

Український державний університет залізничного транспорту

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

ДІАГНОСТУВАННЯ ТЯГОВИХ ДВИГУНІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ  
ЕЛЕКТРОРУХОМОГО СКЛАДУ

Пояснювальна записка і розрахунки  
до кваліфікаційної роботи магістра

КРМ.273.14.08.26.01 ПЗ

Розробив: здобувач вищої освіти  
групи 214-ЕЕ-Д24  
спеціальності 273 «Залізничний транспорт»  
освітньої програми «Електровози та  
електропоїзди»  
(роботу виконано самостійно, відповідно  
до принципів академічної доброчесності)

\_\_\_\_\_ Артур МОСКВІТІН

(підпис)

Керівник: к.т.н., доцент, доцент кафедри  
Дмитро СУШКО

Рецензент: професор кафедри ЕРРС,  
д-р техн. наук  
Юрій ДАЦУН

Харків – 2026 р.

# Український державний університет залізничного транспорту

**Факультет:** механіко-енергетичний

**Кафедра:** електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

**Рівень вищої освіти:** другий (магістерський)

**Спеціальність:** 273 «Залізничний транспорт»

**Освітня програма:** «Електровози та електропоїзди»

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри,  
професор, д-р техн. наук

М.М. Бабаєв

(підпис)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2026 р.

## ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Москвітіну Артуру Вікторовичу

1 Тема «Діагностування тягових двигунів постійного струму електрорухомого складу»

керівник Сушко Дмитро Леонідович, доцент, канд. техн. наук,  
затверджені розпорядженням по механіко-енергетичному факультету  
від «24» лютого 2025 року № 14.

2 Строк подання студентом закінченої роботи «08» січня 2026 року.

3 Вихідні дані

Якір тягового двигун ТЛ-2К1: довжина якоря,  $l_a = 430$  мм; кількість пазів,  $z = 75$ ; висота пазового клина,  $h_{п.кл} = 6$  мм; ширина паза,  $b = 12,7$  мм; висота паза,  $h = 47,5$  мм; діелектрична проникність  $\epsilon$  та провідність  $\gamma$  відповідних шарів ізоляції якоря.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Діагностування тягових двигунів постійного струму електрорухомого складу. Мета та завдання на кваліфікаційну роботу

2 Аналіз ізоляційної конструкції тягового двигуна типу ТЛ2-К1

3 Аналіз методів діагностування ізоляційної конструкції ТЕД

4 Моделювання діагностичних параметрів якірної ізоляції тягового двигуна ТЛ-2К1

5 Визначення економічного ефекту від діагностування тягових двигунів постійного струму електрорухомого складу

5 Перелік ілюстративного матеріалу

1. Титульний лист – один слайд;

2. Діагностування тягових двигунів постійного струму електрорухомого складу. Мета роботи. Задачі – один слайд;
3. Поздовжній переріз тягового двигуна ТЛ2-К1 – один слайд;
4. Структура якірної ізоляції тягового двигуна ТЛ-2К1 – один слайд;
5. Розрахункові залежності діагностичних параметрів для багатошарової ізоляційної конструкції – один слайд;
6. Залежність діагностичних параметрів від температури – один слайд;
7. Дослідження діагностичних параметрів при забрудненні та зволоженні поверхневого шару ізоляції – один слайд;
8. Досліджування діагностичних параметрів при розтріскуванні ізоляції – один слайд;
9. Діагностичні ознаки дефектних станів якірної ізоляції – один слайд;
10. Висновки по роботі – один слайд.

#### 6 Консультанти окремих розділів

Розділ	Прізвище, ініціали, посада та науковий ступінь консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Економічний розділ	Уткіна Ю.М., доцент, к.е.н.		

7 Дата видачі завдання «02» жовтня 2025 року.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів	Строк виконання етапів	Примітка
1 Діагностування тягових двигунів постійного струму електрорухомого складу. Мета та завдання на кваліфікаційну роботу	02.10.2025	
2 Аналіз ізоляційної конструкції тягового двигуна типу ТЛ2-К1	01.11.2025	
3 Аналіз методів діагностування ізоляційної конструкції ТЕД	21.11.2025	
4 Моделювання діагностичних параметрів якірної ізоляції тягового двигуна ТЛ-2К1	16.12.2025	
5 Визначення економічного ефекту від діагностування тягових двигунів постійного струму електрорухомого складу	02.01.2026	

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_ Артур МОСКВІТІН  
(підпис)

Керівник \_\_\_\_\_ Дмитро СУШКО  
(підпис)

### **Анотація**

Дана кваліфікаційна робота включає в себе 10 слайдів презентації, 89 аркушів пояснювальної записки формату А4, що включає 21 рисунок, 17 таблиць, 11 джерел інформації.

Ключові слова: ізоляція, діагностика, тяговий двигун постійного струму.

Об'єктом дослідження є ізоляційна конструкція тягових двигунів постійного струму електрорухомого складу.

Метою дослідження є обґрунтування та розроблення підходів до діагностування тягових двигунів постійного струму електрорухомого складу з акцентом на оцінювання технічного стану їх ізоляційної конструкції.

У роботі виконано аналіз умов експлуатації тягових електродвигунів постійного струму, який показав, що в більшості випадків вони не відповідають встановленим нормативним вимогам і, як правило, не коригуються належним чином після проведення ремонтних робіт. Це призводить до підвищення інтенсивності відмов електродвигунів у процесі експлуатації та зниження їх експлуатаційної надійності. Встановлено, що переважна частка пошкоджень пов'язана з міжвитковими та короткими замиканнями в обмотці якоря, основною причиною яких є погіршення технічного стану ізоляційної конструкції. На основі результатів математичного моделювання дефектів ізоляції побудовано графічні залежності діагностичних показників та проаналізовано фізичні процеси, що відбуваються в ізоляційній системі. Визначено інформативність струму витоку, тангенса кута діелектричних втрат, ємності ізоляції та коефіцієнта абсорбції залежно від типу пошкоджень. Отримані результати можуть бути використані для підвищення ефективності діагностики та надійності тягових електродвигунів у реальних умовах експлуатації.

### **Annotation**

This qualifying work includes 10 presentation slides, 89 sheets explanatory note A4, including 21 figures, 17 tables, 11 sources informations.

Keywords: insulation, diagnostics, DC traction motor.

The object of the study is the insulation structure of DC traction motors of electric rolling stock.

The aim of the study is to substantiate and develop approaches to the diagnostics of DC traction motors of electric rolling stock, with a focus on assessing the technical condition of their insulation structure.

An analysis of the operating conditions of DC traction motors was carried out, which showed that in most cases they do not comply with established regulatory requirements and, as a rule, are not properly adjusted after repair works. This leads to an increased failure rate of traction motors during operation and a decrease in their operational reliability. It was established that the predominant share of damage is associated with inter-turn faults and short circuits in the armature winding, the main cause of which is the deterioration of the technical condition of the insulation structure. Based on the results of mathematical modeling of insulation defects, graphical dependences of diagnostic indicators were constructed and the physical processes occurring in the insulation system were analyzed. The informativeness of leakage current, dielectric loss tangent, insulation capacitance, and absorption coefficient was determined depending on the type of damage. The obtained results can be used to improve the effectiveness of diagnostics and the reliability of DC traction motors under real operating conditions.

## Зміст

Вступ	7
1 Діагностування тягових двигунів постійного струму електрорухомого складу. Мета та завдання на кваліфікаційну роботу	9
1.1 Ізоляційна конструкція тягового двигуна, як об'єкт технічної діагностики	9
1.2 Тяговий двигун ТЛ-2К1, основні конструктивні і технічні параметри	12
1.3 Мета кваліфікаційної роботи та постановка завдань	16
2 Аналіз ізоляційної конструкції тягового двигуна типу ТЛ2-К1	18
2.1 Фактори та чинники, які впливають на стан ізоляції ТЕД	18
2.2 Конструкція та матеріали якірної ізоляції тягового двигуна ТЛ-2К1	24
3 Аналіз методів діагностування ізоляційної конструкції ТЕД	28
3.1 Контроль ізоляції за значенням опору	28
3.2 Контроль ізоляції по величині коефіцієнта абсорбції	30
3.3 Контроль ізоляції за ємнісними характеристиками	31
3.4 Контроль ізоляції по величині тангенса кута діелектричних втрат	32
3.5 Залежності для діагностичних параметрів багатошарових ізоляційних конструкцій	35
3.6 Перспективи розвитку методів діагностування ізоляційної конструкції ТЕД	40
4 Моделювання діагностичних параметрів якірної ізоляції тягового двигуна ТЛ-2К1	42
4.1 Дослідження діагностичних параметрів в температурній залежності ізоляції двигуна ТЛ-2К1	44
4.2 Дослідження діагностичних параметрів в дефектних станах якірної ізоляції тягового двигуна ТЛ-2К1	54

					КРМ.273.14.08.26.01 ПЗ			
Зм	Лист	№ документа	Підп	Дата	Діагностування тягових двигунів постійного струму електрорухомого складу	Літ	Лист	Листів
		Москвітін А.В.					5	89
		Сушко Д.Л.				УкрДУЗТ		
		Одегов М.М.						
		Бабасєв М.М.						

5	Визначення економічного ефекту від діагностування тягових двигунів постійного струму електрорухомого складу	64
5.1	Загальна характеристика заходу	64
5.2	Методика розрахунку економічного ефекту	65
5.3	Розрахунок економії експлуатаційних витрат	68
5.4	Розрахунок капітальних витрат	72
5.5	Розрахунок економічного ефекту	74
	Висновки	75
	Список використаних джерел	77
	Додаток А Ілюстративний матеріал до кваліфікаційної роботи	79

					КРМ.273.14.08.26.01 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вступ

Залізничний транспорт України та інших країн Європи залишається однією з ключових складових національної економіки, забезпечуючи масові перевезення пасажирів і вантажів у широкому діапазоні режимів експлуатації. Надійність електрорухомого складу (ЕРС) безпосередньо визначає безпеку руху, ритмічність перевезень, енергоефективність та витрати на технічне обслуговування і ремонт. У структурі тягового приводу електрорухомого складу важливе місце займають тягові двигуни постійного струму (ТЕД), які й досі широко застосовуються на значній частині парку локомотивів та електропоїздів. Практика експлуатації демонструє, що саме технічний стан ізоляційної конструкції ТЕД часто визначає їх фактичну працездатність, ресурс і ймовірність аварійних відмов.

Традиційна система технічного обслуговування тягових двигунів значною мірою базується на планово-попереджувальних ремонтах і регламентних випробуваннях ізоляції під час деповського ремонту. Проте сучасні вимоги до безпеки та економічності експлуатації стимулюють перехід до технічного обслуговування за фактичним станом, коли рішення щодо ремонту приймаються на підставі об'єктивних діагностичних даних. Такий підхід дозволяє зменшити ризик раптових відмов, підвищити коефіцієнт готовності ЕРС та оптимізувати витрати на ремонт.

У процесі експлуатації ізоляційні системи електрообладнання локомотивів зазнають впливу широкого спектра зовнішніх і внутрішніх факторів, серед яких суттєву роль відіграють температурні коливання, електричні перенапруги, механічні вібрації, а також дія агресивних хімічних середовищ. Найбільш інтенсивно поєднання цих впливів проявляється в тягових електродвигунах, де безпосередньо реалізується процес перетворення електричної енергії у механічну. Досвід експлуатації свідчить, що значна частка відмов електричних машин пов'язана з порушенням цілісності ізоляції якоря [1,2]. Усунення наслідків таких пошкоджень характеризується високою трудомісткістю та значними

матеріальними витратами і, як правило, потребує виконання капітального ремонту в заводських умовах. У зв'язку з цим показники надійності, експлуатаційної готовності локомотивного парку значною мірою визначаються рівнем якості ізоляційної системи тягових електродвигунів.

У ході тривалої експлуатації під впливом зволоження, підвищених температур, змінних механічних навантажень та електричних перенапруг відбувається поступова деградація ізоляційної системи, що проявляється у погіршенні її фізичних і хімічних властивостей. З метою раннього виявлення дефектів, що зароджуються і розвиваються, а також для запобігання раптовим аварійним відмовам, ізоляційні характеристики в процесі експлуатації підлягають регулярному контролю та випробуванню ізоляції, а за результатами оцінювання її технічного стану приймається рішення щодо проведення відновлювальних робіт [3,4].

Водночас реалізація діагностування ізоляційної конструкції ТЕД ускладнюється рядом факторів: складністю доступу до вузлів двигуна без розбирання, різноманітністю типів дефектів, впливом експлуатаційних умов на результати вимірювань, необхідністю інтерпретації параметрів у сукупності, а також потребою у стандартизованих критеріях оцінки стану.

Актуальність теми магістерської роботи зумовлена тим, що ізоляційні пошкодження залишаються однією з найнебезпечніших категорій відмов тягових електричних машин. Вони мають тенденцію до прихованого розвитку на ранніх стадіях, а момент переходу деградації в аварійну фазу часто настає раптово. Крім того, значна частина парку ЕРС експлуатується у складних умовах, із нерівномірними навантаженнями та частими пусками/гальмуваннями, що підвищує інтенсивність теплового старіння та електричних перенапруг. Тому дана магістерська робота направлена удосконалення методів і засобів діагностування ізоляційної конструкції тягових двигунів постійного струму, що є важливим завданням, яке має прикладне значення для локомотивних депо, ремонтних підприємств і служби експлуатації.

## Список використаних джерел

1. Діагностування тягових електродвигунів за нерівномірністю обертання якоря / Б. Є. Боднар, О. Б. Очкасов, Д. В. Черняєв, Я. І. Шевченко // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2013. – №3(45). – С. 13–21.
2. До оцінки експлуатаційної надійності тягових двигунів постійного струму / Д.Л. Сушко, О.В. Устенко / Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті.–Х.: УкрДАЗТ, – 2009, №4 с. 88-92.
3. Хамевко О. М. Аналіз методів контролю і діагностичних параметрів ізоляції тягових двигунів постійного струму / О. М. Хамевко, Д. Л. Сушко // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. - 2014. - Вип. 147. - С. 152-155.
4. Сінчук, О.М. До проблеми побудови комплексної, безперервної системи діагностики тягових електричних машин рухомого складу [Текст] /О.М. Сінчук, Д.Л. Сушко // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2003. - № 9(67). – С. 25-28.
5. Тягові електродвигуни вантажних електровозів / raillook.com. – Режим доступу: <https://raillook.com/materialy/transport/jeleznodorojniy/tyagoviy-podvijnoi-sostav/tyagovi-elektrodviguni-vantazhnih-elektrovoziv-docx/>. – (Дата звернення: 10.10.2023).
6. Положення про планово-попереджувальну систему ремонту і технічного обслуговування тягового та моторвагонного рухомого складу (електровозів, тепловозів, електро- та дизельпоїздів): затв. Наказом Укрзалізниці 429-Ц/ОД від 15.10.2015 р. – К.: Укрзалізниця, 2015. – 45 с.
7. Тягові електричні машини електрорухомого складу: Навч. посібник для вузів / В. М. Безрученко, В. К. Варченко, В. В. Чумак . – Д. : Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, 2003. – 252 с.

8. ЦТ-0038 - Правила технічного обслуговування та поточного ремонту електровозів змінного струму ВЛ60к ВЛ60п, ВЛ80к, ВЛ80с, ВЛ80т, ВЛ82м, затверджені наказом Укрзалізниці від 30.01.2002 № 40-Ц.
9. Розрахунок тягового двигуна : методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни " Електричні машини " [Текст] / укладачі : доценти Н. П. Карпенко, М. Г. Давиденко, О. М. Ананьєва, Д. Л. Сушко, професор М. М. Бабаєв; каф. " Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки ". - Х. : УкрДУЗТ, 2018. - 38 с.
10. Акімов, О.І., Сушко Д.Л. Техніка високих напруг. Ізоляція та перенапруги в пристроях електропостачання і електричної тяги залізничного транспорту: навч. посібник з грифом МОН. – Х.: УкрДАЗТ, 2009. – 217 с.
11. Визначення економічної ефективності заходів науково-технічного прогресу в локомотивному господарстві : завдання та методичні вказівки до курсової роботи з дисципліни "Економіка і організація локомотивного господарства" / укладачі : Ю.Є. Калабухін, О.В. Шраменко, М.В. Кондратюк, М.В. Корінь, М.О. Устенко ; кафедра економіки та управління виробничим і комерційним бізнесом. - Харків : УкрДУЗТ, 2015. - 50 с.