

## ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

на дисертаційну роботу Мурадяна Леонтія Абрамовича

«Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу», представленої на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць

### 1. Загальний аналіз дисертації

Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг тексту дисертації складає 376 сторінок, обсяг основного тексту складає 319 сторінок. Робота ілюстрована 84 рисунками та 17 таблицями. Список використаних джерел включає 267 найменувань на 25 сторінках, 3 додатка викладено на 31 сторінці. Розташовані на окремих сторінках рисунки та таблиці займають 10 сторінок.

Дисертація та автореферат дисертації написані українською мовою. Обсяг автореферату складає 41 сторінок.

Дисертація виконана в Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна на кафедрі "Вагони та вагонне господарство".

Основні результати дисертаційних досліджень опубліковані в 41 науковій праці, з яких: 24 наукові статі надруковано у фахових виданнях, з яких 11 – у закордонних виданнях та в журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, 28 публікацій апробаційного характеру і тез доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій, а також 1 патент та 3 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір.

Обсяг основного тексту, структура дисертації, порядок викладення та оформлення матеріалу у дисертації та авторефераті дисертації відповідає вимогам «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету міністрів України №567 від 24 липня 2013 р. (зі

змінами, внесеними згідно з Постановами КМ №656 від 19.08.2015 р., №1159 від 30.12.2015р., №567 від 27.07.2016 р.), та наказу МОН України «Вимоги до оформлення дисертацій» від 12.01.2017 р. №40.

## **2. Актуальність теми дослідження**

Залізничний транспорт є однією з найважливіших галузей народного господарства України. Гостра конкуренція між різними видами транспорту сприяє підвищенню якості транспортних послуг. Найважливішими перевагами залізничного транспорту є його економічність, екологічна безпека, незалежність від періоду року та погодних умов.

Одним з головних завдань залізничного транспорту є забезпечення високого рівня безпеки руху поїздів, на яку безпосередньо впливає надійність елементів рухомого складу та інфраструктури. Проблема забезпечення необхідної безпеки руху поїздів визначається технічним станом вагонного парку і рівнем його технічного обслуговування та ремонту.

На надійність вагонів впливають особливості конструкції та технології виготовлення вагонів та умови експлуатації.

Надійність вантажних вагонів в експлуатації забезпечується за рахунок науково-обґрунтовано та економічно доцільно системі їх технічного утримання.

Знищення відмов та збільшення ресурсу окремих складових вагонів вагонів вимагає створення нових або вдосконалення існуючих конструкцій вантажних вагонів. При цьому надійність контролюється на всіх етапах життєвого циклу нових зразків вагонів, особливо при експлуатаційних випробуваннях, під час яких накопичуються статистичні дані про їх технічний стан, рівень зносу, кількість відмов та пошкоджень.

Відмови елементів конструкції вагонів приводять до відчіплень, затримки вантажу, що спричиняє суттєві економічні збитки залізницям

Створення системи дослідження технічного стану вантажних вагонів з

використанням методів визначення показників їх надійності на етапах життєвого циклу є актуальною науково-прикладною проблемою для залізничного транспорту України, вирішення якої надасть можливість створити раціональну систему технічного утримання, обслуговування та ремонту вантажних вагонів з урахуванням їх технічного стану із забезпеченням високого рівня надійності та безпеки руху.

Актуальність теми дисертації підтверджується тим, що дослідження виконувались відповідно до планів ДНУЗТ по таких темах:

«Випробування зразків нової техніки у дослідних маршрутах на напрямку Роковата-Ужгород-Кошице» (ДР No 0106U002252), «Розробка інноваційних конструкцій вантажних вагонів для гірських залізниць з урахуванням новітніх матеріалів та застосування сучасних технологій зварювання» (ДР No 0116U003751), у яких автор брав участь у якості виконавця та співавтора звітів, та «Визначення сили натиснення на гальмівні колодки пасажирських вагонів з урахуванням навантаження на колесо. Експлуатаційні випробування колодок гальмівних залізничного транспорту» (ДР No 0116U006842) та «Експлуатаційні випробування втулок з композиційних матеріалів та виробів поліуретанових для вантажних вагонів» (ДР No 0116U003752), за якими автор є керівником та автором звітів.

### **3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій.**

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи дають підстави стверджувати, що обґрунтованість результатів дисертаційної роботи зумовлена коректною постановкою завдань, використанням сучасних методів дослідження

Математичні моделі, що описують експлуатаційні характеристики досліджуваних деталей, склалися на базі теорії ймовірностей та математичної статистики. Для розрахунку показників надійності елементів,

вузлів та вагона в цілому застосовувалася теорія надійності технічних систем. За допомогою методів математичного моделювання та фізики твердого тіла формувалася математична модель впливу фізико-механічних та фізико-хімічних властивостей на надійність виробів. Для моделювання величини температури в зоні контакту «колесо – гальмівна колодка» використовувалися чисельні методи розв'язання інтегральних та диференціальних рівнянь. Експериментальні та аналітичні дослідження виконувалися методом безпосередніх вимірів на дослідних вагонах та за допомогою статистичних методів. Для формування програми випробувань застосовувалися методи планування експерименту.

При побудові системи надійності використано: елементи математичної та нечіткої логіки – для розв'язання задачі приналежності про відмови вагона; теорія множин – для формування множини, що описує роботу вагона; математичний апарат комбінаторики – для аналізу варіантів відмов; елементи теорії прийняття рішень, що дозволяє вибрати найбільш вірогідну причину відмови; методи системного підходу, аналізу та синтезу – для формування системи визначення показників надійності вантажних вагонів з використанням результатів теоретичних досліджень та експериментальних даних.

#### **4. Достовірність та новизна наукових положень**

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій дисертації обумовлена тим, що розроблені рішення обґрунтовані теоретичними розрахунками, підтверджені експериментальними дослідженнями. Основні висновки і рекомендації одержали схвалення на численних міжнародних наукових конференціях. Повністю дисертаційна робота доповідалась та була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за участю членів спеціалізованої вченої ради (25.02.2020 р).

Наукова новизна результатів, які отримані в дисертації, полягає в



наступному:

- вперше отримано структурну модель для визначення граничного ресурсу складових елементів конструкції вагона з урахуванням виконання регламентних ремонтних робіт на етапі експлуатації та ремонту;
- вперше розроблено науковий підхід оцінки окремих показників надійності вантажних вагонів протягом життєвого циклу з використанням елементів нечіткої логіки та інтелектуальних систем, що враховує неоднорідний характер інформації про особливості їх експлуатації;
- вперше сформульовано поняття коефіцієнта функціональної надійності вантажних вагонів, за допомогою якого можна оцінити гарантований термін безпечної експлуатації вагона впродовж життєвого циклу з урахуванням кількісних та якісних показників функціонування вантажних вагонів, а також умов експлуатації;
- удосконалено систему досліджень показників надійності вантажних вагонів, у якій аналізується інформація про відмови, що, на відміну від діючої, дозволяє врахувати індивідуальні особливості вагонів упродовж усього життєвого циклу;
- удосконалено математичну модель зміни технічного стану вантажного вагона, у якій розроблено послідовність визначення показників надійності вагонів та прогнозування кількісних показників надійності окремих деталей та вузлів, що, на відміну від існуючих, дозволяє здійснювати оцінку технічного стану вагона впродовж життєвого циклу з урахуванням конкретних експлуатаційних умов;
- удосконалено математичну модель процесу взаємодії контактуючих деталей вагона для визначення величини зношування деталей та з'єднань елементів вантажних вагонів упродовж життєвого циклу з урахуванням законів розподілу випадкових величин відмов окремих елементів, що, на відміну від існуючих дозволяє враховувати показники надійності всіх основних комплектуючих елементів вагонів та прогнозувати терміни безпечної їх експлуатації;

– удосконалено математичну модель процесу зміни технічного стану вагона впродовж життєвого циклу з визначенням відмов ресурсо-визначальних елементів вантажних вагонів, завдяки врахуванню в ній ймовірнісних показників зміни технічного стану окремих ресурсо-визначальних елементів, що, на відміну від існуючих, дозволяє враховувати зміну фізико-механічних характеристик ресурсо-визначальних елементів;

– удосконалено математичну модель теплового балансу трибо технічної пари механічної системи вагона, яка дозволяє на початку життєвого циклу – етап проектування, підбирати матеріали гальмівних колодок з необхідними фізико-хімічними, механічними та трибо технічними властивостями із забезпеченням безпечної та ефективної роботи гальмівної системи в процесі експлуатації вантажних вагонів, що, на відміну від існуючих, дозволяє врахувати поглинання й розсіювання теплоти в колісній парі й відтік її потоку від гальмівної колодки до колеса та оцінити ефективність процесу гальмування;

– удосконалено метод розрахунку показників надійності вагонів на етапі життєвого циклу – виготовлення, що, на відміну від існуючого, передбачає можливість прогнозування відмов з урахуванням особливостей технологічного процесу виготовлення складових елементів вагона із запобіганням виникненню дефектів у процесі подальшої експлуатації;

– удосконалено метод оцінки експлуатаційних характеристик вантажних вагонів, що, на відміну від існуючого, містить контрольовані параметри для системи дослідження надійності вантажних вагонів як свідчення (симптоми), які визначаються впродовж етапу життєвого циклу – експлуатація, і дають можливість визначити та підвищити необхідні показники надійності вантажних вагонів за комплексними ознаками та скоротити непродуктивні експлуатаційні витрати;

– набув подальшого розвитку метод визначення термінів проведення технічного обслуговування та регламентних видів ремонту вантажних вагонів упродовж етапу життєвого циклу – експлуатація, що, на

відміну від існуючого, містить комплекс показників експлуатаційної надійності: коефіцієнт готовності, ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності виконання завдань, на основі яких здійснюється корегування термінів проведення регламентних робіт для відповідних моделей вантажних вагонів з урахуванням умов експлуатації;

– набув подальшого розвитку метод визначення показників надійності вантажних вагонів протягом життєвого циклу, що базується на аналізі та синтезі теоретико-експериментальних даних про технічний стан та основні показники надійності вагона як механічної багатоелементної системи, що, на відміну від існуючого, дозволяє оцінити безвідмовність і технічний стан вантажного вагона за ресурсовизначальним елементом та створити умови для запобігання передбаченим відмовам.

Ступінь достовірності наукових положень дисертаційної роботи вважаю достатнім

## **5. Практичне значення отриманих результатів**

Наукові результати, які отримані в дисертаційній роботі розроблені підходи та методи використовуються для вирішення проблеми підвищення надійності вантажних вагонів та безпеки руху поїздів на залізницях України на всіх етапах життєвого циклу від етапу проектування та виготовлення вагонів до процесу їх експлуатації та утилізації. Запропонована та розроблена система дослідження надійності вантажних вагонів дозволяє контролювати зміну їх технічного стану на етапі експлуатації, коригувати та вчасно впроваджувати практичні дії для забезпечення необхідного рівня безпеки руху.

Отримані результати дисертаційної роботи використовуються:

– у навчальному процесі під час підготовки бакалаврів та магістрів за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт» (ОПП «Вагони та вагонне господарство») та виконання магістерських атестаційних робіт.

- У АТ «Укрзалізниця» у вигляді окремих звітів з результатами експлуатаційних досліджень для прийняття рішень щодо застосування окремих деталей та вузлів вантажних вагонів
- У ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» при розробці нових та модернізації існуючих вагонів у процесі проектування та виготовлення;
- У ВАТ «Інтерпайп НТЗ» в процесі впровадження в практику використання результатів експериментальних досліджень.
- У окремих ремонтних вагонних депо регіональної філії «Придніпровська залізниця» при впровадженні рекомендацій щодо виконання технічного обслуговування та ремонту вагонів;
- У ВАТ «Трібо» при впровадженні рекомендацій щодо виготовлення нових композиційних гальмівних колодок.

## **6. Особистий внесок здобувача**

Усі наукові положення, розробки та результати теоретичних та експериментальних досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно.

Статті [117, 121, 123, 125, 126, 127, 130, 132] опубліковані одноосібно.

У роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора такий. У працях [120, 128, 131, 134, 146] запропоновано методологічні аспекти до побудови системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів. У роботах: [136, 137, 138, 139, 140, 143, 151] – отримано результати випробувань гальмівних колодок вагонів; [119, 122, 129, 133, 134, 135, 142, 154] – виконано аналіз можливих причин скорочення ресурсу роботи залізничних коліс; [120, 121] – теоретично обґрунтовано плани досліджень надійності механічних систем; [122, 141, 144, 147, 229, 230] – викладено наукове обґрунтування зниження ресурсу вантажних вагонів на дослідних маршрутах; [128, 156] – розроблено методологію з визначення технічного



стану вагонів під час експлуатації; [131, 156, 158] – обґрунтовано можливість підвищення показників надійності при технічному обслуговуванні та ремонті; [147, 148, 152] – запропоновано технічні рішення до удосконалення п'ятникового вузла вантажного вагона; [129, 133, 134, 135] – наведено результати експлуатаційних досліджень литих залізничних коліс; [136, 139, 140] – запропоновано варіанти удосконалення гальмівної колодки; [152, 153] – виконано аналіз відмов та надійності вантажних вагонів; [139, 153] – обґрунтовано можливості застосування засобів захисту сучасного рухомого складу; [157] – теоретично обґрунтовано можливість застосування основних законів розподілу випадкових величин; [158] – запропоновано методологію визначення надійності вантажних вагонів; [151] – проведено аналіз несправностей гальмівної системи вантажних вагонів; [122, 176, 194] – отримано результати утворення дефектів на поверхні кочення суцільнокатаних коліс протягом експлуатації; [180] – запропоновано структурну схему для визначення оптимального складу високоміцних залізничних коліс; [122, 229, 230] – збір інформації щодо зношування основних елементів піввагонів під час експлуатаційних випробувань.

## **7. Використання в докторській дисертації положень та результатів кандидатської дисертації**

Здобувач не виносить на захист докторської дисертації наукові положення та результати, які були захищені здобувачем у 1989 р. У дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук «Особенности напряжённого-деформированного состояния несущих элементов котлов железнодорожных цистерн при продольных нагрузках» за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів автором розроблена методика оцінки міцності вузла кріплення котла на рамі, вибору та обґрунтування раціональних форм і місця розташування лап кріплення котла на рамі. За результатами досліджень розроблені конструктивні варіанти вузлів

передачі поздовжніх і вертикальних навантажень на котли цистерни, рекомендовані найбільше раціональні параметри, які дозволять знизити рівень максимальних напружень, за результатом досліджень розроблені конструктивні варіанти вузлів передачі поздовжніх і вертикальних навантажень на котли цистерни, рекомендовані найбільш раціональні параметри, які дозволяють знизити рівень максимальних напружень та відповідно зменшити напруження в цих зонах в експлуатації.

## **8. Оцінка змісту дисертації.**

Тексти дисертаційної роботи та автореферату викладено чітко, послідовно, логічно. У вступі обґрунтовано актуальність теми дослідження, міститься загальна характеристика роботи, визначено об'єкт та предмет дослідження, вказані її наукова новизна та практична значимість, розглянуто зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета та задачі роботи, наведені відомості щодо публікації основних результатів та апробацій їх на наукових конференціях та семінарах.

У першому розділі проведено аналіз технічного стану парку та відмов вантажних вагонів України, розглянуті шляхи підвищення надійності вагонів, а також проаналізовані основні засади дослідження надійності вагонів на різних етапах життєвого циклу. Питання забезпечення надійності вагонів є безумовно актуальною науково-прикладною проблемою, вирішення якої розширить можливості залізниць для підвищення техніко-економічних показників роботи та безпеки руху поїздів.

У другому розділі проведено огляд основних положень дослідження та забезпечення надійності вантажних вагонів на різних етапах життєвого циклу та проведено удосконалення алгоритму, розглянуті та застосовані основні закони розподілу випадкових величин та ймовірно-фізичний підхід для визначення показників надійності вагонів. З позицій класичної теорії ймовірності для описання показників надійності, було запропоновано

залежності середньої величини зносу деталей вантажних вагонів. На основі ймовірно-фізичного методу розроблено модель для описання та визначення надійності вагонів.

У **третьому розділі** досліджені показники надійності вантажних вагонів. Показано, що конструкторська надійність вагонів закладається на етапі проектування та реалізується у процесі виготовлення. Від конструкторської надійності буде залежати якісне функціонування вагонів в тих чи інших умовах експлуатації. На етапі проектування використовують довідникову інформацію про режими роботи вагонів і навантаження, які будуть нести елементи, деталі та вузли або вагон в цілому. При розрахунках конструктивних елементів вагону задаються довірчими інтервалами, що приведені в нормативно-довідниковій літературі і, в результаті, отримують необхідну ймовірність безвідмовної роботи. Вибір статистичних запасів міцності різних конструкцій заснований на використанні параметричної моделі «міцність – навантаження». Також виконане математичне моделювання взаємодії елементів вантажного вагона, оскільки воно являє собою один з найбільш ефективних інструментів аналізу їх теплового і напружено-деформованого станів під час їх розробки і випробувань. Найбільша складність при побудові розрахункових схем взаємодіючих елементів полягає в моделюванні процесів теплообміну в зонах фрикційних контактів (наприклад, гальмівні колодки – колісна пара). Моделювання взаємодії гальмівної колодки і колеса, як механічної системи, відбувається за допомогою системи тіл, які описуються геометрично, з наділенням фізичними властивостями кожного і, в подальшому, моделюються на основі протікання процесів, а також їх умов взаємодії. Моделювання теплового процесу, що враховує обертання колеса, за умови знаходження його частини поверхні то в контакті з колодкою, то наступний теплообмін з навколишнім середовищем, призведе до значного збільшення кількості обчислень, як при використанні МКЕ, так і МКР. При цьому сам вплив отриманих стрибків температури на процеси при гальмуванні буде носити локальний характер. Сам процес зносу

при взаємодії елементів колодкового гальма викликати значне температурне розширення самих колодок, а також призведе до перерозподілу контактних тисків між взаємодіючими елементами. При цьому отримані залежності для колодкового гальма вагона, які дозволяють на етапі проектування визначити температурне поле на основі МКЕ, що буде реалізовуватись в процесі експлуатації. Крім того, в роботі розглянуто граничний ресурс вагона в процесі експлуатації та при застосуванні інноваційних конструктивних та технологічних рішень і вперше отримано вираз для його описання з урахуванням проведення технічного обслуговування і ремонту (поточного, деповського, капітального). Також було введено поняття конструкторського коефіцієнту експлуатаційної надійності вагонів. Приведена методика визначення конструкторського коефіцієнта експлуатаційної надійності вагонів дозволяє врахувати застосування нових конструкцій та матеріалів (наприклад, колісних пар чи кузову). Тобто знаючи у скільки разів, наприклад, інтенсивність зносу гребенів колісних пар менше за існуючі аналоги, можна побудувати такий розподіл, але вже з урахуванням зниження ймовірності відмов вагонів. Далі, визначається значення нового конструкторського коефіцієнту експлуатаційної надійності, який прийме більші значення, як за ординатою, так і за абсцисою в порівнянні за попередні. Це і буде основою на етапі проектування нових конструкцій вагонів для попередження та недопущення критичних відмов. Тим самим, буде забезпечено унеможливлення критичних екологічних наслідків, загроз людському життю, а також економічних збитків. У цьому ж розділі, розглянута надійність вагонів на етапі технології виготовлення життєвого циклу. Запропоновано вираз для визначення кількості відмов на прогнозованому відрізку часу в структурних елементах вагона. На останньому етапі досліджень, була розглянута експлуатаційна надійність вагонів, для якої проведено визначення параметрів експлуатаційної надійності вантажних вагонів у системі технічного обслуговування та ремонту. Для групи дослідних зразків вантажних вагонів на маршруті Кривий Ріг-Ужгород-Кошице від першого деповського ремонту



побудовано структуру системи технічного обслуговування та ремонту з урахуванням ймовірнісного методу, яка вказує на можливість перебудови планово-попереджувальної системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів в залежності від якості виконання технічних дій.

У **четвертому розділі** побудовано систему дослідження надійності вантажних вагонів. При цьому приведено алгоритм для побудови моделей відмов вантажних вагонів і зроблено поєднання двох моделей (за відмовами і за зміною фізико-механічних характеристик). Для побудови системи досліджень надійності вантажних вагонів (СДНВВ) залучено апарат нечіткої логіки. В системі досліджень надійності вантажних вагонів на основі знань про зв'язок ознак несправностей і самої несправності відповідного вантажного вагона, що формуються спеціалістами ремонтних і експлуатаційних вагонних депо, отримано підсумковий коефіцієнт впевненості гіпотез при заданих відношеннях апріорних ймовірностей справедливості гіпотез з певними ознаками несправностей вантажних вагонів. При цьому формування бази знань про відмови (БЗВ) СДНВВ представлено алгоритмом, що пов'язаний з: заповненням таблиць БЗВ; витягом (отриманням) знань із статистичних даних з відмов вагонів; організацією експертного опитування; навчанням БЗВ. База даних з відмов (БДВ) СДНВВ складається з двох множин – симптомів (свідочств) і відмов (гіпотез), а БЗВ складається з безлічі пар елементів відповідних множин із зазначенням в явному вигляді міри довіри або недовіри. Для СДНВВ запропоновано модель даних «одиниця надійності». На підставі даної моделі базуються алгоритми визначення одиниці надійності вагона для пошуку множини ймовірних відмов (несправностей) із визначенням значень даних ймовірностей. Виходячи зі складу наведеної моделі, слід відзначити, що функція приналежності задана експертами за знаннями, детерміновано. Для перетворення статистичних даних в елемент БЗВ СДНВВ пропонується розрахункова функція ймовірності відмови в залежності від пробігу (напрацювання) вагона. При отриманні розрахункового значення квантиля в 5% на кожній ітерації, результуючі дані можуть бути

занесені в БЗВ СДНВВ.

У п'ятому розділі наведено результати дослідження показників надійності вантажних вагонів і експериментальні результати. Процес створення нової техніки, як правило, супроводжується виконанням комплексу теоретичних і експериментальних досліджень створюваного зразка або виробу з визначення його функціональних характеристик. В першу чергу розробників і користувачів цікавлять експлуатаційні якості, оскільки саме ці якості визначають основні властивості виробу в експлуатації. Тому не тільки становить інтерес, а має особливу актуальність науково-прикладна проблема з оцінки експлуатаційних характеристик нової і модернізованої техніки, а для залізничної техніки, від якої залежить не тільки безпека руху, але життя і здоров'я людей, оцінка показників в експлуатації має особливо важливе значення. Тому, в роботі розглянуті методологічні підходи до оцінки експлуатаційних характеристик нових і модернізованих вантажних вагонів, а також побудовані плани випробувань надійності вантажних вагонів, що включають довірчі інтервали інтенсивності відмов при експоненціальному розподілі і різних планах випробувань. Проведення досліджень за запропонованою методикою дозволяє раціонально сформулювати план експлуатаційних випробувань механічних систем, зокрема вантажних вагонів, і визначити точкові та інтервальні оцінки під час аналізу результатів випробувань. Крім того, такі дослідження надають можливість більш точно визначити показники надійності вантажних вагонів. ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод» освоїв випуск для УЗ напіввагонів нового покоління моделі 12-7023 на візках моделі 18-7020. Ці напіввагони принципово відрізняються від напіввагонів існуючого парку. Експлуатаційні випробування 50-ти таких напіввагонів проведені на дослідному маршруті №2 Кривий Ріг-Ужгород-Кошице, на якому виконуються перевезення залізничної сировини на металургійний комбінат у Словаччину. Метою випробувань було визначення інтенсивності експлуатаційних зносів і показників надійності зазначених вантажних вагонів. Експлуатаційні дослідження підтвердили

теоретичні основи застосування розробленого математичного апарату для визначення та прогнозування показників надійності вантажних вагонів. Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на різних етапах життєвого циклу надає можливість перебудувати послідовність та кількість технічних дій у існуючій планово-попереджувальній системі з урахуванням технічного стану структурних елементів вантажного вагона. Для досліджуваних вантажних вагонів було сформовано структуру проведення деповських та капітальних ремонтів, яка відрізняється з існуючою. Результати стендових випробувань гальмівних композиційних колодок показали їх здатність до зменшення величини нагріву колеса при гальмуванні, а також адекватність розробленої теплової моделі для взаємодіючих елементів «колодка – колесо» до результатів експериментальних досліджень, при цьому похибка не перевищувала 15%. Результати експлуатаційних досліджень дозволяють наповнити базу знань системи дослідження показників надійності вантажних вагонів, що призначена для постійного моніторингу їх технічного стану і забезпечення необхідного рівня безпеки руху поїздів. За рахунок використання запропонованих заходів можна досягти зменшення вартості життєвого циклу напіввагона на 14,2 тис. грн. Загальний економічний ефект від застосування запропонованих заходів в експлуатації лише напіввагонів на залізничному транспорті України оцінюється у розмірі 1 183 млн. грн.

Завершується робота розгорнутими висновками, які впливають зі змісту дисертації, є логічними.

Виходячи з аналізу основної частини дисертації можемо дійти висновку, що мета дисертаційної роботи під час виконання дослідження була досягнута, а дисертація є завершеною науковою кваліфікаційною працею.

У додатках наведено результати обстеження та аналізу технічного стану вантажних вагонів, відмов та акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

Список використаних джерел, що використані в дисертації, свідчить про глибину пошукової роботи, виконаної дисертантом.

Зміст автореферату ідентичний основним положенням та висновкам дисертації.

Одночасно вважаю за необхідне зробити наступні зауваження та пропозиції.

## 9. Зауваження до дисертаційної роботи

1. Незрозуміло, чому аналіз безпеки руху в структурі АТ «Українська залізниця» наведений тільки за 2013-2015 роки, коли захист відбувається у 2021 р. (рис. 11, 12, 13, 14 та додаток А)

2. В дисертації відсутній перелік деяких термінів та їх визначень, які використовуються при складанні тексту і які відсутні в ГОСТ 32192-2013 «Надежность в железнодорожной технике. Основные понятия и определения».

Україна проголосувала за прийняття цього ГОСТу. Наявність тлумачення таких термінів, як «коефіцієнт функціональної надійності», «коефіцієнт ймовірності виконання завдання», «коефіцієнт впевненості гіпотези» сприяли би більш однозначному розумінню отриманих результатів дослідження»

3. У висновках дисертаційної роботи не зазначено та залишилось не зрозумілим чи можна застосувати запропоновані рішення для інших типів вагонів, особливо для вагонів цистерн.

4. Зважаючи на те, що вантажні вагони можуть знаходитись в експлуатації за межами призначеного строку служби, доцільно додатково враховувати цей факт життєвого циклу при дослідженнях та визначенні показників експлуатаційної надійності.

5. На рис. 3 та 4 приведено розподіл відмов гальмівного обладнання вантажних вагонів. Чому не проведено для іншого обладнання чи систем?

6. Яким чином визначався коефіцієнт використання пробігу вантажного вагона при запропонованому (інноваційному) рішенні в процесі ремонту вагона?



7. Незрозуміло, на скільки підвищився чи знизився пробіг до ДР та КР.

8. Слід вважати, що  $\gamma$ -відсотковий ресурс відноситься не до показників безвідмовності, а до показників довговічності (ГОСТ 32192-2013 «Надежность в железнодорожной технике, п.107, стр.9).

9. Незрозуміло, як враховується при проектуванні надійність вагонів-аналогів (розділ 2).

8. В роботі допущені стилістичні неточності, а також окремі редакційні помилки, на які здобувачу вказано особисто.

9. Зазначені зауваження не знижують наукову та практичну цінність дисертаційної роботи Мурадяна Л.А., яка виконана на достатньо високому науковому та практичному рівнях.

## **10. Загальна оцінка дисертації**

Аналіз змісту дисертації і автореферату, а також публікацій дисертанта дозволяють зробити наступні висновки по суті дисертаційної роботи.

Дисертаційна робота Мурадяна Леонтія Абрамовича на тему «Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу» є завершеною, самостійно підготовленою кваліфікаційною науковою працею. В дисертації отримані нові раніше не захищені наукові положення та науково-обґрунтовані результати, які у сукупності розв'язують важливу науково-прикладну проблему для галузі вантажного рухомого складу залізниць та промислових підприємств України.

Тема дисертації має актуальний характер. Зміст автореферату відповідає змісту дисертації.

Результати роботи з необхідною повнотою висвітлені у працях, що публікувалися у затверджених МОН України виданнях та пройшли належну апробацію на наукових семінарах та конференціях.

Актуальність, високий науковий рівень, практична цінність та впровадження результатів свідчать про те, що виконана дисертантом робота за

темою «Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу» відповідає вимогам п. п. 9, 10 12, 13, 14 "Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. №567 із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ №656 від 19.08.2015 р., №1159 від 30.12.2015 р., №567 від 27.07.2016 р. і п. 1 ("Теоретичні й експериментальні дослідження рухомого складу"), п. 2 ("Технічна експлуатація рухомого складу, підвищення надійності й ефективності його використання») та п. 4 (Надійність, діагностування та неруйнівний контроль рухомого складу та його частин) паспорту спеціальності 05.22.07 – "Рухомий склад залізниць та тяга поїздів", який затверджено Постановою президії ВАК України №40-08/7 від 8 жовтня 2008 року, а її автор Мурадян Леонтій Абрамович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів.

**Офіційний опонент:**

**професор кафедри «Вагони та вагонне господарство»**

**Державного університету інфраструктури та технологій,**

**доктор технічних наук**

**з спеціальності 05.22.07 – рухомий**

**склад залізниць та тяга поїздів,**

**професор**

*М. Б. Кельріх*



**М. Б. Кельріх**

*Підпис засв. ун. у*  
*В. М. Творозь*  
 404-48948  
 від 10.05.21.

## **ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА**

на дисертаційну роботу **Мурадяна Леонтія Абрамовича**  
**"РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ**  
**ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ НА ЕТАПАХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ",**

яку представлено до захисту на здобуття наукового ступеня

доктора технічних наук за спеціальністю

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

### **1. Загальний аналіз дисертації**

Дисертаційна робота обсягом 376 сторінок складається із вступу, п'яти основних розділів, загальних висновків, списків використаних джерел та 3 додатків. Обсяг основного тексту – 318 сторінок. Дисертація містить 85 рисунки та 17 таблиць. Список використаних джерел із 290 найменувань приведений на 21 сторінках, 4 додатки – на 38 сторінках.

Дисертація та автореферат написані українською мовою.

Дисертація Мурадяна Л. А. виконана на кафедрі "Вагони та вагонне господарство" Дніпровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна (ДНУТ) Міністерства освіти і науки України.

Основний зміст дисертаційних досліджень висвітлено у 73 публікаціях. З них 24 опубліковано у фахових виданнях, затверджених МОН України, в тому числі 11 – у закордонних виданнях та в журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз даних. 18 праць віднесено до додаткових, в тому числі 1 патент України. 28 публікацій і тез доповідей у матеріалах міжнародних наукових та науково-практичних конференцій мають апробаційний характер. Серед них 3 свідоцтва про реєстрацію авторського права на літературний твір наукового характеру, в яких викладені програми-методики експлуатаційних випробувань елементів конструкцій вантажних вагонів.

Обсяг основного тексту, структура дисертації, порядок викладення та оформлення матеріалу у дисертації та авторефераті дисертації відповідає

вимогам "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 656 від 19.08.2015 р., №1159 від 30.12.2015 р.), та наказу МОН України "Про затвердження вимог до оформлення дисертацій" від 12.01.2017 р. № 40.

## **2. Актуальність теми дисертаційної роботи**

Залізничний транспорт є складною системою технологічних підрозділів та транспортних засобів, основною задачею якого є перевезення вантажів та пасажирів із максимально допустимими швидкостями та мінімальною собівартістю при забезпеченні безпеки руху. Проблема забезпечення необхідного рівня безпеки руху поїздів багато в чому залежить від рівня надійності вантажних вагонів.

На рівень надійності впливає багато чинників, серед яких особливості конструкції і технології виготовлення всіх елементів конструкції вагону, умови експлуатації, особливості існуючої системи технічного обслуговування та ремонту. Відповідно методи підвищення надійності поділяються на організаційні та технічні і застосовуються на етапах проектування, виробництва і застосування за призначенням (при експлуатації).

Враховуючи те, що переважна більшість вантажного рухомого складу вже відпрацювала свій ресурс і працює з подовженим терміном служби, вкрай велике значення має рівень технічного обслуговування та ремонту вагонів. Саме від якості технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів залежить їх готовність до перевезень з відповідним рівнем безвідмовності.

Тому підвищення надійності вантажних вагонів на всіх етапах життєвого циклу є безумовно актуальною науково-прикладною проблемою для залізничного транспорту України, вирішення якої дозволить підвищити як ефективність використання рухомого складу, так і рівень безпеки руху.



Крім того це дозволить створити раціональну систему технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів з урахуванням їх технічного стану із забезпеченням високого рівня безпеки руху та зменшення експлуатаційних витрат.

Важливо, що дисертаційна робота пов'язана з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі, що визначені у Транспортній стратегії України до 2020 року (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 №2174-р), а також пов'язана з науково-дослідними роботами, що виконувалися у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені ак. В. Лазаряна: «Випробування зразків нової техніки у дослідних маршрутах на напрямку Роковата-Ужгород-Кошице» (ДР № 0106U002252), «Розробка інноваційних конструкцій вантажних вагонів для гірських залізниць з урахуванням новітніх матеріалів та застосування сучасних технологій зварювання» (ДР № 0116U003751), у яких автор брав участь у якості виконавця та співавтора звітів, та «Визначення сили натиснення на гальмівні колодки пасажирських вагонів з урахуванням навантаження на колесо. Експлуатаційні випробування колодок гальмівних залізничного транспорту» (ДР № 0116U006842) та «Експлуатаційні випробування втулок з композиційних матеріалів та виробів поліуретанових для вантажних вагонів» (ДР № 0116U003752), за якими автор є керівником та автором звітів.

### **3. Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій**

Викладені в дисертаційній роботі результати й висновки мають високий ступінь обґрунтованості, що підтверджується застосуванням наукових підходів та методів, які розроблені та апробовані відомими вченими і фахівцями (фундаментальних методів вищої математики, геометричного програмування, експертних оцінок, комп'ютерного моделювання, системного аналізу, математичної обробки експериментальних

даних, сучасних засобів експериментальних досліджень характеристик рухомого складу).

Отримані у роботі наукові результати в достатній мірі підтверджені теоретично та експериментально та є обґрунтованими і достовірними. Підставою для цього є коректна постановка завдання, використання сучасних загальноновизнаних методів досліджень.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень дисертаційної роботи мають достатню збіжність.

Справляє позитивне враження наявність саме експериментальних даних, здобутих шляхом випробувань натурних зразків, що підкріплюють результати теоретичних досліджень, проведених при виконанні дисертаційної роботи.

#### **4. Новизна наукових положень**

Наукова новизна результатів, які отримані в дисертації, полягає в наступному:

***Вперше:***

- запропонована структурну модель для оцінки граничного ресурсу складових елементів конструкції вагона з урахуванням виконання регламентних ремонтних робіт на етапі експлуатації та ремонту;

- розроблено методологію оцінки надійності вантажних вагонів протягом життєвого циклу з використанням елементів нечіткої логіки та інтелектуальних систем, що враховує неоднорідний характер інформації про особливості їх експлуатації;

- введено поняття коефіцієнта функціональної надійності вантажних вагонів, за допомогою якого можна оцінити гарантований термін безпечної експлуатації вагона впродовж життєвого циклу з урахуванням кількісних та якісних показників функціонування вантажних вагонів, а також умов експлуатації.

***Удосконалено:***

- систему досліджень показників надійності вантажних вагонів, у якій аналізується інформація про відмови, що, на відміну від діючої, дозволяє врахувати індивідуальні особливості вагонів упродовж усього життєвого циклу;

- математичну модель зміни технічного стану вантажного вагона, у якій розроблено послідовність визначення показників надійності вагонів та прогнозування кількісних показників надійності окремих деталей та вузлів;

- удосконалено математичну модель процесу взаємодії контактуючих деталей вагона для визначення величини зношування деталей та з'єднань елементів вантажних вагонів упродовж життєвого циклу з урахуванням законів розподілу випадкових величин відмов окремих елементів;

- математичну модель процесу зміни технічного стану вагона впродовж життєвого циклу з визначенням відмов ресурсовизначальних елементів вантажних вагонів, завдяки врахуванню в ній ймовірнісних показників зміни технічного стану окремих елементів;

- удосконалено математичну модель теплового балансу триботехнічної пари механічної системи вагона, яка дозволяє на початку життєвого циклу – етап проектування, підбирати матеріали гальмівних колодок з необхідними фізико-хімічними, механічними та триботехнічними властивостями із забезпеченням безпечної та ефективної роботи гальмівної системи й підвищення рівня надійності в процесі експлуатації вантажних вагонів;

- метод розрахунку показників надійності вагонів на етапі життєвого циклу – виготовлення, що, на відміну від існуючого, передбачає можливість прогнозування відмов з урахуванням особливостей технологічного процесу виготовлення складових елементів вагона із запобіганням виникненню дефектів у процесі подальшої експлуатації.

*Дістали подальшого розвитку:*

- метод визначення термінів проведення технічного обслуговування та регламентних видів ремонту вантажних вагонів упродовж етапу життєвого

циклу – експлуатація, що, на відміну від існуючого, містить комплекс показників експлуатаційної надійності;

- метод визначення показників надійності вантажних вагонів протягом життєвого циклу, що базується на аналізі та синтезі теоретико-експериментальних даних про технічний стан та основні показники надійності вагона як механічної багатoelementної системи.

Аналіз отриманих у роботі наукових результатів показує їхню відповідність існуючим критеріям та вимогам.

Ступінь достовірності наукових положень дисертації вважаю достатнім.

## **5. Практичне значення роботи**

Наукові результати, отримані в ході виконання дисертаційної роботи, можуть бути використані для підвищення надійності рухомого складу та збільшення рівня безпеки руху, а саме:

- запропонована система досліджень надійності вантажних вагонів дозволяє відстежувати зміну їх технічного стану на етапі життєвого циклу – експлуатація, корегувати та вчасно впроваджувати керівні дії у вигляді регламентної роботи чи додаткових заходів для забезпечення необхідного рівня безпеки руху;

- розроблені моделі та підходи можуть бути використані для вирішення проблеми підвищення надійності вантажних вагонів та безпеки руху поїздів на залізницях України.

Результати досліджень впроваджені:

- у ПАТ "Крюківський вагонобудівний завод" під час розробки нових та модернізації вагонів у процесі проектування та виготовлення;

- у ПАТ «Інтерпайп НТЗ» (Україна), яке прийняло до впровадження у вигляді звітів результати експериментальних досліджень (значення вимірних величин зносу, інтенсивність зносу та прогнозовані значення ресурсу залізничних коліс);

- у ВАТ "Трибо" (Україна), якому надані рекомендації щодо



виготовлення нових композиційних гальмівних колодок, а також результати експериментальних досліджень;

- у ремонтних вагонних депо "Батуринська", "Нижньодніпровськ-Вузол" РФ "Придніпровська залізниця, для яких надані рекомендації щодо стратегії виконання технічного обслуговування та ремонту вагонів;

- у навчальному процесі під час підготовки спеціалістів та магістрів за спеціальністю 273 "Залізничний транспорт" освітня програма "Вагони та вагонне господарство" та під час дипломного проектування.

Практичне впровадження результатів роботи підтверджено відповідними документами та матеріалами, які подані в додатках до дисертаційної роботи.

#### **6. Повнота викладення наукових положень дисертації в опублікованих працях**

Основні результати дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на 66-й, 67-й, 68-й, 69-й, 70-й, 71-й, 72-й та 74-й, 75-й, 76-й, 77-й та 78-й Міжнародних науково-практичних конференціях "Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту" (Дніпро, ДНУЗТ, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 рр.); XII, XIII, XIV Міжнародних конференціях "Проблемы механики железнодорожного транспорта. Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава, энергосбережение" (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2008, 2012, 2016 рр.); Четвертій науково-технічній конференції "Транспортная инфраструктура сибирского района" (Іркутськ, ІРІТ, 2013 р.); X Науково-практичній конференції "Безопасность движения поездов" (Москва, МІТ, 2009 р.); 16-му Міжнародному конгресі з колісних пар (IWC) (Кейптаун, Південна Африканська республіка, 2010 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції "Развиток современных технологий производства вітчизняних підприємств – основа для зниження зносу пари "рейка-колесо" (Дніпропетровськ, ІНТЕРПАЙП НТЗ, 2012 р.).

У повному обсязі дисертація доповідалась та була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (31.10.2018 р.).

Результати досліджень викладено висвітлено у 73 публікаціях. З них 24 опубліковано у фахових виданнях, затверджених МОН України. 18 праць віднесено до додаткових, в тому числі 1 патент України. 28 публікацій і тез доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій мають апробаційний характер. Також здобувач має 3 свідоцтва про реєстрацію авторського права на твір, в яких викладені програми-методики експлуатаційних випробувань.

Зміст та кількість друкованих праць відповідає вимогам МОН України до висвітлення основних положень дисертаційної роботи на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

В опублікованих статтях та тезах доповідей на конференціях та семінарах з міжнародною участю докладно викладено основні наукові положення дисертації:

- аналіз відмов та причин недостатньої надійності вантажних вагонів;
- аналіз несправностей та відмов гальмівної системи вантажних вагонів;
- аналіз можливих причин скорочення ресурсу роботи залізничних коліс;
- методологія визначення надійності вантажних вагонів;
- теоретичне обґрунтування можливості застосування основних законів розподілу випадкових величин;
- обґрунтування можливості підвищення показників надійності при технічному обслуговуванні та ремонті;
- методологія з визначення технічного стану вагонів при експлуатації;
- методологічні аспекти побудови системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів;
- обґрунтування планів досліджень надійності механічних систем;
- аналіз результатів обробки статистичних даних щодо зносу основних

елементів піввагонів при експлуатаційних випробуваннях;

- наукове обґрунтування причин зниження ресурсу вантажних вагонів на дослідних маршрутах;
- структурна схема для визначення оптимального складу високоміцних залізничних коліс;
- аналіз результатів випробувань конструктивних елементів вантажних вагонів;
- обґрунтовано можливості застосування засобів захисту сучасного рухомого складу.

Кількість публікацій, обсяг, повнота висвітлення результатів та розкриття змісту дисертації відповідає вимогам МОН України та "Порядку присудження наукових ступенів". Зазначені публікації повною мірою висвітлюють основні наукові положення дисертації.

Спрямованість науково-практичних конференцій, де відбувалася апробація дисертаційного дослідження, характер статей дисертанта, в яких відображено положення дисертації і результати проведених досліджень, повною мірою вирішують науково-прикладну проблему розвитку наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів за рахунок формування системи дослідження їх надійності на етапах життєвого циклу. Загалом вважаю, що дисертація пройшла належну апробацію.

## **7. Оцінка змісту дисертації**

Текст дисертаційної роботи викладено чітко у логічній послідовності.

**У вступі** наводиться обґрунтування обраної теми, її актуальність, показано зв'язок роботи з державними та галузевими програмами, сформульована мета та завдання досліджень, їх наукова новизна та практичне значення, зазначені об'єкт та предмет дослідження. Наведені відомості щодо публікацій основних результатів та апробації їх на наукових конференціях і семінарах, подано дані про впровадження результатів роботи, вказано на особистий внесок автора.

**У першому розділі** автор виконав проведено аналіз технічного стану

парку та причин відмов вантажних вагонів України, розглянуті шляхи підвищення надійності вагонів, а також проаналізовані основні засади дослідження надійності вагонів на різних етапах життєвого циклу.

Здобувач дійшов до висновку, що існують значні розбіжності у визначенні терміну "надійність". Як правило, теорія надійності використовує методи теорії ймовірностей та математичної статистики, які використовуються для визначення або передбачення настання відмов об'єкта. При цьому використовуються математичні методи дослідження, що базуються на результатах відмов техніки без урахування причин, що їх викликають.

Дисертантом показано, що основною причиною настання транспортних подій є несвоєчасне вилучення із експлуатації рухомого складу, технічний стан якого не відповідає вимогам ПТЕ. Тобто залишаються ймовірні великі ризики виникнення порушень безпеки руху. Через надмірне спрацювання рухомого складу, це вказує на необхідність модернізації та вдосконалення старого рухомого складу вагоноремонтними заводами та виготовлення більш сучасних вагонів усіх типів для підвищення рівня безпеки руху поїздів. Вантажні вагони нового покоління повинні забезпечити високий рівень надійності і, тим самим, гарантувати підвищення рівня безпеки руху. Успішне вирішення зазначених завдань лежить, по-перше, в розробці нових технологій підвищення надійності, довговічності і зносостійкості.

Питання забезпечення надійності вагонів є безумовно актуальною науково-прикладною проблемою, вирішення якої розширить можливості залізниць для підвищення техніко-економічних показників роботи та безпеки руху поїздів.

У другому розділі роботи виконано огляд основних положень забезпечення надійності вантажних вагонів на різних етапах життєвого циклу та проведено удосконалення алгоритму, розглянуті та застосовані основні закони розподілу випадкових величин та ймовірно-фізичний підхід для визначення показників надійності вагонів. При цьому, показано, що



існуючий алгоритм дослідження та забезпечення надійності технічних об'єктів потребує перегляду.

Автором запропоновано алгоритм дослідження і забезпечення надійності вантажного вагону. При цьому враховуються надійність охоплює конструкторську, технологічну та експлуатаційну складові надійності. При цьому науковий експеримент включає моделювання роботи вантажного вагона в різних умовах та експлуатаційних режимах. На стадії експерименту в оцінку надійності вантажного вагона закладаються параметри, що отримані в результаті моделювання для конкретних умовах експлуатації.

Особливістю цього підходу є застосування Баєсової статистики, що надає можливість описати різні стани вантажного вагона з розбиванням його на основні складові та з відповідною ймовірністю для кожного з них описувати його загальну надійність. На основі ймовірнісно-фізичного методу розроблено модель для описання та визначення надійності вагонів. При цьому метод розрахунку на основі ймовірнісно-фізичної моделі принципово відрізняється від усіх відомих ймовірнісних методів тим, що він розглядає неперервну множину станів елементів, деталей і систем вагона впродовж неперервного часу.

Автором запропоновано модель, яка дозволяє при існуванні чи можливості знаходження інформаційного параметра про витрату ресурсу елемента вагона з оцінкою швидкості його зміни, і знаючи його граничне значення, прогнозувати всі необхідні кількісні показники надійності досліджуваних елементів, деталей та вузлів, або вагона в цілому.

**У третьому розділі** автором досліджені показники надійності вантажних вагонів. Здобувачем показано, що конструкторська надійність вагонів закладається на етапі проектування та реалізується у процесі виготовлення. Від конструкторської надійності буде залежати якісне функціонування вагонів в тих чи інших умовах експлуатації. При розрахунках конструктивних елементів вагону вибір статистичних запасів міцності різних конструкцій заснований на використанні параметричної

моделі "міцність – навантаження".

В цьому ж розділі виконане математичне моделювання взаємодії елементів вантажного вагона. Моделювання взаємодії гальмівної колодки і колеса, як механічної системи, виконано за допомогою системи тіл, які описуються геометрично, з наділенням фізичними властивостями кожного і в подальшому моделюються на основі протікання процесів, а також їх умов взаємодії.

Дисертантом розглянуто граничний ресурс вагона в процесі експлуатації та при застосуванні інноваційних конструктивних та технологічних рішень і запропоновано вираз для його описання з урахуванням проведення технічного обслуговування і ремонту (поточного, деповського, капітального).

Автором введено поняття коефіцієнту функціональної надійності вагонів та розроблена методика його визначення, яка дозволяє встановити при величині такого напрацювання вагона, експлуатаційна надійність виходить за критичну межу. Також, слід зазначити, що приведена методика визначення коефіцієнта функціональної надійності вагонів дозволяє врахувати застосування нових конструкцій та матеріалів (наприклад, колісних пар чи кузову).

У цьому ж розділі, розглянута надійність вагонів на етапі технології виготовлення життєвого циклу. Запропоновано вираз для визначення кількості відмов на прогнозованому відрізку часу в структурних елементах вагона.

На останньому етапі досліджень була розглянута експлуатаційна надійність вагонів, для якої проведено визначення параметрів експлуатаційної надійності вантажних вагонів у системі технічного обслуговування та ремонту. Оптимізація стратегії технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів дозволить досягнути високої економічної ефективності за рахунок реорганізації структури такої системи та правил технічної експлуатації без залучення додаткових сил і засобів. При цьому,

запропоновано вирази для знаходження періоду проведення поточних, деповських та капітальних ремонтів з параметрами експлуатаційної надійності. Здобувачем запропоновано структура системи технічного обслуговування та ремонту з урахуванням ймовірнісного методу для групи дослідних зразків вантажних вагонів на маршруті Кривий Ріг-Ужгород-Кошице від першого деповського ремонту.

**Четвертий розділ** присвячений створенню системи дослідження надійності вантажних вагонів. При цьому приведено алгоритм для побудови моделей відмов вантажних вагонів і зроблено поєднання двох моделей (за відмовами і за зміною фізико-механічних характеристик). Для формування системи досліджень надійності вантажних вагонів у роботі побудована структурна схема на прикладі піввагона моделі 12-7023, яка дозволяє встановити вплив конструктивних особливостей на надійність вагона.

Для побудови системи досліджень надійності вантажних вагонів (СДНВВ) використано апарат нечіткої логіки. Автором удосконалено математичну модель зміни технічного стану ресурсовизначальних елементів вагона, що дозволяє визначити показники надійності окремих деталей та вузлів або вагона в цілому з урахуванням як відмов вантажних вагонів, так і зміни фізико-механічних характеристик ресурсовизначальних елементів.

**У п'ятому розділі** наведено результати експериментальних досліджень показників надійності вантажних вагонів. Автором було удосконалено метод їх оцінки, що містить контрольовані параметри для системи дослідження надійності вантажних вагонів як свідчення (симптоми), які визначаються впродовж випробувань та під час експлуатації і дають можливість більш точно визначити показники надійності вантажних вагонів за комплексними ознаками.

У результаті проведених експериментальних досліджень розроблено методи визначення надійності нових і модернізованих вантажних вагонів з використанням апарату нечіткої логіки. Це дозволяє в системі досліджень надійності вантажних вагонів на основі знань про зв'язок ознак

несправностей і самої несправності відповідного вантажного вагона, що формуються за даними ремонтних і експлуатаційних вагонних депо, отримати підсумковий коефіцієнт впевненості гіпотез при заданих відношеннях апіорних ймовірностей справедливості гіпотез з певними ознаками несправностей вантажних вагонів.

В цьому ж розділі виконано розрахунок економічного ефекту від застосування запропонованих рішень. Зменшення вартості життєвого циклу напіввагона складає 14,2 тис. грн.

Завершується робота досить розгорнутими висновками, які впливають зі змісту роботи, та є логічними.

Виходячи з аналізу основної частини дисертації, можемо дійти висновку, що мета дисертаційної роботи під час виконання дослідження була досягнута, а дисертація є завершеною науковою кваліфікаційною працею.

У додатках наведено результати експериментальних та теоретичних досліджень та акти впровадження результатів дисертаційної роботи.

Список використаних джерел, що представлений в дисертації, свідчить про глибину пошукової роботи, виконаної дисертантом

Зміст автореферату ідентичний основним положенням та висновкам дисертації

## **8. Використання у докторській дисертації положень та результатів кандидатської дисертації.**

Здобувач не виносить на захист докторської дисертації наукові положення та результати, які були захищені здобувачем у 1989 р. в дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: "Особенности напряженно-деформированного состояния несущих элементов котлов железнодорожных цистерн при продольных нагрузках" за спеціальністю 05.22.07 "Рухомий склад залізниць та тяга поїздів".

В кандидатській дисертації Мурадяна Л. А. розглянуті питання аналізу напружено-деформованого стану котлів з урахуванням дії повздовжніх



навантажень з метою зниження їх пошкоджуваності, а результати виконаних у докторській дисертації досліджень спрямовані на розвиток вступових основ забезпечення надійності вантажних вагонів за рахунок формування системи дослідження їх надійності на етапах життєвого циклу.

## 9. Зауваження по дисертації.

1. В дисертації відсутній перелік термінів, визначень та скорочень, які використовуються при складанні тексту.

2. У переліку літературних джерел не вказано, які з них відносяться до міжнародних науко-метричних баз.

3. На рис. 1.1 (стор. 31) наведено розподіл транспортних подій, віднесених за вагонним господарством, що створили загрозу безпеці руху за період 2013-2015 рр. Не зрозуміло, чому автор обрав саме цей період часу для аналізу. Крім того вважаю, якщо так звана "несправність призвела до відчеплення вагону на шляху прямування, її необхідно трактувати як відмову.

4. На рис. 1.2 (стор. 32) наведено розподіл пошкоджень вагонів, які надходили в плановий ремонт на Придніпровській залізниці. Було б доцільно виконати порівняльний аналіз з аналогічними даними з інших залізниць.

5. При аналізі даних про відчеплення вагонів було б доцільним виявити кореляційним зв'язок між числом відмов та інтенсивністю вантажообігу та кількістю вагонного парку.

6. Потребує пояснення твердження про неякісний ремонт буксових підшипників (стор. 35). Теж саме стосується ремонту різі М 110×4.

7. Аналізуючи низький рівень надійності вантажних вагонів, серед причин, які на нього впливають, необхідно враховувати рівень спрацювання рухомого складу.

8. Розділи 1 та 2 містить значну кількість загальновідомої інформації, яку б можна було б скоротити.

9. З розділу 2 неясно, як враховується при проектування надійність вагонів-аналогів.

10. На стор.87-88 автор аналізує методика вибору моделі надійності. Дійсно, існуючі закони розподілення, які використовуються найбільш часто (експоненційний, нормальний, Вейбулла-Гнеденко) не завжди коректно описують напрацювання до відмови на різних етапах життєвого циклу. Вважаю, що в цьому випадку доцільно використовувати суперпозиційний закон розподілення напрацювання.

11. При формуванні математичної моделі зміни температури в зоні контакту «Колесо-колодка» не вказані типи скінчених елементів.

12. Здобувачем використовуються некоректні терміни. Так, замість терміну "кінцевий елемент" загальноприйнятним є "скінчений елемент".

13. З рисунка 2.8 (стр. 101) не зрозуміло, які саме відмови гальмівного обладнання розглядаються: механічна або пневматична частина.

14. Неясно, чи розглядалися здобувачем при побудові моделі взаємодії гальмівної колодки з колесом наявність пошкоджень поверхні кочення колеса.

15. Чи враховувалась при побудові моделі взаємодії гальмівної колодки з колесом наявність клиновидного спрацювання колодок.

16. Стосовно твердження у першому абзаці підрозділу 3.1.3: безвідмовність та довговічність є складовими надійності, а не окремими поняттями.

17. В роботі розглянуті не всі етапи життєвого циклу вантажного вагона.

18. При розгляді параметрів експлуатаційної надійності не враховувався коефіцієнт технічної готовності вантажних вагонів, який включає час перебування вагона в працездатному стані і загальну тривалість експлуатації в заданому інтервалі часу, включаючи всі види технічного обслуговування і ремонту.

19. Здобувачем не розглядався вплив конструктивних особливостей вантажного вагона на його життєвий цикл.

20. Не зрозумілий зміст виразу "підтвердження безпеки вагону в період

його експлуатації" (стор. 248).

21. В розділі 5 автор детально аналізує існуючі плани проведення випробувань на надійність. В той же час, аналізуючи результати проведення експлуатаційних випробувань напіввагонів моделі 12-7023 у дослідному маршруті Укрзалізниці "Роковата-Ужгород" здобувач не наводить відомості, згідно з яким планом проводилися самі ці випробування.

22. Також не зрозуміло, визначення показників надійності за результатами випробувань проводилося за однією методикою для всіх елементів конструкції вагона чи є різниця (наприклад, колісні пари та надресорні балки).

23. З розділу 5 неясно, як визначати показники надійності у випадку відсутності відмов при експлуатаційних випробуваннях.

24. З розділу 5.5 не зрозуміло, які саме елементи напіввагону мають найбільший вплив на зменшення вартості життєвого циклу.

Зазначені у даному відгуку зауваження та побажання не знижують наукової та практичної цінності дисертаційної роботи Мурадяна Л. А., яка виконана на достатньому науковому та практичному рівнях.

## **9. Загальна оцінка дисертації**

Аналіз змісту дисертації і автореферату, публікації автора за темою роботи дозволяють зробити наступні висновки.

Дисертаційна робота Мурадяна Л. А. "Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу" є завершеною, самостійно підготовленою кваліфікаційною науковою працею. В дисертації отримані нові раніше не захищені наукові положення та науково-обґрунтовані результати, які у сукупності розв'язують важливу науково-прикладну проблему для рухомого складу залізниць України.

Тема дисертації має актуальний характер. Зміст автореферату відповідає змісту дисертації.

Результати роботи з необхідною повнотою висвітлені у статтях, що публікувалися у наукових фахових виданнях України, наукометричних базах

та пройшли апробацію на наукових семінарах і конференціях.

Актуальність, достатній науковий рівень, практична цінність та впровадження результатів досліджень свідчать про те, що виконана дисертантом робота за темою "Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу" відповідає вимогам п. п. 9, 11, 12 "Порядку присудження наукових ступенів", затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 року № 567 із змінами, внесеними згідно з Постановами КМ № 656 від 19.08.2015 р., № 1159 від 30.12.2015 р. і п. 1 ("Теоретичні й експериментальні дослідження рухомого складу"), п. 2 ("Технічна експлуатація рухомого складу, підвищення надійності й ефективності його використання") та п. 11 ("Конструкція, динаміка рухомого складу") паспорту спеціальності 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів, який затверджено постановою президії ВАК України № 40-08/7 від 8 жовтня 2008 року, а її автор Мурадян Леонтій Абрамович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів.

**Офіційний опонент:**

**доктор технічних наук, професор,  
Український державний університет  
залізничного транспорту,  
завідувач кафедри інженерії вагонів  
та якості продукції**



**І. Е. Мартипов**  
*І. Е. Мартипов*  
*Олена Олександрівна*

*124-48/42*  
*в.р. 10.03.21*



## **ВІДГУК**

офіційного опонента

на дисертаційну роботу «Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу» автора Леонтія Абрамовича Мурадяна, яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів

### **1. Загальна характеристика дисертації**

Дисертацію виконано у ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна МОН України, написано українською мовою. Повний обсяг складає 377 сторінок, з яких основного тексту - 318 сторінок, які містять 85 рисунків та 17 таблиць. Список використаних джерел із 267 найменувань на 25 сторінках; 4 додатки.

Автореферат дисертації відповідає вимогам. Структура, порядок викладення та оформлення матеріалу у дисертації та авторефераті відповідає «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 656 від 19.08.2015).

### **Актуальність теми дисертації, її зв'язок із науковими програмами**

Надмірна зношеність рухомого складу становить реальну загрозу безпеці руху поїздів. Вантажні вагони фізично і морально застарілих типів спричиняють підвищену дію на колійну структуру. Для підтримання рухомого складу у належному стані необхідні реалізація новітніх технічних рішень та систем технічного обслуговування і ремонту, що підвищить безпеку перевізного процесу та конкурентоспроможність перевезень.

Таким чином, тема дисертації актуальна.

Дисертацію виконано у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі, що визначені в Національній транспортній стратегії України до 2030 р. (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430 р.), Вона пов'язана з науково-дослідними роботами, що виконувалися в Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Випробування зразків нової техніки у дослідних маршрутах на напрямку Роковата – Ужгород-Кошице» (ДР № 0106U002252), «Розробка інноваційних конструкцій вантажних вагонів для гірських залізниць з урахуванням новітніх матеріалів та застосуванням сучасних технологій зварювання» (ДР № 0116U003751), у яких автор брав участь як виконавець та співавтор звітів; «Визначення сили натиснення на гальмівні колодки пасажирських вагонів з урахуванням навантаження на колесо. Експлуатаційні випробування колодок гальмівних залізничного транспорту» (№ ДР 0116U006842); «Експлуатаційні випробування втулок з

композиційних матеріалів та виробів поліуретанових для вантажних вагонів» (ДР № 0116U003752), у яких автор є керівником та автором звітів..

### **3. Ступінь обґрунтованості наукових досліджень, висновків та рекомендацій**

Наукові висновки і рекомендації, які отримано автором, є обґрунтованими і впливають безпосередньо з її змісту. Про це свідчить їх впровадження у ПАТ «Укрзалізниця» - у вигляді окремих звітів з експлуатаційних досліджень; у навчальному процесі - під час підготовки бакалаврів та магістрів за спеціальністю 273 - залізничний транспорт, дипломного проектування; у ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» - під час розробки нових та модернізації старих вагонів; у ВАТ «Інтерпайп НТЗ» (Україна), яке прийняло до впровадження результати експериментальних досліджень; у ремонтних вагонних депо «Батуринська», «Нижньодніпровськ-Вузол», для яких надані рекомендації щодо стратегії виконання технічного обслуговування та ремонту вагонів; у ВАТ «Трибо» (Україна), якому надані рекомендації щодо нових композиційних гальмівних колодок, та результати їх експериментальних досліджень. Це підтверджено відповідними актами.

### **4. Достовірність і новизна наукових результатів**

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій дисертації обумовлена відповідністю прийнятих припущень щодо характеру проблеми, яка вирішується, обґрунтованим вибором методів досліджень, програмами проведення випробувань і обробки результатів, сучасними технічними засобами експериментальних досліджень. Ступінь достовірності наукових положень, розрахунків і експериментальних даних вважаю достатньою.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розвитку теоретичних положень, методологічних основ та практичних засобів спрямованих на забезпечення безпеки технічної експлуатації рухомого складу як модернізованого, так і транспортних засобів нового покоління.

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-прикладну проблему щодо забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу, підвищення ефективного їх використання та поліпшення стану безпеки руху:

- вперше отримано структурну модель для оцінки граничного ресурсу складових елементів конструкції вагона з урахуванням виконання регламентних ремонтних робіт на етапі експлуатації та ремонту;

- вперше розроблено методологію оцінки надійності вантажних вагонів протягом життєвого циклу з використанням елементів нечіткої логіки та інтелектуальних систем, що враховує неоднорідний характер інформації про особливості їх експлуатації;

- вперше сформульовано поняття коефіцієнта функціональної надійності



вантажних вагонів, за допомогою якого можна оцінити гарантований термін безпечної експлуатації вагона впродовж життєвого циклу з урахуванням показників функціонування вантажних вагонів, а також умов експлуатації;

- удосконалено систему досліджень показників надійності вантажних вагонів, у якій аналізується інформація про відмови що, на відміну від діючої, дозволяє врахувати індивідуальні особливості вагонів упродовж усього життєвого циклу;

- удосконалено математичну модель зміни технічного стану вантажного вагона, у якій розроблено послідовність визначення показників надійності вагонів та прогнозування кількісних показників надійності окремих деталей та вузлів що, на відміну від існуючих, дозволяє здійснювати оцінку технічного стану вагона впродовж життєвого циклу з урахуванням конкретних експлуатаційних умов;

- удосконалено математичну модель процесу взаємодії контактуючих деталей вагона для визначення величини зношування деталей та з'єднань елементів вантажних вагонів упродовж життєвого циклу з урахуванням законів розподілу випадкових величин відмов окремих елементів що, на відміну від існуючих, дозволяє враховувати показники надійності всіх основних комплектуючих елементів вагонів та прогнозувати терміни безпечної їх експлуатації;

- удосконалено математичну модель процесу зміни технічного стану вагона впродовж життєвого циклу з визначенням відмов ресурсо-визначальних елементів вантажних вагонів, завдяки врахуванню в ній ймовірнісних показників зміни технічного стану окремих ресурсо-визначальних елементів що, на відміну від існуючих, дозволяє враховувати зміну фізико-механічних характеристик ресурсо-визначальних елементів;

- удосконалено математичну модель теплового балансу триботехнічної пари механічної системи вагона, яка дозволяє на початку життєвого циклу (етап проектування), підбирати матеріали гальмівних колодок з необхідними фізико-хімічними, механічними та триботехнічними властивостями із забезпеченням безпечної та ефективної роботи гальмівної системи й підвищення рівня надійності в процесі експлуатації вантажних вагонів що, на відміну від існуючих, дозволяє врахувати поглинання й розсіювання теплоти в колісній парі й відтік її від гальмівної колодки до колеса, та оцінити ефективність гальмування;

- удосконалено метод розрахунку показників надійності вагонів на етапі життєвого циклу - виготовлення, що, на відміну від існуючого, передбачає можливість прогнозування відмов з урахуванням особливостей технологічного процесу виготовлення складових елементів вагона із запобіганням виникненню

дефектів у процесі подальшої експлуатації;

- удосконалено метод оцінки експлуатаційних характеристик вантажних вагонів що, на відміну від існуючого, містить контрольовані параметри для системи дослідження надійності вантажних вагонів як свідчення (симптоми), які визначаються впродовж етапу життєвого циклу - експлуатація, і дають можливість визначити та підвищити необхідні показники надійності вантажних вагонів за комплексними ознаками та скоротити непродуктивні експлуатаційні витрати;

- набув подальшого розвитку метод визначення термінів проведення технічного обслуговування та регламентних видів ремонту вантажних вагонів упродовж етапу життєвого циклу - експлуатація, що, на відміну від існуючого, містить комплекс показників експлуатаційної надійності: коефіцієнт готовності, ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності виконання завдань, на основі яких здійснюється корегування термінів проведення регламентних робіт для відповідних моделей вантажних вагонів з урахуванням умов експлуатації;

- набув подальшого розвитку метод визначення показників надійності вантажних вагонів протягом життєвого циклу, що базується на аналізі та синтезі теоретико-експериментальних даних про технічний стан та основні показники надійності вагона як механічної багатоелементної системи, що, на відміну від існуючого, дозволяє оцінити безвідмовність і технічний стан вантажного вагона за ресурсо-визначальним елементом та створити умови для запобігання відмовам.

#### **5. Практична значність основних результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати, що отримано в дисертаційній роботі, можуть бути використані для вирішення проблеми підвищення надійності вантажних вагонів та безпеки руху на залізницях України та інших держав на усіх етапах життєвого циклу. Розроблена система досліджень надійності вантажних вагонів дозволяє відстежувати зміну їх технічного стану на етапі життєвого циклу - експлуатація, корегувати та вчасно впроваджувати керівні дії для забезпечення безпеки руху.

#### **6. Повнота викладання основних результатів наукових досліджень дисертації в опублікованих працях**

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 41 науковій праці, з яких: 24 наукові статі надруковано у фахових виданнях, з яких 11 - у закордонних виданнях та в журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, 28 публікацій апробаційного характеру і тез доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій, а також 1 патент та 3 свідоцтва про авторське право на твір.

#### **7. Науковий внесок автора в роботах, які опубліковано у**



## **співавторстві**

Цей внесок міститься у наступному: автором розроблено теоретичні та методологічні аспекти до побудови системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів; отримано результати випробувань гальмівних колодок вагонів; аналіз можливих причин скорочення ресурсу роботи залізничних коліс; теоретичному обґрунтованні планів досліджень надійності механічних систем; науковому обґрунтуванні зниження ресурсу вантажних вагонів на дослідних маршрутах; розробки методології з визначення технічного стану вагонів при експлуатації; обґрунтованні можливості підвищення показників надійності при технічному обслуговуванні та ремонті; запропонованні технічних рішень до удосконалення п'ятникового вузла вантажного вагона; проведені експлуатаційні дослідження литих залізничних коліс; запропонованні удосконалення гальмівної колодки; аналізі відмов та надійності вантажних вагонів; обґрунтуванні можливості застосування засобів захисту сучасного рухомого складу; обґрунтуванні можливості застосування основних законів розподілу випадкових величин; запропоновано методологію визначення надійності вантажних вагонів; аналіз несправностей гальмівної системи вантажних вагонів; аналіз результатів утворення дефектів на поверхні кочення суцільнокатаних коліс при експлуатації; здійснено аналіз експлуатаційних показників високоміцних залізничних коліс; аналіз статистичних даних щодо зносу основних елементів піввагонів при експлуатаційних випробуваннях; запропоновано схему технічного рішення для корисної моделі при здійсненні вимірів дефектів залізничних коліс.

### **3. Використання у докторській дисертації положень та результатів кандидатської дисертації**

Здобувач не виносить на захист докторської дисертації наукові положення та результати, які були захищені у його дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

### **4. Достатність апробації дисертаційних матеріалів**

Достатню апробацію дисертаційних матеріалів підтверджують опубліковані доповіді на міжнародних і відомчих науково-технічних конференціях та документи, що засвідчують використання результатів дисертаційної роботи.

У повному обсязі дисертація доповідалась та була схвалена на між кафедральному науковому семінарі у ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна (25.02.2020 р.).

### **5. Оцінка змісту дисертації та автореферату**

Текст дисертаційної роботи викладено чітко, послідовно, логічно. Стиль викладу змісту роботи відповідає нормам, прийнятим у науковій літературі,

дисертація й автореферат оформлені відповідно до чинних вимог.

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дослідження, міститься загальна характеристика роботи, сформульована мета та задачі роботи, визначено об'єкт і предмет дослідження, наукова новизна та практичне значення, розглянуто зв'язок з науковими програмами, темами, наведені відомості щодо публікації основних результатів та апробації їх на наукових конференціях та семінарах.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану науково-прикладної проблеми забезпечення надійності вантажних вагонів.

За проведеним аналітичним оглядом визначено низку науково-технічних питань, вирішення яких має сприяти підвищенню безпеки руху поїздів. На цій підставі сформульовано завдання дисертації.

У **другому розділі** містяться результати теоретичних досліджень показників надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу. Запропоновано структурну схему дослідження надійності об'єкта на прикладі вантажного вагона, яка охоплює конструкторську, технологічну та експлуатаційну надійність. Автор пропонує визначення для ймовірності безвідмовної роботи вагона при накопиченні пошкоджень матеріалів у його структурних елементах. Розроблено удосконалену математичну модель для прогнозування надійності вагонів, на основі якої можна прогнозувати кількісні показники надійності деталей та вузлів, або вагона в цілому.

У **третьому розділі** проведено математичне моделювання процесів формування показників надійності вагонів на етапах життєвого циклу.

Запропоновано вираз, що дозволяє на етапі розробки та проектування, дати оцінку теоретичному граничному ресурсу структурних елементів вагона з урахуванням виконання технічного обслуговування, поточного, деповського, капітального ремонтів, та впровадження інноваційних конструктивних та технологічних рішень, нових матеріалів, технологій, що змінюють значення величин зносу і відповідно мають прямий вплив на ресурс. Сформовано поняття та отримано вираз для коефіцієнта функціональної надійності вагонів, що вказує на небезпеку подальшої їх експлуатації. Отримано залежності для визначення температурного поля колодкового гальма в процесі експлуатації.

Запропоновано залежності ймовірності безвідмовної роботи, коефіцієнта готовності та ймовірності виконання задач - залежно від часової функції, для визначення оптимального періоду проведення поточних, деповських та капітальних ремонтів. Запропоновано здійснювати перехід від структурних елементів вантажного вагона - до вагона в цілому, і переходити до оцінки показників надійності вантажних вагонів у цілому.

У **четвертому розділі** викладено формування системи дослідження надійності вантажних вагонів різних конструкцій. Приведено алгоритм для



побудови моделей відмов вантажних вагонів і зроблено поєднання двох незалежних моделей (за відмовами і за зміною фізико-механічних характеристик). Побудовано індивідуальну модель вантажного вагону, яка дозволяє оптимізувати кількість ремонтів впродовж життєвого циклу вагона відповідно до конструктивних особливостей і з урахуванням ймовірності безвідмовної роботи ресурсо-визначального елемента вагона. Запропоновано систему досліджень показників надійності вантажних вагонів: на основі знань про зв'язок ознак несправностей і самої несправності відповідного вантажного вагона, отримано підсумковий коефіцієнт впевненості гіпотез при заданих відношеннях апріорних ймовірностей справедливості гіпотез з певними ознаками несправностей вантажних вагонів.

У п'ятому розділі наведено результати дослідження показників надійності вантажних вагонів і експериментальні результати. В роботі розглянуто методологічні підходи до оцінки експлуатаційних характеристик нових і модернізованих вантажних вагонів, а також побудовано плани випробувань їх надійності, що включають довірчі інтервали інтенсивності відмов при експоненціальному розподілі і різних планах випробувань.

Проведення досліджень за методикою, що запропонована, дозволяє сформулювати раціональний план експлуатаційних випробувань вантажних вагонів, і визначити точкові та інтервальні оцінки під час аналізу результатів випробувань, та більш точно визначити показники їх надійності.

Експлуатаційні випробування 50-ти піввагонів моделі 12-7023, що проведені на дослідному маршруті №2 Кривий Ріг-Ужгород-Кошице, визначили інтенсивність їх експлуатаційних зносів і показників надійності.

Експлуатаційні дослідження підтвердили теоретичні основи застосування розробленого математичного апарату для визначення та прогнозування показників надійності вантажних вагонів.

Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на різних етапах життєвого циклу надає можливість перебудувати послідовність та кількість технічних дій у існуючій планово-попереджувальній системі з урахуванням технічного стану структурних елементів вантажного вагона. Для вантажних вагонів, які досліджувалися, сформовано структуру проведення деповських та капітальних ремонтів, яка відрізняється з існуючою.

Результати стендових випробувань гальмівних композиційних колодок довели адекватність розробленої теплової моделі для взаємодіючих елементів «колодка - колесо» до результатів експериментальних досліджень: похибка не перевищувала 15%. Результати експлуатаційних досліджень дозволяють наповнити базу знань системи показників надійності вантажних вагонів, що призначена для моніторингу їх технічного стану і забезпечення безпеки руху.

Зміст дисертації, її основні результати та висновки в повній мірі відображені в авторефераті. Зміст автореферату та дисертації ідентичні.

**Зауваження:**

1. Не обґрунтовано зв'язок між розробленими моделями відмов та створеною системою досліджень надійності вантажних вагонів.
2. Недостатньо прояснено вплив підвищення температури в зоні контакту колесо-колодка на надійність вагона.
3. Не повною мірою розкрито переваги теплового розрахунку взаємодії колесо - колодка в порівнянні з відомими роботами.
4. При розрахунку показників надійності на етапі експлуатації відсутній розрахунок коефіцієнта технічного використання.
5. Як в дисертації, так і в авторефераті, якість рисунків «Структурна схема візка вантажного вагона» та «Структурна схема вагонної букси» унеможлиблює їх сприйняття.

**Висновок.** Актуальність, високий науковий рівень, практична цінність та рівень впровадження розробок, що пропонуються, свідчать про те, що дисертаційна робота «Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, яка містить отримані автором нові, раніше не захищені, науково-обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати в галузі рухомого складу залізничного транспорту, що у сукупності дозволило розв'язати важливу науково-практичну проблему. Дисертація відповідає вимогам п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами: Постанова КМ N 656 від 19.08.2015) до докторських дисертацій, а здобувач, Леонтій Абрамович Мурадян, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів.

**Офіційний опонент:** д...р техн. наук,  
професор кафедри електричного  
транспорту та тепловозобудування  
Національного технічного  
університету «ХПІ», професор



Вячеслав МАСЛІЄВ





## **ВІДГУК**

офіційного опонента

на дисертаційну роботу «Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу» автора Леонтія Абрамовича Мурадяна, яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів

### **1. Загальна характеристика дисертації**

Дисертацію виконано у ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна МОН України, написано українською мовою. Повний обсяг складає 377 сторінок, з яких основного тексту - 318 сторінок, які містять 85 рисунків та 17 таблиць. Список використаних джерел із 267 найменувань на 25 сторінках; 4 додатки.

Автореферат дисертації відповідає вимогам. Структура, порядок викладення та оформлення матеріалу у дисертації та авторефераті відповідає «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановою КМ № 656 від 19.08.2015).

### **Актуальність теми дисертації, її зв'язок із науковими програмами**

Надмірна зношеність рухомого складу становить реальну загрозу безпеці руху поїздів. Вантажні вагони фізично і морально застарілих типів спричиняють підвищену дію на колійну структуру. Для підтримання рухомого складу у належному стані необхідні реалізація новітніх технічних рішень та систем технічного обслуговування і ремонту, що підвищить безпеку перевізного процесу та конкурентоспроможність перевезень.

Таким чином, тема дисертації актуальна.

Дисертацію виконано у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі, що визначені в Національній транспортній стратегії України до 2030 р. (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 № 430 р.), Вона пов'язана з науково-дослідними роботами, що виконувалися в Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Випробування зразків нової техніки у дослідних маршрутах на напрямку Роковата – Ужгород-Кошице» (ДР № 0106U002252), «Розробка інноваційних конструкцій вантажних вагонів для гірських залізниць з урахуванням новітніх матеріалів та застосуванням сучасних технологій зварювання» (ДР № 0116U003751), у яких автор брав участь як виконавець та співавтор звітів; «Визначення сили натиснення на гальмівні колодки пасажирських вагонів з урахуванням навантаження на колесо. Експлуатаційні випробування колодок гальмівних залізничного транспорту» (№ ДР 0116U006842); «Експлуатаційні випробування втулок з

композиційних матеріалів та виробів поліуретанових для вантажних вагонів» (ДР № 0116U003752), у яких автор є керівником та автором звітів..

### **3. Ступінь обгрунтованості наукових досліджень, висновків та рекомендацій**

Наукові висновки і рекомендації, які отримано автором, є обгрунтованими і впливають безпосередньо з її змісту. Про це свідчить їх впровадження у ПАТ «Укрзалізниця» - у вигляді окремих звітів з експлуатаційних досліджень; у навчальному процесі - під час підготовки бакалаврів та магістрів за спеціальністю 273 - залізничний транспорт, дипломного проектування; у ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» - під час розробки нових та модернізації старих вагонів; у ВАТ «Інтерпайп НТЗ» (Україна), яке прийняло до впровадження результати експериментальних досліджень; у ремонтних вагонних депо «Батуринська», «Нижньодніпровськ-Вузол», для яких надані рекомендації щодо стратегії виконання технічного обслуговування та ремонту вагонів; у ВАТ «Трибо» (Україна), якому надані рекомендації щодо нових композиційних гальмівних колодок, та результати їх експериментальних досліджень. Це підтверджено відповідними актами.

### **4. Достовірність і новизна наукових результатів**

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій дисертації обумовлена відповідністю прийнятих припущень щодо характеру проблеми, яка вирішується, обгрутованим вибором методів досліджень, програмами проведення випробувань і обробки результатів, сучасними технічними засобами експериментальних досліджень. Ступінь достовірності наукових положень, розрахунків і експериментальних даних вважаю достатньою.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в розвитку теоретичних положень, методологічних основ та практичних засобів спрямованих на забезпечення безпеки технічної експлуатації рухомого складу як модернізованого, так і транспортних засобів нового покоління.

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-прикладну проблему щодо забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу, підвищення ефективного їх використання та поліпшення стану безпеки руху:

- вперше отримано структурну модель для оцінки граничного ресурсу складових елементів конструкції вагона з урахуванням виконання регламентних ремонтних робіт на етапі експлуатації та ремонту;

- вперше розроблено методологію оцінки надійності вантажних вагонів протягом життєвого циклу з використанням елементів нечіткої логіки та інтелектуальних систем, що враховує неоднорідний характер інформації про особливості їх експлуатації;

- вперше сформульовано поняття коефіцієнта функціональної надійності



вантажних вагонів, за допомогою якого можна оцінити гарантований термін безпечної експлуатації вагона впродовж життєвого циклу з урахуванням показників функціонування вантажних вагонів, а також умов експлуатації;

- удосконалено систему досліджень показників надійності вантажних вагонів, у якій аналізується інформація про відмови що, на відміну від діючої, дозволяє врахувати індивідуальні особливості вагонів упродовж усього життєвого циклу;

- удосконалено математичну модель зміни технічного стану вантажного вагона, у якій розроблено послідовність визначення показників надійності вагонів та прогнозування кількісних показників надійності окремих деталей та вузлів що, на відміну від існуючих, дозволяє здійснювати оцінку технічного стану вагона впродовж життєвого циклу з урахуванням конкретних експлуатаційних умов;

- удосконалено математичну модель процесу взаємодії контактуючих деталей вагона для визначення величини зношування деталей та з'єднань елементів вантажних вагонів упродовж життєвого циклу з урахуванням законів розподілу випадкових величин відмов окремих елементів що, на відміну від існуючих, дозволяє враховувати показники надійності всіх основних комплектуючих елементів вагонів та прогнозувати терміни безпечної їх експлуатації;

- удосконалено математичну модель процесу зміни технічного стану вагона впродовж життєвого циклу з визначенням відмов ресурсо-визначальних елементів вантажних вагонів, завдяки врахуванню в ній ймовірнісних показників зміни технічного стану окремих ресурсо-визначальних елементів що, на відміну від існуючих, дозволяє враховувати зміну фізико-механічних характеристик ресурсо-визначальних елементів;

- удосконалено математичну модель теплового балансу триботехнічної пари механічної системи вагона, яка дозволяє на початку життєвого циклу (етап проектування), підбирати матеріали гальмівних колодок з необхідними фізико-хімічними, механічними та триботехнічними властивостями із забезпеченням безпечної та ефективної роботи гальмівної системи й підвищення рівня надійності в процесі експлуатації вантажних вагонів що, на відміну від існуючих, дозволяє врахувати поглинання й розсіювання теплоти в колісній парі й відтік її від гальмівної колодки до колеса, та оцінити ефективність гальмування;

- удосконалено метод розрахунку показників надійності вагонів на етапі життєвого циклу - виготовлення, що, на відміну від існуючого, передбачає можливість прогнозування відмов з урахуванням особливостей технологічного процесу виготовлення складових елементів вагона із запобіганням виникненню

дефектів у процесі подальшої експлуатації;

- удосконалено метод оцінки експлуатаційних характеристик вантажних вагонів що, на відміну від існуючого, містить контрольовані параметри для системи дослідження надійності вантажних вагонів як свідчення (симптоми), які визначаються впродовж етапу життєвого циклу - експлуатація, і дають можливість визначити та підвищити необхідні показники надійності вантажних вагонів за комплексними ознаками та скоротити непродуктивні експлуатаційні витрати;

- набув подальшого розвитку метод визначення термінів проведення технічного обслуговування та регламентних видів ремонту вантажних вагонів упродовж етапу життєвого циклу - експлуатація, що, на відміну від існуючого, містить комплекс показників експлуатаційної надійності: коефіцієнт готовності, ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності виконання завдань, на основі яких здійснюється корегування термінів проведення регламентних робіт для відповідних моделей вантажних вагонів з урахуванням умов експлуатації;

- набув подальшого розвитку метод визначення показників надійності вантажних вагонів протягом життєвого циклу, що базується на аналізі та синтезі теоретико-експериментальних даних про технічний стан та основні показники надійності вагона як механічної багатоелементної системи, що, на відміну від існуючого, дозволяє оцінити безвідмовність і технічний стан вантажного вагона за ресурсо-визначальним елементом та створити умови для запобігання відмовам.

#### **5. Практична значність основних результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати, що отримано в дисертаційній роботі, можуть бути використані для вирішення проблеми підвищення надійності вантажних вагонів та безпеки руху на залізницях України та інших держав на усіх етапах життєвого циклу. Розроблена система досліджень надійності вантажних вагонів дозволяє відстежувати зміну їх технічного стану на етапі життєвого циклу - експлуатація, корегувати та вчасно впроваджувати керівні дії для забезпечення безпеки руху.

#### **6. Повнота викладання основних результатів наукових досліджень дисертації в опублікованих працях**

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 41 науковій праці, з яких: 24 наукові статі надруковано у фахових виданнях, з яких 11 - у закордонних виданнях та в журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, 28 публікацій апробаційного характеру і тез доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій, а також 1 патент та 3 свідоцтва про авторське право на твір.

#### **7. Науковий внесок автора в роботах, які опубліковано у**



## **співавторстві**

Цей внесок міститься у наступному: автором розроблено теоретичні та методологічні аспекти до побудови системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів; отримано результати випробувань гальмівних колодок вагонів; аналіз можливих причин скорочення ресурсу роботи залізничних коліс; теоретичному обґрунтовані планів досліджень надійності механічних систем; науковому обґрунтуванні зниження ресурсу вантажних вагонів на дослідних маршрутах; розробки методології з визначення технічного стану вагонів при експлуатації; обґрунтовані можливості підвищення показників надійності при технічному обслуговуванні та ремонті; запропонованні технічних рішень до удосконалення п'ятникового вузла вантажного вагона; проведені експлуатаційні дослідження литих залізничних коліс; запропонованні удосконалення гальмівної колодки; аналізі відмов та надійності вантажних вагонів; обґрунтуванні можливості застосування засобів захисту сучасного рухомого складу; обґрунтуванні можливості застосування основних законів розподілу випадкових величин; запропоновано методологію визначення надійності вантажних вагонів; аналіз несправностей гальмівної системи вантажних вагонів; аналіз результатів утворення дефектів на поверхні кочення суцільнокатаних коліс при експлуатації; здійснено аналіз експлуатаційних показників високошвидкісних залізничних коліс; аналіз статистичних даних щодо зносу основних елементів піввагонів при експлуатаційних випробуваннях; запропоновано схему технічного рішення для корисної моделі при здійсненні вимірів дефектів залізничних коліс.

### **3. Використання у докторській дисертації положень та результатів кандидатської дисертації**

Здобувач не виносить на захист докторської дисертації наукові положення та результати, які були захищені у його дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

### **4. Достатність апробації дисертаційних матеріалів**

Достатню апробацію дисертаційних матеріалів підтверджують опубліковані доповіді на міжнародних і відомчих науково-технічних конференціях та документи, що засвідчують використання результатів дисертаційної роботи.

У повному обсязі дисертація доповідалась та була схвалена на між кафедральному науковому семінарі у ДНУЗТ імені академіка В. Лазаряна (25.02.2020 р.).

### **5. Оцінка змісту дисертації та автореферату**

Текст дисертаційної роботи викладено чітко, послідовно, логічно. Стиль викладу змісту роботи відповідає нормам, прийнятим у науковій літературі,

дисертація й автореферат оформлені відповідно до чинних вимог.

У **вступі** обґрунтована актуальність теми дослідження, міститься загальна характеристика роботи, сформульована мета та задачі роботи, визначено об'єкт і предмет дослідження, наукова новизна та практичне значення, розглянуто зв'язок з науковими програмами, темами, наведені відомості щодо публікації основних результатів та апробації їх на наукових конференціях та семінарах.

У **першому розділі** проведено аналіз сучасного стану науково-прикладної проблеми забезпечення надійності вантажних вагонів.

За проведеним аналітичним оглядом визначено низку науково-технічних питань, вирішення яких має сприяти підвищенню безпеки руху поїздів. На цій підставі сформульовано завдання дисертації.

У **другому розділі** містяться результати теоретичних досліджень показників надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу. Запропоновано структурну схему дослідження надійності об'єкта на прикладі вантажного вагона, яка охоплює конструкторську, технологічну та експлуатаційну надійність. Автор пропонує визначення для ймовірності безвідмовної роботи вагона при накопиченні пошкоджень матеріалів у його структурних елементах. Розроблено удосконалену математичну модель для прогнозування надійності вагонів, на основі якої можна прогнозувати кількісні показники надійності деталей та вузлів, або вагона в цілому.

У **третьому розділі** проведено математичне моделювання процесів формування показників надійності вагонів на етапах життєвого циклу.

Запропоновано вираз, що дозволяє на етапі розробки та проектування, дати оцінку теоретичному граничному ресурсу структурних елементів вагона з урахуванням виконання технічного обслуговування, поточного, деповського, капітального ремонтів, та впровадження інноваційних конструктивних та технологічних рішень, нових матеріалів, технологій, що змінюють значення величин зносу і відповідно мають прямий вплив на ресурс. Сформовано поняття та отримано вираз для коефіцієнта функціональної надійності вагонів, що вказує на небезпеку подальшої їх експлуатації. Отримано залежності для визначення температурного поля колодкового гальма в процесі експлуатації.

Запропоновано залежності ймовірності безвідмовної роботи, коефіцієнта готовності та ймовірності виконання задач - залежно від часової функції, для визначення оптимального періоду проведення поточних, деповських та капітальних ремонтів. Запропоновано здійснювати перехід від структурних елементів вантажного вагона - до вагона в цілому, і переходити до оцінки показників надійності вантажних вагонів у цілому.

У **четвертому розділі** викладено формування системи дослідження надійності вантажних вагонів різних конструкцій. Приведено алгоритм для



побудови моделей відмов вантажних вагонів і зроблено поєднання двох незалежних моделей (за відмовами і за зміною фізико-механічних характеристик). Побудовано індивідуальну модель вантажного вагону, яка дозволяє оптимізувати кількість ремонтів впродовж життєвого циклу вагона відповідно до конструктивних особливостей і з урахуванням ймовірності безвідмовної роботи ресурсо-визначального елемента вагона. Запропоновано систему досліджень показників надійності вантажних вагонів: на основі знань про зв'язок ознак несправностей і самої несправності відповідного вантажного вагона, отримано підсумковий коефіцієнт впевненості гіпотез при заданих відношеннях апріорних ймовірностей справедливості гіпотез з певними ознаками несправностей вантажних вагонів.

У п'ятому розділі наведено результати дослідження показників надійності вантажних вагонів і експериментальні результати. В роботі розглянуто методологічні підходи до оцінки експлуатаційних характеристик нових і модернізованих вантажних вагонів, а також побудовано плани випробувань їх надійності, що включають довірчі інтервали інтенсивності відмов при експоненціальному розподілі і різних планах випробувань.

Проведення досліджень за методикою, що запропонована, дозволяє сформувати раціональний план експлуатаційних випробувань вантажних вагонів, і визначити точкові та інтервальні оцінки під час аналізу результатів випробувань, та більш точно визначити показники їх надійності.

Експлуатаційні випробування 50-ти піввагонів моделі 12-7023, що проведені на дослідному маршруті №2 Кривий Ріг-Ужгород-Кошице, визначили інтенсивність їх експлуатаційних зносів і показників надійності.

Експлуатаційні дослідження підтвердили теоретичні основи застосування розробленого математичного апарату для визначення та прогнозування показників надійності вантажних вагонів.

Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на різних етапах життєвого циклу надає можливість перебудувати послідовність та кількість технічних дій у існуючій планово-попереджувальній системі з урахуванням технічного стану структурних елементів вантажного вагона. Для вантажних вагонів, які досліджувалися, сформовано структуру проведення деповських та капітальних ремонтів, яка відрізняється з існуючою.

Результати стендових випробувань гальмівних композиційних колодок довели адекватність розробленої теплової моделі для взаємодіючих елементів «колодка - колесо» до результатів експериментальних досліджень: похибка не перевищувала 15%. Результати експлуатаційних досліджень дозволяють наповнити базу знань системи показників надійності вантажних вагонів, що призначена для моніторингу їх технічного стану і забезпечення безпеки руху.

Зміст дисертації, її основні результати та висновки в повній мірі відображені в авторефераті. Зміст автореферату та дисертації ідентичні.

**Зауваження:**

1. Не обґрунтовано зв'язок між розробленими моделями відмов та створеною системою досліджень надійності вантажних вагонів.
2. Недостатньо прояснено вплив підвищення температури в зоні контакту колесо-колодка на надійність вагона.
3. Не повною мірою розкрито переваги теплового розрахунку взаємодії колесо - колодка в порівнянні з відомими роботами.
4. При розрахунку показників надійності на етапі експлуатації відсутній розрахунок коефіцієнта технічного використання.
5. Як в дисертації, так і в авторефераті, якість рисунків «Структурна схема візка вантажного вагона» та «Структурна схема вагонної букси» унеможлиблює їх сприйняття.

**Висновок.** Актуальність, високий науковий рівень, практична цінність та рівень впровадження розробок, що пропонуються, свідчать про те, що дисертаційна робота «Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, яка містить отримані автором нові, раніше не захищені, науково-обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати в галузі рухомого складу залізничного транспорту, що у сукупності дозволило розв'язати важливу науково-практичну проблему. Дисертація відповідає вимогам п. 9, 10, 12 «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами: Постанова КМ N 656 від 19.08.2015) до докторських дисертацій, а здобувач, Леонтій Абрамович Мурадян, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів.

**Офіційний опонент:** д...р техн. наук,

професор кафедри електричного транспорту та тепловозобудування

Національного технічного університету «ХПІ», професор





## ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу Мурадяна Л. А., яку представлено на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук: «Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу», за спеціальністю 05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів

### **1. Загальна характеристика дисертації**

Дисертація виконано у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна МОН України. Повний обсяг роботи складає 377 сторінок, з яких основного тексту - 318 сторінок, які містять 85 рисунків та 17 таблиць. Розташовані на окремих сторінках рисунки та таблиці займають 10 сторінок. Список використаних джерел із 290 найменувань на 21 сторінках; 4 додатки викладено на 38 сторінках.

Дисертація та автореферат дисертації написані українською мовою.

Структура, обсяг основного тексту, порядок викладення та оформлення матеріалу у дисертації та авторефераті відповідає «Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету міністрів України №567 від 24 липня 2013 р. (зі змінами, внесеними згідно з Постановами КМ №656 від 19.08.2015 р., №1159 від 30.12.2015р., №567 від 27.07.2016 р.), та наказу МОН України «Вимоги до оформлення дисертацій» від 12.01.2017 р. №40.

### **2. Актуальність теми дисертації, її зв'язок із науковими програмами**

Вантажні перевезення є основною дохідною діяльністю вітчизняних залізниць, при цьому відмови вантажних вагонів, за статистичними даними на залізничному транспорті, займають значну частку в усій структурі відмов.

Одна з основних задач залізничного транспорту є безпека руху, на що безпосередньо впливає надійність рухомого складу.

Як відомо, на надійність вагонів впливає багато факторів, серед яких: особливості конструкції й технології виготовлення всіх їх складових, умови експлуатації й система технічного обслуговування та ремонту.

Кількість відмов рухомого складу з урахуванням його сучасного стану є істотним. Для підтримання рухомого складу у належному стані необхідні реалізація новітніх технічних рішень та систем технічного обслуговування і ремонту, що гарантовано задовольнило б вимоги безпеки перевізного процесу та підвищило конкурентоспроможність залізничних перевезень.

Виходячи з наведених проблемних питань, можна стверджувати про актуальність теми дисертації, обраної здобувачем.

Важливим є те, що дисертацію виконано у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі, що визначені в Національній транспортній стратегії України до 2030 року (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 №430-р), а також пов'язана з науково-дослідними роботами, що виконувалися в Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Випробування зразків нової техніки у дослідних маршрутах на напрямку Роковата–Ужгород–Кошице» (ДР № 0106U002252), «Розробка інноваційних конструкцій вантажних вагонів для гірських залізниць з урахуванням новітніх матеріалів та застосуванням сучасних технологій зварювання» (ДР № 0116U003751), у яких автор брав участь як виконавець та співавтор звітів, та «Визначення сили натиснення на гальмівні колодки пасажирських вагонів з урахуванням навантаження на колесо. Експлуатаційні випробування колодок гальмівних залізничного транспорту» (№ ДР 0116U006842) та «Експлуатаційні випробування втулок з композиційних матеріалів та виробів поліуретанових для вантажних вагонів» (ДР № 0116U003752), у яких автор є керівником та автором звітів.

**3. Ступінь обґрунтованості наукових досліджень, висновків та рекомендацій**

Автором отримані та наведені у дисертаційній роботі наукові висновки і рекомендації є обґрунтованими і впливають безпосередньо з її змісту. Про обґрунтованість отриманих результатів свідчить також їх впровадження у ПАТ «Укрзалізниця» - у вигляді окремих звітів з експлуатаційних досліджень; у ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» - під час розробки нових та модернізації старих вагонів; у ВАТ «Інтерпайп НТЗ» (Україна), яке прийняло до впровадження результати експериментальних досліджень; у ремонтних вагонних депо «Батуринська», «Нижньодніпровськ-Вузол», для яких надані рекомендації щодо стратегії виконання технічного обслуговування та ремонту вагонів; у ВАТ «Трибо» (Україна), якому надані рекомендації щодо виготовлення нових композиційних гальмівних колодок, у навчальному процесі- під час підготовки магістрів за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт спеціалізації «Вагони та вагонне господарство» та дипломного проектування»; та результати експериментальних досліджень. Це підтверджено відповідними актами впровадження.

#### **4. Достовірність і новизна наукових результатів**

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій дисертації обумовлена відповідністю прийнятих припущень щодо характеру проблеми, що вирішується, обґрунтованим вибором методів досліджень, програмами проведення випробувань і обробки одержаних результатів, сучасними технічними засобами експериментальних досліджень. Ступінь достовірності наукових положень, розрахунків і експериментальних даних вважаю достатньою.

У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-прикладну проблему щодо поліпшення надійності вантажних вагонів та стану безпеки руху на етапах життєвого циклу, підвищення ефективного їх використання, а саме:

- вперше отримано структурну модель для оцінки граничного ресурсу складових елементів конструкції вагона з урахуванням виконання регламентних ремонтних робіт на етапі експлуатації та ремонту;

- вперше розроблено методологію оцінки надійності вантажних вагонів протягом життєвого циклу з використанням елементів нечіткої логіки та інтелектуальних систем, що враховує неоднорідний характер інформації про особливості їх експлуатації;

- вперше сформульовано поняття коефіцієнта функціональної надійності вантажних вагонів, за допомогою якого можна оцінити гарантований термін безпечної експлуатації вагона впродовж життєвого циклу з урахуванням показників функціонування вантажних вагонів, а також умов експлуатації;

- удосконалено систему досліджень показників надійності вантажних вагонів, у якій аналізується інформація про відмови, що, на відміну від діючої, дозволяє врахувати індивідуальні особливості вагонів упродовж усього життєвого циклу;

- удосконалено математичну модель зміни технічного стану вантажного вагона, у якій розроблено послідовність визначення показників надійності вагонів та прогнозування кількісних показників надійності окремих деталей та вузлів, що, на відміну від існуючих, дозволяє здійснювати оцінку технічного стану вагона впродовж життєвого циклу з урахуванням конкретних експлуатаційних умов;

- удосконалено математичну модель процесу взаємодії контактуючих деталей вагона для визначення величини зношування деталей та з'єднань елементів вантажних вагонів упродовж життєвого циклу з урахуванням законів розподілу випадкових величин відмов окремих елементів, що, на відміну від існуючих, дозволяє враховувати показники надійності всіх основних комплектуючих елементів вагонів та прогнозувати терміни безпечної їх експлуатації;

- удосконалено математичну модель процесу зміни технічного стану вагона впродовж життєвого циклу з визначенням відмов ресурсовизначальних елементів вантажних вагонів, завдяки врахуванню в ній ймовірнісних показників зміни технічного стану окремих



ресурсовизначальних елементів, що, на відміну від існуючих, дозволяє враховувати зміну фізико-механічних характеристик ресурсовизначальних елементів;

- удосконалено математичну модель теплового балансу триботехнічної пари механічної системи вагона, яка дозволяє на початку життєвого циклу - етап проектування, підбирати матеріали гальмівних колодок з необхідними фізикохімічними, механічними та триботехнічними властивостями із забезпеченням безпечної та ефективної роботи гальмівної системи й підвищення рівня надійності в процесі експлуатації вантажних вагонів, що, на відміну від існуючих, дозволяє врахувати поглинання й розсіювання теплоти в колісній парі й відтік її від гальмівної колодки до колеса, та оцінити ефективність гальмування;

- удосконалено метод розрахунку показників надійності вагонів на етапі життєвого циклу - виготовлення, що, на відміну від існуючого, передбачає можливість прогнозування відмов з урахуванням особливостей технологічного процесу виготовлення складових елементів вагона із запобіганням виникненню дефектів у процесі подальшої експлуатації;

- удосконалено метод оцінки експлуатаційних характеристик вантажних вагонів, що, на відміну від існуючого, містить контрольовані параметри для системи дослідження надійності вантажних вагонів як свідчення (симптоми), які визначаються впродовж етапу життєвого циклу - експлуатація, і дають можливість визначити та підвищити необхідні показники надійності вантажних вагонів за комплексними ознаками та скоротити непродуктивні експлуатаційні витрати;

- набув подальшого розвитку метод визначення термінів проведення технічного обслуговування та регламентних видів ремонту вантажних вагонів упродовж етапу життєвого циклу - експлуатація, що, на відміну від існуючого, містить комплекс показників експлуатаційної надійності: коефіцієнт готовності, ймовірності безвідмовної роботи та ймовірності виконання завдань, на основі яких здійснюється корегування термінів

проведення регламентних робіт для відповідних моделей вантажних вагонів з урахуванням умов експлуатації;

- набув подальшого розвитку метод визначення показників надійності вантажних вагонів протягом життєвого циклу, що базується на аналізі та синтезі теоретико-експериментальних даних про технічний стан та основні показники надійності вагона як механічної багатоелементної системи, що, на відміну від існуючого, дозволяє оцінити безвідмовність і технічний стан вантажного вагона за ресурсовизначальним елементом та створити умови для запобігання відмовам.

## **5. Практична значність основних результатів дисертаційної роботи**

Наукові результати, що отримано в дисертаційній роботі, можуть бути використані для вирішення проблеми підвищення надійності вантажних вагонів та безпеки руху на залізницях України та інших держав на усіх етапах життєвого циклу. Розроблена система досліджень надійності вантажних вагонів дозволяє відстежувати зміну їх технічного стану на етапі життєвого циклу - експлуатація, корегувати та вчасно впроваджувати керівні дії для забезпечення безпеки руху.

## **6. Повнота викладання основних результатів наукових досліджень дисертації в опублікованих працях**

Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 41 науковій праці, з яких: 24 наукові статі надруковано у фахових виданнях, з яких 11 - у закордонних виданнях та в журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, 28 публікацій апробаційного характеру і тез доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій, а також 1 патент та 3 свідоцтва про авторське право на твір.

## **7. Науковий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві**

Цей внесок міститься у наступному - автором запропоновані методологічні аспекти до побудови системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів; приведено результати випробувань гальмівних колодок вагонів; виконано аналіз можливих причин скорочення ресурсу роботи залізничних коліс; теоретично обґрунтовано плани досліджень надійності механічних систем; викладено наукове обґрунтування зниження ресурсу вантажних вагонів на дослідних маршрутах; удосконалено методи з визначення технічного стану вагонів в експлуатації; обґрунтовано можливість підвищення показників надійності при технічному обслуговуванні та ремонті; запропоновано технічні рішення до удосконалення п'ятникового вузла вантажного вагона; виконано експлуатаційні дослідження литих залізничних коліс; запропоновано варіанти удосконалення конструкції гальмівної колодки; виконано аналіз відмов та надійності вантажних вагонів; обґрунтовано можливості застосування засобів захисту сучасного рухомого складу; теоретично обґрунтовано можливість застосування основних законів розподілу випадкових величин; запропоновано методологію визначення надійності вантажних вагонів; виконано аналіз несправностей гальмівної системи вантажних вагонів; отримано результати утворення дефектів на поверхні кочення суцільнокатаних коліс при експлуатації; здійснено аналіз експлуатаційних показників високоміцних залізничних коліс; виконано обробку статистичних даних щодо зносу основних елементів піввагонів під час експлуатаційних випробувань; запропоновано технічне рішення для виміру дефектів залізничних коліс; запропоновано схему технічного рішення для корисної моделі при здійсненні вимірів дефектів залізничних коліс.

## **8. Використання у докторській дисертації положень та результатів кандидатської дисертації**

Здобувач не виносить на захист докторської дисертації наукові положення та результати, які були захищені у його дисертації на здобуття

наукового ступеня кандидата технічних наук.

## **9. Достатність апробації дисертаційних матеріалів**

Основні результати, висновки та рекомендації наукових досліджень, одержали схвалення на численних міжнародних наукових конференціях.

Достатню апробацію дисертаційних матеріалів підтверджують опубліковані доповіді на міжнародних і відомчих науково-технічних конференціях та документи, що засвідчують використання результатів дисертаційної роботи.

Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 66-й, 67-й, 68-й, 69-й, 70-й 71-й, 72-й та 74-й, 75-й, 76-й, 77-й та 78-й Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, ДНУЗТ, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018 рр.); XII, XIII, XIV Міжнародних конференціях «Проблемы механики железнодорожного транспорта. Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава, энергосбережение» (Дніпропетровськ, ДНУЗТ, 2008, 2012, 2016 рр.); Четвертій науково-технічній конференції «Транспортная инфраструктура сибирского района» (Іркутськ, ІРІТ, 2013 р.); X Науково-практичній конференції «Безопасность движения поездов» (Москва, МІТ, 2009 р.); 16-му Міжнародному конгресі з колісних пар (IWC) (Кейптаун, Південно-Африканська Республіка, 2010 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток сучасних технологій виробництва вітчизняних підприємств – основа для зниження зносу пари «рейка–колесо» (Дніпропетровськ, ІНТЕРПАЙП НТЗ, 2012 р.).

У повному обсязі дисертація доповідалась та була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (25.02.2020 р.).



## **10. Оцінка змісту дисертації та автореферату**

Текст дисертаційної роботи викладено чітко, послідовно, логічно. Стиль викладу змісту роботи відповідає нормам, прийнятим у науковій літературі, дисертація й автореферат оформлені відповідно до чинних вимог.

При цьому у **вступі** розкрита сутність дисертаційної роботи і обґрунтована актуальність її теми, наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У **першому розділі** проведено аналіз технічного стану парку та відмов вантажних вагонів України, розглянуті шляхи підвищення надійності вагонів, а також проаналізовані основні засади дослідження надійності вагонів на різних етапах життєвого циклу. Питання забезпечення надійності вагонів є безумовно актуальною науково-прикладною проблемою, вирішення якої розширить можливості залізниць для підвищення техніко-економічних показників роботи та безпеки руху поїздів.

У **другому розділі** проведено огляд основних положень дослідження та забезпечення надійності вантажних вагонів на різних етапах життєвого циклу та проведено удосконалення алгоритму, розглянуті та застосовані основні закони розподілу випадкових величин та ймовірно-фізичний підхід для визначення показників надійності вагонів. З позицій класичної теорії ймовірності для описання показників надійності, було запропоновано залежності середньої величини зносу деталей вантажних вагонів. На основі ймовірно-фізичного методу розроблено модель для описання та визначення надійності вагонів.

У **третьому розділі** досліджені показники надійності вантажних вагонів. Показано, що конструкторська надійність вагонів закладається на етапі проектування та реалізується у процесі виготовлення. Від конструкторської надійності буде залежати якісне функціонування вагонів в тих чи інших умовах експлуатації. На етапі проектування використовують довідникову інформацію про режими роботи вагонів і навантаження, які будуть нести елементи, деталі та вузли або вагон в цілому. При розрахунках

конструктивних елементів вагону задаються довірчими інтервалами, що приведені в нормативно-довідниковій літературі і, в результаті, отримують необхідну ймовірність безвідмовної роботи. Вибір статистичних запасів міцності різних конструкцій заснований на використанні параметричної моделі «міцність – навантаження». Також виконане математичне моделювання взаємодії елементів вантажного вагона, оскільки воно являє собою один з найбільш ефективних інструментів аналізу їх теплового і напружено-деформованого станів під час їх розробки і випробувань. Найбільша складність при побудові розрахункових схем взаємодіючих елементів полягає в моделюванні процесів теплообміну в зонах фрикційних контактів (наприклад, гальмівні колодки – колісна пара). Моделювання взаємодії гальмівної колодки і колеса, як механічної системи, відбувається за допомогою системи тіл, які описуються геометрично, з наділенням фізичними властивостями кожного і, в подальшому, моделюються на основі протікання процесів, а також їх умов взаємодії. Моделювання теплового процесу, що враховує обертання колеса, за умови знаходження його частини поверхні то в контакті з колодкою, то наступний теплообмін з навколишнім середовищем, призведе до значного збільшення кількості обчислень, як при використанні МКЕ, так і МКР. При цьому сам вплив отриманих стрибків температури на процеси при гальмуванні буде носити локальний характер. Сам процес зносу при взаємодії елементів колодкового гальма викликатиме значне температурне розширення самих колодок, а також призведе до перерозподілу контактних тисків між взаємодіючими елементами. При цьому отримані залежності для колодкового гальма вагона, які дозволяють на етапі проектування визначити температурне поле на основі МКЕ, що буде реалізовуватись в процесі експлуатації. Крім того, в роботі розглянуто граничний ресурс вагона в процесі експлуатації та при застосуванні інноваційних конструктивних та технологічних рішень і вперше отримано вираз для його описання з урахуванням проведення технічного обслуговування і ремонту (поточного, деповського, капітального).

Також було введено поняття конструкторського коефіцієнту експлуатаційної надійності вагонів. Приведена методика визначення конструкторського коефіцієнта експлуатаційної надійності вагонів дозволяє врахувати застосування нових конструкцій та матеріалів (наприклад, колісних пар чи кузову). Тобто знаючи у скільки разів, наприклад, інтенсивність зносу гребенів колісних пар менше за існуючі аналоги, можна побудувати такий розподіл, але вже з урахуванням зниження ймовірності відмов вагонів. Далі, визначається значення нового конструкторського коефіцієнту експлуатаційної надійності, який прийме більші значення, як за ординатою, так і за абсцисою в порівнянні за попередні. Це і буде основою на етапі проектування нових конструкцій вагонів для попередження та недопущення критичних відмов. Тим самим, буде забезпечено унеможливлення критичних екологічних наслідків, загроз людському життю, а також економічних збитків. У цьому ж розділі, розглянута надійність вагонів на етапі технології виготовлення життєвого циклу. Запропоновано вираз для визначення кількості відмов на прогнозованому відрізку часу в структурних елементах вагона. На останньому етапі досліджень, була розглянута експлуатаційна надійність вагонів, для якої проведено визначення параметрів експлуатаційної надійності вантажних вагонів у системі технічного обслуговування та ремонту. Для групи дослідних зразків вантажних вагонів на маршруті Кривий Ріг-Ужгород-Кошице від першого деповського ремонту побудовано структуру системи технічного обслуговування та ремонту з урахуванням ймовірнісного методу, яка вказує на можливість перебудови планово-попереджувальної системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів в залежності від якості виконання технічних дій.

**У четвертому розділі** побудовано систему дослідження надійності вантажних вагонів. При цьому приведено алгоритм для побудови моделей відмов вантажних вагонів і зроблено поєднання двох моделей (за відмовами і за зміною фізико-механічних характеристик). Для побудови системи

досліджень надійності вантажних вагонів (СДНВВ) залучено апарат нечіткої логіки. В системі досліджень надійності вантажних вагонів на основі знань про зв'язок ознак несправностей і самої несправності відповідного вантажного вагона, що формуються спеціалістами ремонтних і експлуатаційних вагонних депо, отримано підсумковий коефіцієнт впевненості гіпотез при заданих відношеннях апріорних ймовірностей справедливості гіпотез з певними ознаками несправностей вантажних вагонів. При цьому формування бази знань про відмови (БЗВ) СДНВВ представлено алгоритмом, що пов'язаний з: заповненням таблиць БЗВ; витягом (отриманням) знань із статистичних даних з відмов вагонів; організацією експертного опитування; навчанням БЗВ. База даних з відмов (БДВ) СДНВВ складається з двох множин – симптомів (свідочств) і відмов (гіпотез), а БЗВ складається з безлічі пар елементів відповідних множин із зазначенням в явному вигляді міри довіри або недовіри. Для СДНВВ запропоновано модель даних «одиниця надійності». На підставі даної моделі базуються алгоритми визначення одиниці надійності вагона для пошуку множини ймовірних відмов (несправностей) із визначенням значень даних ймовірностей. Виходячи зі складу наведеної моделі, слід відзначити, що функція приналежності задана експертами за знаннями, детерміновано. Для перетворення статистичних даних в елемент БЗВ СДНВВ пропонується розрахункова функція ймовірності відмови в залежності від пробігу (напрацювання) вагона. При отриманні розрахункового значення квантиля в 5% на кожній ітерації, результуючі дані можуть бути занесені в БЗВ СДНВВ.

**У п'ятому розділі** наведено результати дослідження показників надійності вантажних вагонів і експериментальні результати. Процес створення нової техніки, як правило, супроводжується виконанням комплексу теоретичних і експериментальних досліджень створеного зразка або виробу з визначення його функціональних характеристик. В першу чергу розробників і користувачів цікавлять експлуатаційні якості, оскільки саме ці якості визначають основні властивості виробу в



експлуатації. Тому не тільки становить інтерес, а має особливу актуальність науково-прикладна проблема з оцінки експлуатаційних характеристик нової і модернізованої техніки, а для залізничної техніки, від якої залежить не тільки безпека руху, але життя і здоров'я людей, оцінка показників в експлуатації має особливо важливе значення. Тому, в роботі розглянуті методологічні підходи до оцінки експлуатаційних характеристик нових і модернізованих вантажних вагонів, а також побудовані плани випробувань надійності вантажних вагонів, що включають довірчі інтервали інтенсивності відмов при експоненціальному розподілі і різних планах випробувань. Проведення досліджень за запропонованою методикою дозволяє раціонально сформулювати план експлуатаційних випробувань механічних систем, зокрема вантажних вагонів, і визначити точкові та інтервальні оцінки під час аналізу результатів випробувань. Крім того, такі дослідження надають можливість більш точно визначити показники надійності вантажних вагонів. ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод» освоїв випуск для УЗ піввагонів нового покоління моделі 12-7023 на візках моделі 18-7020. Ці піввагони принципово відрізняються від піввагонів існуючого парку. Експлуатаційні випробування 50-ти таких піввагонів проведені на дослідному маршруті №2 Кривий Ріг-Ужгород-Кошице, на якому виконуються перевезення залізничної сировини на металургійний комбінат у Словаччину. Метою випробувань було визначення інтенсивності експлуатаційних зносів і показників надійності зазначених вантажних вагонів. Експлуатаційні дослідження підтвердили теоретичні основи застосування розробленого математичного апарату для визначення та прогнозування показників надійності вантажних вагонів. Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на різних етапах життєвого циклу надає можливість перебудувати послідовність та кількість технічних дій у існуючій планово-попереджувальній системі з урахуванням технічного стану структурних елементів вантажного вагона. Для досліджуваних вантажних вагонів було сформовано структуру проведення деповських та капітальних ремонтів, яка відрізняється з існуючою.

Результати стендових випробувань гальмівних композиційних колодок показали їх здатність до зменшення величини нагріву колеса при гальмуванні, а також адекватність розробленої теплової моделі для взаємодіючих елементів «колодка – колесо» до результатів експериментальних досліджень, при цьому похибка не перевищувала 15%. Результати експлуатаційних досліджень дозволяють наповнити базу знань системи дослідження показників надійності вантажних вагонів, що призначена для постійного моніторингу їх технічного стану і забезпечення необхідного рівня безпеки руху поїздів.

За рахунок використання запропонованих заходів можна досягти зменшення вартості життєвого циклу піввагона на 14,2 тис. грн.

Зміст дисертації, її основні результати та висновки в повній мірі відображені в авторефераті. Зміст автореферату та дисертації ідентичний.

**Зауваження:**

1. Не приведений перелік термінів, скорочень, що використовуються в дисертації.
2. Які використовуються граничні умови під час розрахунку теплової моделі фрикційного контакту «колесо-гальмівна колодка».
3. Не повною мірою розкрито переваги система дослідження надійності вантажних вагонів.
4. Не зовсім зрозуміло, як формується база знань системи дослідження надійності вагонів.
5. Які переваги системи досліджень надійності вагонів, що пропонується, в зрівнянні з сучасним станом дослідження надійності вантажних вагонів.
6. Які принципи були використані при написанні програми експлуатаційних випробувань вагонів.

**Висновок.** Актуальність, високий науковий рівень, практична цінність та рівень впровадження розробок, що пропонуються, свідчать про те, що дисертаційна робота «Розвиток наукових основ забезпечення надійності

вантажних вагоні» на етапах життєвого циклу» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, яка містить отримані автором нові, раніше не захищені, науково-обґрунтовані теоретичні та експериментальні результати в галузі рухомого складу залізничного транспорту, що у сукупності дозволило розв'язати важливу науково-практичну проблему. Дисертація відповідає вимогам п 9, 10, 12 «Порядку присудження ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013р. (зі змінами: Постанова КМ N 656 від 19.08,2015) до докторських дисертацій, а її автор Мурадян Леонтій Абрамович, заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 - рухомий склад та тяга поїздів.

Офіційний опонент:

професор кафедри вагонів та вагонного господарства Державного університету інфраструктури та технологій, доктор технічних наук за спеціальністю 05.22.07 - рухомий склад залізниць та тяга поїздів, професор



О.В. Фомін



*104-48/70  
від 19.03.21*