

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Проректор з наукової роботи  
Національного транспортного  
університету



**Олена СЛАВІНСЬКА**

«29» квітня 2026 р.

## **ВИСНОВОК**

про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації  
Шостака Ярослава Віталійовича  
на тему: «Удосконалення методів мінімізації структурної вібрації вагонів  
електропоїздів за рахунок підвищення точності балансування роторів  
електричних машин», що подається на здобуття ступеня доктор філософії за  
спеціальністю 273 «Залізничний транспорт»

Висновок про наукову новизну, теоретичне та практичне значення результатів дисертації створений після публічної презентації результатів дисертаційної роботи здобувачем Шостаком Я. В. та її обговорення на розширеному засіданні кафедри електромеханіки та рухомого складу залізниць Навчально-наукового Київського інституту залізничного транспорту Національного транспортного університету (протокол №9 від 28 квітня 2026 р.), що реалізує освітньо-наукову програму «Залізничний транспорт» за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт».

### **Актуальність теми**

Забезпечення комфорту та безпеки пасажирів приміських і міжрегіональних електропоїздів вимагає наближати їх характеристики сучасних європейських норм щодо допустимих рівнів віброакустичного навантаження. Визначальним критерієм у цьому контексті є рівень вібрації підлоги вагона. Цей показник формується як зовнішніми факторами (взаємодія системи «колесо-рейка»), так і внутрішніми генераторами структурної вібрації, серед яких домінуючу роль відіграють тягові та допоміжні електричні машини (компресори, фазорозщеплювачі, перетворювачі).

Фундаментальною причиною генерування структурних вібрацій електродвигунами є наявність залишкового дисбалансу роторів електричних машин. Цей дисбаланс формується під впливом комплексу технологічних факторів на етапах виготовлення та капітального ремонту: від похибок механічної обробки та температурних деформацій до нерівномірного розподілу ізоляційного компаунду в масиві обмоток. З огляду на це, ефективним шляхом мінімізації структурних вібрацій є застосування технологічних методів зменшення дисбалансу роторів.

У рамках дисертаційного дослідження методи зменшення вібрацій базуються на комплексному вдосконаленні технології балансування електричних машин і передбачають наступні науково-практичні кроки.

1. Мінімізація технологічного дисбалансу. Передбачає розробку методів контролю рівномірності нанесення та полімеризації ізоляційного компаунду. Це дозволяє суттєво зменшити зміщення центру мас ротора до початку процедури балансування.

2. Підвищення точності ідентифікації параметрів дисбалансу на основі удосконалення методу балансування на балансувальному верстаті. Метод базується на фільтрації хибних сигналів від внутрішніх завад балансувального верстата, пов'язаних з пошкодженнями опірних поверхонь ротора.

Таким чином, актуальність роботи зумовлена необхідністю вирішення важливої науково-практичної задачі – удосконалення методів зниження рівнів структурної вібрації вагонів електропоїздів за рахунок підвищення точності балансування роторів тягових і допоміжних електричних машин. При цьому, на відміну від існуючих підходів, які спрямовані на усунення наслідків дисбалансу роторів, запропоновані методи дозволяють впливати на формування дисбалансу на стадії технологічних процесів ремонту електродвигунів.

### **Зв'язок теми дослідження з планами науково-дослідних робіт**

Тема дисертаційного дослідження «Удосконалення методів мінімізації структурної вібрації вагонів електропоїздів за рахунок підвищення точності балансування роторів електричних машин» відповідає пріоритетним напрямкам державної науково-технічної програми, визначеним у «Національній транспортній стратегії України на період до 2030 року», затвердженій розпорядженням КМ України від 30.05.2018 № 430-р.

Робота узгоджується з актуальними завданнями розвитку транспортної інфраструктури України, сприяючи впровадженню інноваційних технологій перевезення пасажирів залізничним транспортом, відповідно до «Концепції Державної програми реформування залізничного транспорту» та «Стратегії розвитку інфраструктури залізничного транспорту України в умовах розширення транскордонного співробітництва».

Прикладні дослідження за темою дисертації виконано в межах планів науково-дослідних робіт Національного транспортного університету: НДР «Удосконалення технологічного процесу балансування роторів електричних машин», № держреєстрації – 0124U003330.

### **Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків, рекомендацій, які захищаються**

Обґрунтованість та достовірність отриманих в роботі результатів забезпечено та підтверджується наступним:

- методологічною узгодженістю з чинними стандартами та нормативними документами;

- достатнім обсягом надійних вхідних даних для математичного моделювання, зокрема, отриманих експериментальним шляхом;

- процедурою верифікації теоретичних результатів у порівнянні із даними експерименту, в тому числі на натурних зразках в процесі виробництва, зокрема при виконанні технологічних операцій балансування і просочування роторів.

Максимальне розходження теоретичних і експериментальних даних не перевищує 20%.

### **Основні результати дослідження, ступінь їх наукової новизни та значущості.**

В результаті проведених досліджень вирішено науково-практичну задачу – удосконалення методів зниження рівнів структурної вібрації вагонів електропоїздів за рахунок підвищення точності балансування роторів тягових і допоміжних електричних машин. При цьому, на відміну від існуючих підходів, які спрямовані на усунення наслідків дисбалансу роторів, запропоновані методи дозволяють впливати на формування дисбалансу на стадії технологічних процесів ремонту електродвигунів.

За результатами досліджень зроблено наступні загальні висновки.

1. На основі аналізу внутрішніх джерел вібрації вагонів моторвагонного рухомого складу встановлено, що визначальним фактором формування структурних вібрацій є неврівноваженість роторів електричних машин.

При цьому встановлено, що навіть при незначному зміщенні центра мас ротора на величину порядку 0,05–0,15 мм від геометричної осі обертання виникають відцентрові сили, які при частотах обертання 1000–3000 об/хв можуть досягати десятків і сотень ньютонів. Це свідчить про високу чутливість системи «ротор–підвішування–кузов вагона» до порушень балансування.

2. На основі розрахунків параметрів вібрацій електродвигунів моторвагонного рухомого складу при граничних рівнях дисбалансу роторів, відповідно до вимог стандарту ISO 21940, встановлено:

- тягові двигуни та двигуни допоміжного обладнання відносяться до класу точності балансування G 6,3, при цьому залишковий дисбаланс для роторів може становити 200–800 г·мм. В межах допустимого дисбалансу динамічні сили досягають:

- для тягових електродвигунів – до 420 Н при частотах 0–34 Гц;

- для фазорозчеплювачів – до 90 Н при частоті 24 Гц;

- для електромашинних перетворювачів – до 115 Н при частоті 16,7 Гц.

При цьому сумарний вплив декількох джерел може призводити до накладання гармонік і формування вібрацій із амплітудою, що перевищує 500–600 Н у пікових режимах. Доведено, що навіть допустимий за стандартом дисбаланс може призводити до суттєвих вібрацій кузова.

3. Аналіз технології балансування роторів показав, що метод коефіцієнтів впливу забезпечує найвищу точність серед існуючих методів.

4. Аналіз технологічних факторів дозволив виділити два ключових напрямки підвищення точності балансування:

- зменшення впливу внутрішніх завад: встановлено, що паразитні вібрації, спричинені дефектами опорних поверхонь, можуть формувати додаткові сигнали з частотами, що перевищують обертову на 20–50 %, що призводить до похибок вимірювання;

- управління розподілом компаунду по об'єму обмоток: встановлено, що нерівномірність розподілу компаунду може змінювати величину дисбалансу на 50–80 %, що є співрозмірним з ефектом від встановлення балансувальних тягарців.

5. Дослідження стану опорних шийок роторів показали, що:

- механічні пошкодження (задирки, вм'ятини) мають місце у 80–95 % випадків після демонтажу підшипників;
- характерні розміри дефектів становлять 0,1–0,05 мм;
- дефекти призводять до додаткових хибних сигналів на акселерометри балансувального верстата з амплітудою до 10–20 мкм. Математичне моделювання показало, що похибка визначення дисбалансу при цьому може досягати: до 8 % по масі; до 10–15 % по віброшвидкості. Чисельне моделювання процесу балансування показало, що наявність пошкоджень опорних поверхонь змінює динамічні характеристики системи, зокрема: зміщення власної частоти системи на 5–12 %; поява додаткових гармонік у діапазоні 1,2–1,5 від обертової частоти; збільшення амплітуди вібрацій на 10–25 %.

6. Експериментальна перевірка підтвердила результати моделювання: відхилення мас балансувальних тягарців – до 27 %; відхилення фазових кутів – до 87 %; зміна віброшвидкості – до 30–40 %. Це підтвердило суттєвий вплив технологічних факторів на результати балансування.

7. Дослідження впливу розподілу компаунду показали, що зміна положення ротора при сушінні в сушильній печі може змінювати дисбаланс на: +52...+86 % (при «heavy spot» вниз); –69...–83 % (при «heavy spot» вверх); зменшення маси балансувальних тягарців може становити 30–70 %; зниження віброшвидкості – до 40–60 %.

8. На основі аналізу фізичних властивостей компаунду встановлено, що в'язкість зменшується в 3–5 разів при підвищенні температури від 20 до 150 °С, швидкість перерозподілу маси зростає пропорційно зменшенню в'язкості, основний перерозподіл відбувається протягом перших 10–20 хвилин сушіння. Підтверджено, що управління розподілом компаунду може бути реалізоване шляхом орієнтації ротора «heavy spot» вверх.

У дисертаційній роботі отримано нові результати що, зокрема, підтверджують гіпотезу про можливість часткової компенсації дисбалансу ротора шляхом управління розподілом ізолюючого компаунда по об'єму електричних обмоток в процесі їх просочування.

Основні елементи наукової новизни полягають у наступному:

- *вперше*, запропоновано технологічний метод часткової компенсації дисбалансу ротора шляхом управління розподілом ізолюючого компаунда по об'єму електричних обмоток в процесі їх просочування;

- вперше*, запропоновано технологічний метод підвищення точності балансування роторів, заснований на фільтрації хибних сигналів від внутрішніх завад балансувального верстата, пов'язаних з пошкодженнями опірних поверхонь ротора;

- *вперше*, отримано залежності точності балансування на балансувальному верстаті від параметрів пошкоджень поверхонь ротора, що спираються на роликіві опори;

- *формалізовано нове для теорії балансування поняття* – «heavy spot» – як точка на роторі, де зосереджена надлишкова маса, що викликає дисбаланс;

– удосконалено метод балансування на балансувальному верстаті – на основі введення пробного тестування ротора на дисбаланс перед операцією просочування електричних обмоток для визначення положення «heavy spot».

### **Практичне значення результатів дослідження**

Практичне значення мають наступні результати дослідження:

- рекомендації щодо удосконалення технологічного процесу просочування роторів, що засновані на методі управління розподілом ізолюючого компаунду по об'єму обмоток ротора;

- характеристики електричних машин мотор-вагонного рухомого складу, як джерел структурних вібрацій кузова вагона;

- пропозиції щодо підвищення точності балансування на балансувальному верстаті на основі включення до ланцюга перетворення сигналів датчиків віброприскорень частотного фільтра, що відфільтровує сигнали з частотою, більшою за обертову частоту ротора.

Практичні рекомендації, отримані в ході дослідження, використано ПрАТ «Київський електровагоноремонтний завод» при розробці проєктів модернізації електропоїздів серії ЕПЛ (ЕПЛ2Т, ЕПЛ9Т). Результати також можуть бути застосовані при модернізації вагонів приміських електропоїздів інших старих моделей, зокрема ЕР2, ЕР2Р, ЕР2Т, ЕД2Т, ЕД4, ЕД9.

Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес Навчально-наукового інституту залізничного транспорту Національного транспортного університету, зокрема в навчальних курсах освітньо-професійних програм «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» та «Локомотиви та локомотивне господарство».

### **Повнота викладення матеріалів дисертації в публікаціях та особистий внесок у них автора**

Основні положення дисертації опубліковано у наступних виданнях.

#### **В періодичних виданнях індексованих у НМБ Scopus**

1. Shostak, Y., Holovashchenko, O., Reshetnikov, Y., Tkachenko, V. (2024). Improvement of the technological process balancing electric machine rotors on a balancing machine. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(7(130)), 60–69. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.309867>. (Проаналізовано механічні дефекти опорних поверхонь, пов'язаних із особливостями технології ремонту роторів, та їх вплив на виміряні показники дисбалансу. Проведено теоретичні і експериментальні дослідження впливу пошкоджень опорних поверхонь ротора на параметри балансування. Формалізовано висновок про те, що властивості опорних поверхонь ротора при його балансуванні на балансувальному станку суттєво впливають на результати визначення дисбалансу. Запропоновано спосіб підвищення точності визначення мас балансувальних тягарців при балансуванні ротора за рахунок включення у ланцюг перетворення сигналів датчиків прискорень частотного фільтра для відокремлення сигналів з частотою більшою, ніж обертова частота ротора).

2. Holovashchenko, O., Shostak, Y., Tkachenko, V. (2025). Determining the amplitude-frequency characteristics of an electric train car floor. *Eastern-European*

*Journal of Enterprise Technologies*, 1 (7 (133)). 64–75. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.321962>. (проаналізовано роль дисбалансу роторів тягових і допоміжних підвісних електричних машин електропоїздів, як джерела вібрацій, що передаються від основи кузова вагона до пасажирів. Запропоновано використання характеристик вібрацій, пов'язаних із дисбалансом роторів електричних машин в якості вхідних параметрів для дослідження вібро-ізоляційних властивостей підлоги вагона електропоїзда).

### **В наукових фахових виданнях України**

3. Dubravin, Yu., Shostak, Ya., Bakhony, V., Tkachenko, V. (2024). Justification of choice of methods for diagnostics of insulation condition of electrical machines of electric railway stock. *Transport systems and technologies*, 43, 76–89. <https://doi.org/10.32703/2617-9059-2024-43-6>. (розглянуто технологічний процес заміни ізоляції обмоток тягових двигунів електропоїздів в процесі їх капітального ремонту. Проаналізовано процес вакуумно-нагнітальної герметизації ізоляції обмоток якоря, зокрема з точки зору розподілу ізоляційного матеріалу по об'єму обмоток).

4. Shostak, Ya., Reshetnikov, Yu. (2025). Improvement of the impregnation technology of traction motor windings in order to improve the parameters of rotor imbalance. *Transport systems and technologies*, 46, 179–189. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2025-46-13>. (з'ясовано причини механічного дисбалансу роторів електричних машин. Експериментально досліджено ступінь впливу на дисбаланс роторів нерівномірності розподілу ізоляційного компаунду просочення по об'єму електричних обмоток. Висунуто і підтверджено гіпотезу про можливість часткової компенсації статичного дисбалансу роторів шляхом управління розподілом компаунда при нанесенні електричної ізоляції (просочуванні) обмоток. Запропоновано технологічний метод управління розподілом компаунду при просочуванні).

### **Апробація результатів дослідження**

Основні положення і результати роботи були викладені, обговорені та схвалені на наукових семінарах і науково-практичних конференціях, зокрема: 29<sup>th</sup> International Scientific Conference «Transport Means», Klaipeda, Lithuania. 1–3 жовтня 2025; III Всеукраїнська науково-практична конференція «Виклики та перспективи розвитку транспортної інфраструктури України», Київ, ДУІТ, 22–24 квітня 2025; IX Міжнародна науково-теоретична конференція «Science of XXI century: development, main theories and achievements». Гаага, Нідерланди).

### **Оцінка структури дисертації, її мови та стилю викладення**

Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаних джерел із 106 найменувань і чотирьох додатків. Роботу виконано на 152 сторінках машинописного тексту, з яких 116 сторінок основного тексту, 9 таблиць та 38 рисунків.

Текст дисертації викладено технічною мовою, логічно та послідовно. Структура дисертації, мова та стиль викладення відповідають вимогам Міністерства освіти і науки України. Застосована в роботі наукова термінологія є загальноновизнаною, стиль викладення результатів теоретичних і практичних

досліджень, нових наукових положень, висновків і рекомендацій забезпечує доступність їх сприйняття та використання.

Робота є самостійно виконаною, завершеною науково-дослідною працею, в якій отримані нові науково-обґрунтовані результати, що в сукупності вирішують конкретну наукову-технічну задачу – удосконалення методів зниження рівнів структурної вібрації вагонів електропоїздів за рахунок підвищення точності балансування роторів тягових і допоміжних електричних машин.

### **Загальний висновок**

Дисертаційна робота Шостака Я. В. на тему «Удосконалення методів мінімізації структурної вібрації вагонів електропоїздів за рахунок підвищення точності балансування роторів електричних машин», представлена у формі презентації та розглянута на розширеному засіданні кафедри електромеханіки і рухомого складу залізниць НТУ, та публікації здобувача, зараховані за темою дисертації, відповідають вимогам п. 6-9 «Порядку присудження скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12 січня 2022 р. (зі змінами).

Таким чином, дисертаційна робота Шостака Ярослава Віталійовича на тему «Удосконалення методів мінімізації структурної вібрації вагонів електропоїздів за рахунок підвищення точності балансування роторів електричних машин» може бути рекомендована до захисту у разовій спеціалізованій вченій раді Національного транспортного університету.

Головуючий на розширеному засіданні кафедри електромеханіки і рухомого складу залізниць, д-р техн. наук, проф.

Олександр ГОРОБЧЕНКО

Рецензенти:

Професор каф. вагонів та вагонного господарства, д-р техн. наук, проф.

Олексій ФОМІН

Професор каф. автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій транспорту, кан. техн. наук, доц.

Іван КУЛЬБОВСЬКИЙ

Секретар на розширеному засіданні кафедри електромеханіки і рухомого складу залізниць, ст. викладач каф. електромеханіки і рухомого складу залізниць, доктор філософії

Денис ЗАЙКА