1: Загальні методи. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 34 с.

12 Лашко А. Стратегія оновлення [Текст] / А. Лашко // «Магістраль». — всеукр. Транспорт. Газ. — 2015. — 2 — 8 груд. (№ 93). — С. 5.

13 Гемке О. Р. Несправності електричних машин. Київ: Техніка, 1989. 304 с.

14 Dyer D. D. Detection of rolling element bearing damage by statistical vibration analysis [Text] / D. D. Dyer, R. M. Stewart // *Journal of Mechanical Design*. — 1978. — Vol. 100. — Issue 2. — P. 229 — 235.