

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДНІПРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО
ТРАНСПОРТУ ІМЕНІ АКАДЕМІКА В. ЛАЗАРЯНА

Мурадян Леонтій Абрамович

УДК 629.46-027.45(043.5)

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВАНТАЖНИХ
ВАГОНІВ НА ЕТАПАХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

Спеціальність 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Галузь знань 27 – транспорт

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук



Дніпро – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДПТ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, заслужений діяч науки і техніки України
Мямлін Сергій Віталійович,
директор Департаменту розвитку і технічної політики АТ «Укрзалізниця»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кельріх Мусій Борисович,
Державний університет інфраструктури та технологій (м. Київ),
професор кафедри «Вагони та вагонне господарство»

доктор технічних наук, професор
Мартинів Ігор Ернстович,
Український державний університет залізничного транспорту (м. Харків),
професор кафедри вагонів

доктор технічних наук, професор
Маслієв Вячеслав Георгійович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (м. Харків),
професор кафедри електричного транспорту та тепловозобудування

Захист відбудеться " 25 " 03 2021 р. об 12³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д08.820.02 у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2, ауд. 314.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: 49010, м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2.

Автореферат розісланий " 17 " 02 2021 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, професор



І. В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Залізничний транспорт займає значну частину ринку транспортних послуг, пов'язаних з організацією та забезпеченням процесу перевезення вантажів. Одним із його головних завдань є забезпечення безпеки руху поїздів, на яку безпосередньо впливає надійність елементів рухомого складу та інфраструктури. Підвищення рівня безпеки руху поїздів є важливою складовою ефективної роботи й розвитку залізничного транспорту. Проблема підтримання необхідного рівня безпеки руху поїздів багато в чому визначається технічним станом вагонного парку й рівнем його технічного обслуговування та ремонту.

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.

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.

Надійність вантажних вагонів під час експлуатації забезпечується за рахунок науково обґрунтованої й економічно доцільної системи їх технічного обслуговування та ремонту, важливим показником якої є обсяг фінансових витрат, що припадає на весь термін служби (ЛСС): інвестиційне придбання нового рухомого складу, витрати на експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію. Найбільша стаття витрат припадає на експлуатацію, ремонт та технічне обслуговування вантажних вагонів.

На етапі життєвого циклу – розробка та проектування вагонів необхідно закласти достатні показники за міцністю конструкції для певної технології виготовлення, а також врахувати експлуатаційні фактори й досвід ведення вагонного господарства. Зважаючи на особливості роботи залізничного транспорту, вантажні вагони в умовах експлуатації повинні перебувати в постійній готовності. Таку готовність забезпечує існуюча система технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів, важливим показником якої є ймовірність виконання завдання. Тобто наскільки якісно й повно виконано завдання з технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів, настільки впевнено можна говорити про готовність рухомого складу до виконання завдань з відповідним рівнем безвідмовності.

Підвищення надійності та довговічності, збільшення ресурсу вузлів і деталей вагонів потребує створення нових або вдосконалення існуючих їх конструкцій. При цьому надійність контролюється на всіх етапах життєвого циклу нових зразків вагонів, зокрема й під час експлуатаційних випробувань, у ході яких накопичуються статистичні дані про їх технічний стан, рівень зносу, кількість відмов і пошкоджень.

Однією з проблем існуючих методів визначення технічного стану, які базуються на класичних імовірнісних методах, є складність адекватного прогнозування моменту виникнення відмови, оскільки моменту відмови технічного об'єкта (особливо тривалого використання) зазвичай передують складні внутрішні зміни. Ці зміни у вантажних вагонах можуть проявлятися по-різному залежно від

місця та характеру самої відмови, а кожен технічний стан вантажного вагона повинен характеризуватися відповідними показниками.

Створення системи дослідження надійності вантажних вагонів з використанням методів визначення показників їх надійності на етапах життєвого циклу є, безумовно, актуальною науково-прикладною проблемою для залізничного транспорту України, вирішення якої надасть можливість підвищити надійність і створити раціональну систему технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів з урахуванням їх технічного стану з метою забезпечення високого рівня безпеки руху та зменшення експлуатаційних витрат.

Вагомий внесок у вирішення проблеми підвищення надійності рухомого складу зробили відомі вчені: Абашкін В. В., Андрієвський В. Г., Анісімов П. С., Боднар Б. Є., Босов А. А., Бороненко Ю. П., Горбенко А. П., Горобець В. Л., Девятков В. Ф., Донченко А. В., Гайдамака А. В., Іванов С. Г., Калабухін Ю. Є., Капіца М. І., Лосєв А. В., Мартинов І. Е., Маслієв В. Г., Мороз В. І., Мямлін С. В., Перов С. В., Трет'яков О. В., Устїч П. А., Шавшишвілі А. Д., Шевченко В. В., Чебаненко В. М., Цюренко В. М. та ін. Питаннями удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту рухомого складу займалися Бабанін О. Б., Боднар Б. Є., Босов А. А., Бутько Т. В., Вайчунас Г., Войнов К. М., Головінов Г. Г., Головка В. Ф., Дайлідка С., Дьомін Ю. В., Капіца М. І., Кельріх М. Б., Мартинов І. Е., Мямлін В. В., Путято А. В., Савчук О. М., Сенько В. І., Солонько В. Г., Тартаковський Е. Д. та інші.

Значний внесок у теорію та практику розробки питань міцності й безвідмовності конструкцій зробили вітчизняні й зарубіжні вчені: Ржаніцин А. Р., Фрейденталь А. І., Стрілецький М. С., Діментберг М. Ф., Серенсен С. В., Болотін В. В., Когаєв В. П., Одінг І. А., Іванов Р. Х., Махутов М. А., Гусєнков О. М., Гусєв О. С., Винокуров В. О., Трощенко В. Т., Паріс П., Сі Дж., Ердоган Ф., Ірвін Дж., Нотта Дж., Броек Д., Райс Дж., Хеллал К., Колінз Дж., Сіраторі М., Мієсі Т., Мапусіта Х. та багато інших.

Вирішенню цих самих питань безпосередньо в галузі залізничного транспорту присвячені роботи таких авторів, як: Вершинський С. В., Воронін М. М., Данилов В. М., Ісаєв І. П., Кисельов С. М., Костенко М. О., Котуранов В. М., Лапшин В. Ф., Лозбінев В. П., Матвєєвічєв О. П., Нікольський Є. М., Нікольський Л. М., Попов О. О., Савоськин О. М., Саврухін А. В., Соколов М. М., Устїч П. А., Хусїдов В. Д., Шадур Л. А. та інших видатних вчених.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до пріоритетних напрямків 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.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є розвиток наукових основ поліпшення надійності вантажних вагонів та безпеки руху за рахунок формування системи дослідження їх надійності на етапах життєвого циклу.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз рівня безпеки руху у вагонному господарстві залізниць України;
- проаналізувати існуючі методи забезпечення надійності вантажних вагонів;
- розробити методи визначення надійності окремих вузлів вантажних вагонів протягом життєвого циклу;
- розробити математичні моделі для прогнозування величини зносу деталей вантажних вагонів протягом життєвого циклу;
- розробити алгоритм визначення показників надійності вантажних вагонів для прогнозування напрацювання окремих деталей та вузлів або вагона в цілому протягом життєвого циклу;
- виконати теоретичні дослідження взаємного впливу окремих елементів вагона на їх показники надійності;
- розробити математичну модель визначення граничного ресурсу структурних елементів вагона з урахуванням виконання технічних дій та впровадження інноваційних конструктивних і технологічних рішень у процесі ремонту вагона;
- запропонувати коефіцієнт функціональної надійності вантажних вагонів;
- розробити метод розрахунку показників надійності вагонів протягом життєвого циклу з урахуванням особливостей технології їх виготовлення;
- виконати теоретичні дослідження показників надійності вантажних вагонів при різних системах технічного обслуговування та ремонту протягом відповідного етапу життєвого циклу;
- розробити модель прогнозування відмов вантажних вагонів для формування системи забезпечення їх надійності протягом життєвого циклу;
- виконати експериментальні дослідження з визначення показників надійності нових і модернізованих вантажних вагонів;
- виконати техніко-економічне обґрунтування запропонованих технічних і технологічних рішень.

Об'єктом дослідження є процес формування показників надійності вантажних вагонів з урахуванням зміни їх технічного стану протягом основних етапів життєвого циклу (проектування, виготовлення та експлуатації).

Предмет дослідження – показники надійності вантажних вагонів протягом життєвого циклу з урахуванням особливостей їх конструкції, технологій виготовлення та умов експлуатації.

Методи дослідження. Математичні моделі, що описують експлуатаційні характеристики досліджуваних деталей, розроблялися 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 щодо відмов вагона; теорія множин – для формування множини, що описує роботу вагона; математичний апарат комбінаторики – для аналізу варіантів відмов; елементів теорії прийняття рішень, що дозволяє вибрати найімовірнішу причину відмови; методи системного підходу, аналізу та синтезу – для формування системи визначення показників надійності вантажних вагонів з використанням результатів теоретичних та експериментальних даних.

Наукова новизна отриманих результатів. У дисертаційній роботі вирішено важливу науково-прикладну проблему поліпшення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу для підвищення ефективності їх використання та поліпшення рівня безпеки руху, 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 метод 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 протягом 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 існуючої, дозволяє врахувати індивідуальні особливості вагонів протягом 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 існуючої, дозволяє здійснювати оцінку технічного стану вагона протягом 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 протягом життєвого циклу з урахуванням законів розподілу випадкових величин відмов окремих елементів, що, на відміну від існуючої,

дозволяє враховувати показники надійності всіх основних комплектуючих елементів вагонів та прогнозувати терміни безпечної їх експлуатації;

- удосконалено математичну модель процесу зміни технічного стану вагона протягом життєвого циклу з визначенням відмов ресурсовизначальних елементів вантажних вагонів завдяки врахуванню в ній імовірнісних показників зміни технічного стану окремих ресурсовизначальних елементів, що, на відміну від існуючої, 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 фізико-хімічними, механічними та триботехнічними властивостями із забезпеченням безпечної та ефективної роботи гальмівної системи й підвищенням рівня надійності в процесі експлуатації вантажних вагонів, що, на відміну від існуючої, дозволяє врахувати поглинання й розсіювання теплоти в колісній парі та її відтік від гальмівної колодки до колеса та оцінити ефективність процесу гальмування;

- удосконалено метод розрахунку показників надійності вагонів на етапі життєвого циклу – виготовлення, який, на відміну від існуючого, передбачає можливість прогнозування відмов з урахуванням особливостей технологічного процесу виготовлення складових елементів вагона для запобігання 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 протягом етапу життєвого циклу – експлуатація, і дають можливість встановити та підвищити необхідні показники надійності вантажних вагонів за комплексними ознаками та скоротити непродуктивні експлуатаційні витрати;

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

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, а також запропоновані методології, розроблені моделі та підходи можуть бути використані для вирішення проблеми підвищення надійності вантажних вагонів та безпеки руху поїздів на залізницях України та інших держав

на етапах життєвого циклу – від проектування та виготовлення вагонів до процесу їх експлуатації.

Запропонована й розроблена 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.

Отримані результати роботи використовуються:

- у ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» під час розробки нових та модернізації вагонів у процесі проектування та виготовлення (акт впровадження від 25.10.2016);

- у ПАТ «Інтерпайп НТЗ» у вигляді у вигляді звітів, що включають значення вимірних величин зносу, розраховані інтенсивності зносу, та прогнозовані значення ресурсу залізничних коліс (акт впровадження від 15.01.2020);

- у ВАТ «Трібо» (Україна), якому надані рекомендації щодо виготовлення нових композиційних гальмівних колодок, а також результати експериментальних досліджень (акт впровадження від 17.01.2018);

- у ремонтних вагонних депо «Батуринська» та «Нижньодніпровськ-Вузол» для яких надані рекомендації щодо стратегії виконання технічного обслуговування та ремонту вагонів (акт впровадження відповідно від 12.02.2020 та 20.03.2018);

- у навчальному процесі під час підготовки магістрів за спеціальністю 273 «Залізничний транспорт» спеціалізації «Вагони та вагонне господарство» та під час дипломного проектування (акт впровадження від 18.02.2020).

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

Статті [9, 18, 19, 20, 22, 36, 32, 29, 33, 39, 68] опубліковані одноосібно.

У працях, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає в такому. У роботах: [34, 35, 38, 61] – запропоновані методологічні аспекти до побудови системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів; [3, 10, 12, 27, 28, 44, 50, 59] – приведено результати випробувань гальмівних колодок вагонів; [1, 43, 52, 69] – виконано аналіз можливих причин скорочення ресурсу роботи залізничних коліс; [30] – теоретично обґрунтовано плани досліджень надійності механічних систем; [8, 34] – викладено наукове обґрунтування зниження ресурсу вантажних вагонів на дослідних маршрутах; [15] – удосконалено методи з визначення технічного стану вагонів в експлуатації; [70] – обґрунтовано можливість підвищення показників надійності при технічному обслуговуванні та ремонті; [2, 22, 23, 41, 40, 51] – запропоновано технічні рішення до удосконалення п'ятникового вузла вантажного вагона; [31, 67] – виконано експлуатаційні дослідження литих залізничних коліс; [11, 48] – запропоновано варіанти удосконалення конструкції гальмівної колодки; [54, 57, 65] – виконано аналіз відмов та надійності вантажних вагонів; [17, 21] – обґрунтовано можливості застосування засобів захисту сучасного рухомого складу; [14] – теоретично обґрунтовано можливість застосування основних законів розподілу випадкових величин; [13] – запропоновано методологію визначення надійності вантажних вагонів; [6] – виконано аналіз несправностей гальмівної системи вантажних вагонів; [4, 5, 49, 55, 56] – отримано результати

утворення дефектів на поверхні кочення суцільнокатаних коліс при експлуатації; [7, 60] – здійснено аналіз експлуатаційних показників високоміцних залізничних коліс; [24, 25, 26, 43, 46, 47, 53, 58, 62, 64, 66] – виконано обробку статистичних даних щодо зносу основних елементів піввагонів під час експлуатаційних випробувань; [42] – запропоновано технічне рішення для виміру дефектів залізничних коліс.

Апробація результатів дисертації. 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 «Проблеми механіки залізничного транспорту. 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 доповідалася та була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі в Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (25.02.2020 р.).

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 41 науковій праці, з яких: 24 наукові статті надруковано у фахових виданнях, з яких 11 – у закордонних виданнях та в журналах, що входять до міжнародних наукометричних баз даних (Google Scholar, Index Copernicus, CrossRef, Scopus), 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.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи становить 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 розміщено на 21 сторінках; 4 додатки викладено на 38 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** розкрито сутність дисертаційної роботи, обґрунтовано актуальність теми дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення одержаних результатів.

У **першому розділі** проаналізовано технічний стан парку та відмови вантажних вагонів України, розглянуто шляхи підвищення надійності вагонів, а також описано основні засади дослідження надійності вагонів на різних етапах життєвого циклу (включає етапи проєктування, виготовлення, експлуатації).

Виконаний аналіз досліджень у теорії надійності показав значні розбіжності у визначенні терміну «надійність». На сьогодні теорія надійності існує тільки у вигляді окремого випадку ймовірно-статистичної теорії, яка використовується для визначення або передбачення настання відмов об'єкта.

Існуюча методологія вивчення надійності спирається на морально застарілу термінологію й не використовує у своїх розрахунках (теорії) багатий експериментальний матеріал і результати практичного досвіду. В основу цієї методології покладено математичні методи дослідження, що базуються на результатах відмов техніки без урахування їх причин. Тільки комплекс досліджуваних і тісно пов'язаних між собою питань у вивченні надійності може дати повну й достовірну картину досліджуваного явища при відповідній відмові. Цей комплекс повинен містити методологію та термінологію, що буде відповідати дійсності.

Згідно з виконаним аналізом стану безпеки руху в структурі Акціонерного товариства «Українська залізниця» протягом 2013-2015 рр. показано, що основною причиною настання транспортних подій є несвоєчасне вилучення з експлуатації рухомого складу, технічний стан якого не відповідає вимогам правил технічної експлуатації (ПТЕ). У наступні роки ситуація з виникненням транспортних подій не змінилася. Тобто залишаються ймовірні великі ризики виникнення порушень безпеки руху. У вагонах усіх типів під час транспортних подій зафіксовано такі технічні відхилення: несправність механізмів автозчепу, центруючих балок, вищербини на поверхні кочення колісних пар, відсутність гальмівних колодок, гострий накат гребня, обриви кронштейнів кріплення гальмівного обладнання, неповна укомплектованість кінцевих кранів, тріщини надресорних та хребтових балок, відсутність кріпильних механізмів п'ятників до рами вагона та інше. Аналіз безпеки руху у вагонному господарстві залізниць України вказує на необхідність модернізації та вдосконалення старого рухомого складу на вагоноремонтних заводах та виготовлення більш сучасних вагонів усіх типів для підвищення рівня безпеки руху поїздів. Тобто існує потреба в конструкторських розробках сучасного рухомого складу, які дозволять, насамперед, забезпечити високий рівень надійності й тим самим гарантувати підвищення рівня безпеки руху. Успішне вирішення вказаних завдань полягає: по-перше, у розробці нових технологій підвищення рівня надійності, довговічності й зносостійкості вантажних вагонів; по-друге, в узагальненні розрізнених експериментальних даних за механізмом зносу з метою створення загальної бази даних «тертя–знос–руйнування» різного роду матеріалів від початку їх виготовлення до повного руйнування.

Під час виконання аналізу технологічних методів підвищення зносостійкості елементів та деталей вантажних вагонів показано, що для підвищення їх ресурсу може бути застосовано одночасно кілька різних методів зміцнення, оскільки використання декількох технологічних методів у комплексі з конструкторськими рішеннями, правильним підходом до процесу експлуатації вантажних вагонів дасть найбільший ефект. Використання відомих технологічних методів разом з конструкторськими та експлуатаційними дозволяє підвищити їх довговічність у 1,2 ... 10,0 разів, що в теперішніх економічних умовах є основним фактором у розвитку залізничного транспорту України. При застосуванні будь-якого

технологічного методу підвищення зносостійкості деталей вагонів алгоритм його вибору має ґрунтуватися на даних, що характеризують знос і втомну міцність, а також на визначенні необхідних властивостей деталей у кожній точці робочої поверхні й параметрів технологічного процесу.

Питання поліпшення 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 виконано огляд основних положень дослідження та поліпшення надійності вантажних вагонів на різних етапах життєвого циклу та удосконалено алгоритм дослідження, розглянуто та застосовано 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. Тому в роботі запропоновано структурну схему дослідження та забезпечення надійності вантажного вагона на основних етапах (проектування, виготовлення та експлуатація) життєвого циклу (рис. 1).

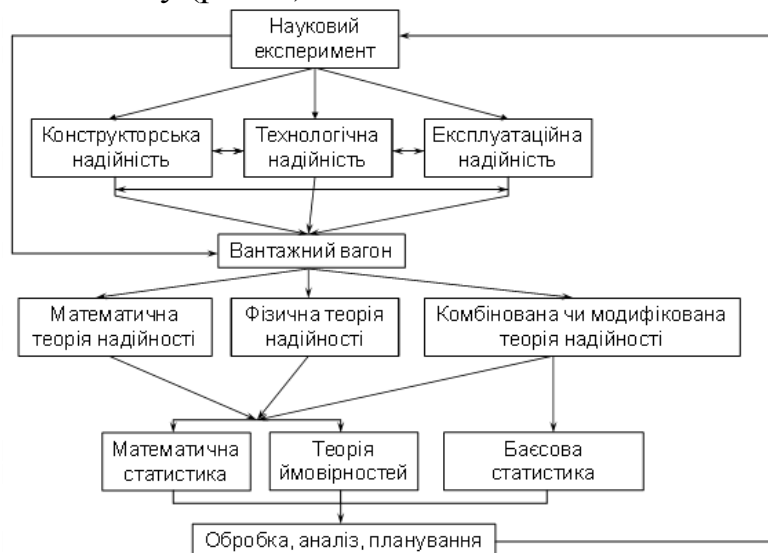


Рисунок 1 – Структурна схема дослідження та забезпечення надійності вантажного вагона на основних етапах життєвого циклу

Запропонований алгоритм дослідження та забезпечення надійності вантажного вагона (див. рис. 1) відрізняється від існуючого тим, що:

- надійність охоплює конструкторську, технологічну та експлуатаційну складові. Тобто окремо на кожному етапі життєвого циклу вантажного вагона переглядається надійність і при цьому враховуються ті чи інші конструкторські, технологічні, експлуатаційні чинники, які впливають на загальну надійність вантажного вагона;

- науковий експеримент передбачає моделювання роботи вантажного вагона в різних умовах та експлуатаційних режимах. На стадії експерименту в надійність вантажного вагона закладаються параметри, які отримані в результаті моделювання для конкретних умов експлуатації;

- теорія надійності спирається на математичні й фізичні основи, тобто є комбінованою, а застосування Баєсової статистики надає можливість описати різні

стану вантажного вагона з розбиванням його на основні складові та з відповідною ймовірністю для кожного стану описувати загальну надійність вагона.

З позицій класичної теорії ймовірностей для опису показників надійності було запропоновано залежності середньої величини зносу деталей або з'єднань вантажних вагонів:

- для нормального закону:

$$\bar{\Delta} = \int_0^{\infty} f(\Delta, F) \cdot \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{F - \bar{F}}{2\sigma^2}\right) \cdot dF; \quad (1)$$

- для експоненціального закону:

$$\bar{\Delta} = \int_0^{\infty} f(\Delta, F) \cdot \lambda \exp(-\lambda F) \cdot dF; \quad (2)$$

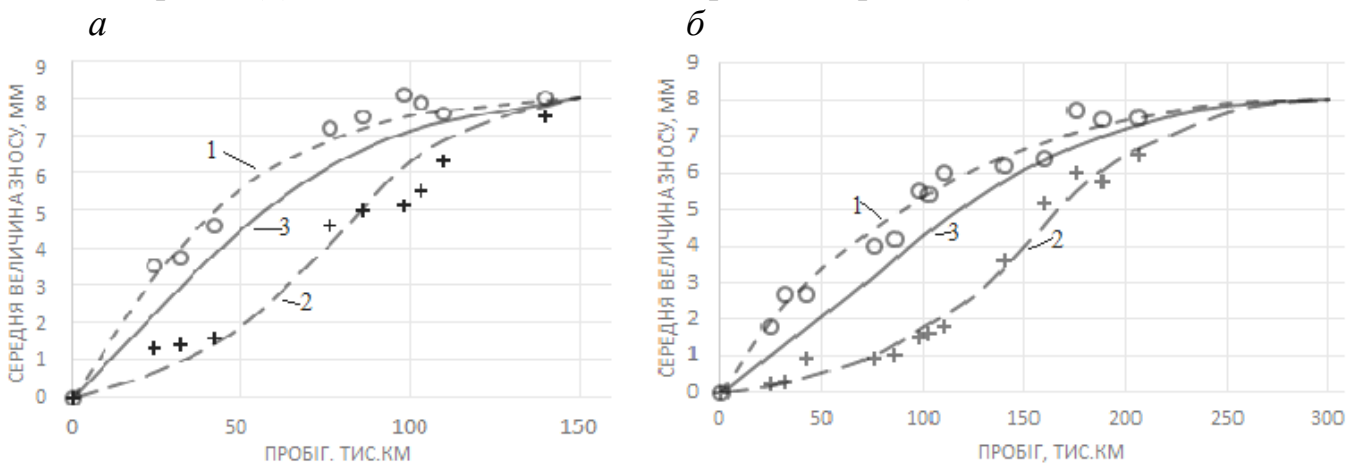
- для закону Вейбулла–Гнеденка:

$$\bar{\Delta} = \int_0^{\infty} f(\Delta, F) \cdot \lambda \alpha F^{\alpha-1} \exp(-\lambda F^{\alpha}) \cdot dF. \quad (3)$$

де $f(\Delta, F)$ – функціональна залежність величини зносу деталей або з'єднань вантажних вагонів від деякого параметра (пробігу) F ;

λ, α – параметри закону розподілу.

Адекватність отриманих виразів (1)–(3) було підтверджено за допомогою експериментальних даних, отриманих за результатами експлуатаційних випробувань. Для випадку, коли параметр F у виразах (1)–(3) являє собою пробіг вагона, на рис. 2 наведено розподіл величини зносу гребенів суцільнокатаних коліс зі сталі марки 2 (а) та зі сталі підвищеної твердості марки Т (б).



експериментальні значення: поступові відмови – «о», раптові відмови – «+»;

закони розподілу: 1 – експоненціальний; 2 – нормальний; 3 – Вейбулла–Гнеденка

Рисунок 2 – Залежність середньої величини зносу гребенів суцільнокатаних коліс зі сталі марки 2 (а) та зі сталі підвищеної твердості марки Т (б) від пробігу

На основі ймовірнісно-фізичного методу розроблено модель для опису та визначення надійності вагонів. При цьому метод розрахунку на основі ймовірнісно-фізичної моделі принципово відрізняється від усіх відомих строгих ймовірнісних методів тим, що він розглядає неперервну множину станів елементів, деталей і систем вагона протягом неперервного часу. Математична модель зміни технічного

стану вагона за визначальними параметрами структурних елементів описується виразом:

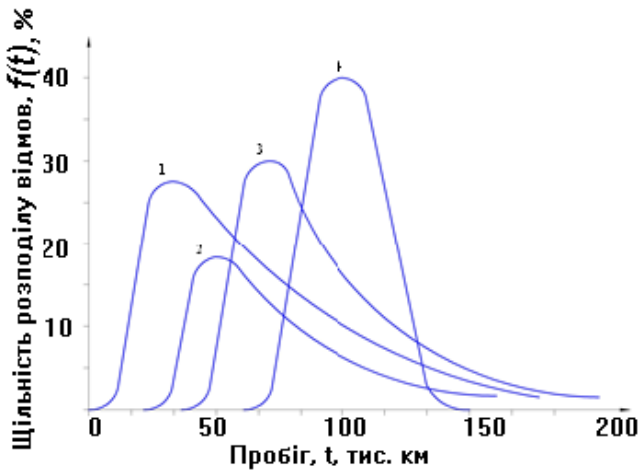
$$f(t) = \frac{\sqrt{\mu}}{V_t t \sqrt{2\pi t}} \exp\left[-\frac{(\mu-t)^2}{2V_t^2 \mu t}\right], \quad (4)$$

а напрацювання (пробіг) вагона до відмови T_o :

$$T_o = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \mu, \quad (5)$$

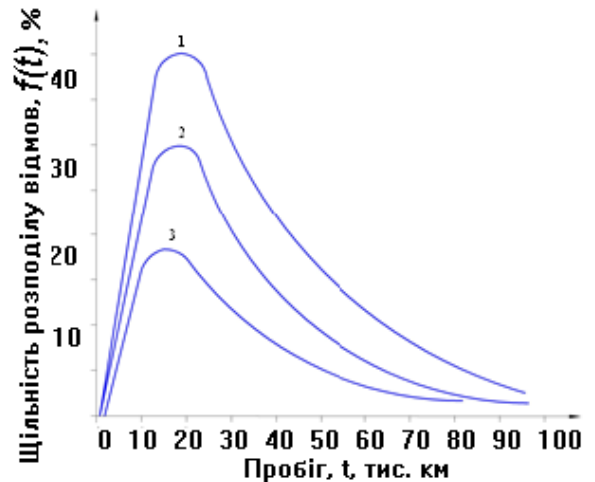
де μ – масштабний параметр розподілу середнього напрацювання (пробігу) вагона до відмови; t – напрацювання (пробіг) вагона; V_t – коефіцієнт варіації напрацювання (пробігу) до відмови – параметр форми розподілу.

У разі існування чи можливості визначення інформаційного параметра про витрату ресурсу елемента вагона з оцінкою швидкості його зміни, і знаючи його граничне значення, на основі побудованої моделі надійності вагона, можна прогнозувати всі необхідні кількісні показники надійності досліджуваних елементів, деталей та вузлів або вагона в цілому. При цьому масштабний параметр розподілу відмов μ має фізичний зміст середнього напрацювання (пробігу) вагона до відмови. Для отриманих залежностей наведено щільності розподілу відмов вантажних вагонів для відповідних статистичних даних (рис. 3, рис. 4).



1 – $V_t=1,0$; 2 – $V_t=0,75$; 3 – $V_t=0,5$;
4 – $V_t=0,25$

Рисунок 3 – Розподіл відмов гальмівного обладнання вантажних вагонів при $\mu = \text{const}$ і $\mu = 100$ тис. км для параметра форми



1 – $\mu=40$ тис. км; 2 – $\mu=50$ тис. км;
3 – $\mu=60$ тис. км

Рисунок 4 – Розподіл відмов гальмівного обладнання вантажних вагонів при $V_t = \text{const}$ і $V_t = 1$ для масштабного параметра розподілу

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

довірчими інтервалами, що наведені в нормативно-довідковій літературі, й у результаті отримують необхідну ймовірність безвідмовної роботи. Вибір статистичних запасів міцності різних конструкцій базується на використанні параметричної моделі «міцність – навантаження».

Виконано математичне моделювання взаємодії елементів вантажного вагона, оскільки воно являє собою один з найбільш ефективних інструментів аналізу їх теплового й напружено-деформованого станів під час розробки та випробувань. Найбільша складність при побудові розрахункових схем елементів, що взаємодіють, полягає в моделюванні процесів теплообміну в зонах фрикційних контактів (наприклад, гальмівна колодка – колісна пара). Моделювання взаємодії гальмівної колодки й колеса як механічної системи відбувається за допомогою системи тіл, які описуються геометрично, з наділенням фізичними властивостями кожного, і надалі моделюються на основі перебігу процесів, а також їх умов взаємодії. Моделювання теплового процесу, що під час руху враховує непостійну взаємодію обода колеса з колодкою та, відповідно, зміну теплообміну в ободі колеса, призведе до значного збільшення кількості обчислень при використанні як методу кінцевих елементів, так і методу кінцевих різниць. При цьому вплив отриманих стрибків температури на процеси, які виникають під час гальмування, буде мати локальний характер. Процес зносу при взаємодії елементів колодкового гальма викликатиме значне температурне розширення самих колодок, а також призведе до перерозподілу контактних тисків між взаємодіючими елементами.

На основі диференціального рівняння теплопровідності Фур'є та із заданням граничних умов I-III роду, рівняння теплопровідності має такий вигляд:

$$-c\rho \frac{\partial}{\partial t} \ln T + \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_x \frac{\partial}{\partial x} \ln N^T \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_y \frac{\partial}{\partial y} \ln N^T \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_z \frac{\partial}{\partial z} \ln N^T \right) - \frac{H}{N^T T} = -R. \quad (6)$$

У варіаційному підході ставиться задача визначення функції, яка буде задовольняти граничні умови й забезпечує екстремум певного функціоналу. У результаті отримано такий вираз:

$$J(T) = T \int_{\Omega} \left(c\rho \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right)^T N N^T + H N^T \right) d\Omega + \frac{1}{2} T^T T \int_{\Omega} \left(\lambda_x \frac{\partial N}{\partial x} \frac{\partial N^T}{\partial x} + \lambda_y \frac{\partial N}{\partial y} \frac{\partial N^T}{\partial y} + \lambda_z \frac{\partial N}{\partial z} \frac{\partial N^T}{\partial z} - R N N^T \right) d\Omega. \quad (7)$$

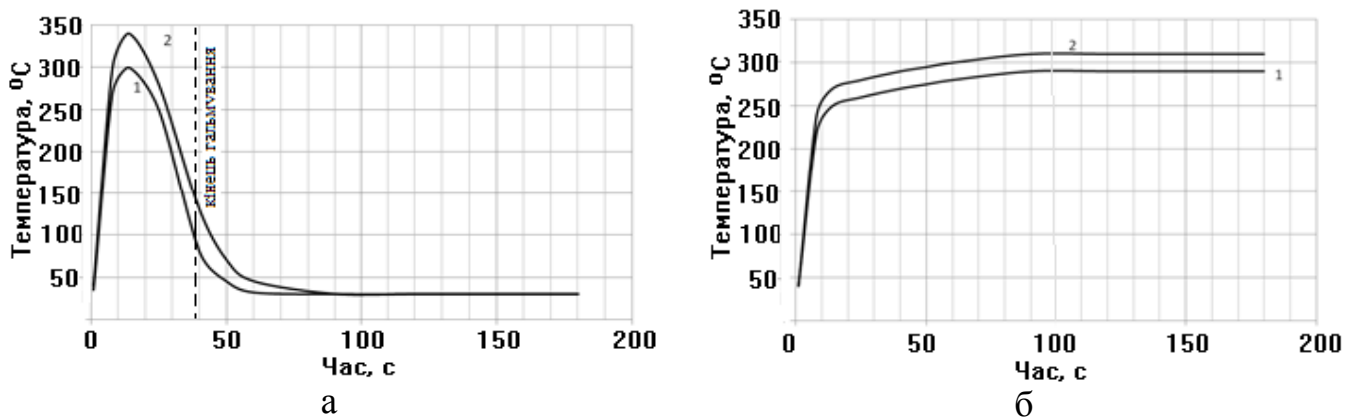
де c – масова питома теплоємність відповідного матеріалу; ρ – густина відповідного матеріалу; T – температура, $\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$ – коефіцієнти теплопровідності в напрямку осей анізотропії x, y, z ; Q – джерело тепла всередині тіла, яке вважається додатним, якщо тепло підводиться до тіла; R – внутрішнє джерело енергії, що пропорційне температурі; H – напруженість матеріалу; N – матриця об'ємної густини теплової потужності; T – матриця розподілу температури в усіх точках колодкового гальма

Для задоволення наведеного функціонала рівняння (7) необхідно виконання умови мінімуму $\frac{\partial J(T)}{\partial T} = 0$. Остаточне рівняння теплопровідності для кінцевого елемента колодкового гальма з граничними умовами отримано у вигляді

$$WT \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) + C \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) + AT = b. \quad (8)$$

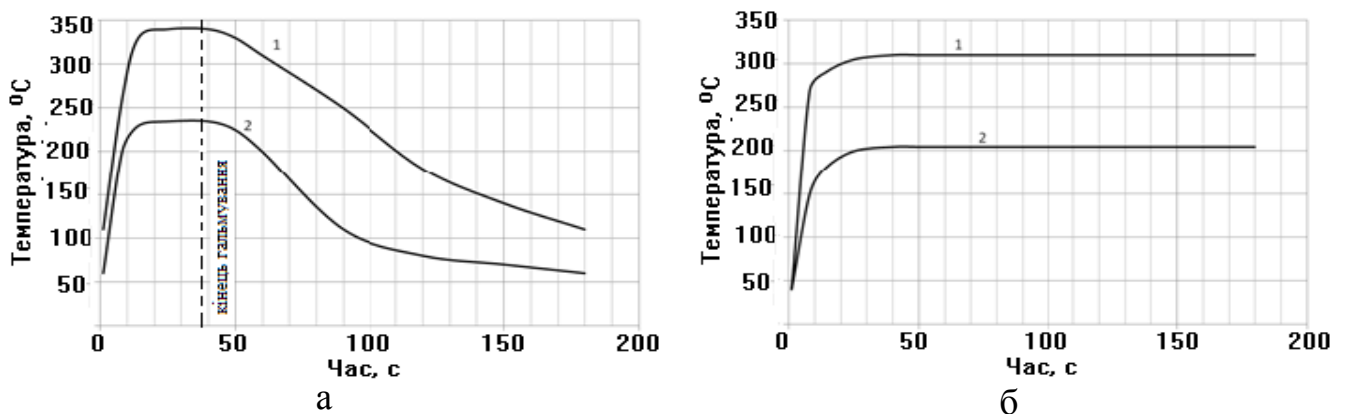
За допомогою наведених функцій отримані залежності для колодкового гальма вагона дозволять на етапі проектування визначити температурне поле на основі методу кінцевих елементів, що буде реалізовуватися в процесі експлуатації.

Наведено результати моделювання температури кінцевих елементів вузла "гальмівна колодка - колесо" на відстані 15 мм від зони контакту (рис. 5, 6).



1 – чавунні колодки; 2 – композиційні колодки (2ТР-37-01)

Рисунок 5 – Залежності температури колеса при екстремому гальмуванні до повної зупинки (а) та для режиму тривалого гальмування на зтяжному спуску (б) від часу при взаємодії з колодками



1 – чавунні колодки; 2 – композиційні колодки (2ТР-37-01)

Рисунок 6 – Залежності температури гальмівних колодок при екстремому гальмуванні до повної зупинки (а) та для режиму тривалого гальмування на зтяжному спуску (б) від часу при взаємодії з колодками

Крім того, у роботі розглянуто граничний ресурс вагона в процесі експлуатації та при застосуванні інноваційних конструктивних та технологічних рішень і

запропоновано такий вираз для його опису з урахуванням виконання технічного обслуговування та ремонту (поточного, деповського, капітального):

$$t_{\text{зп}} = K_n \left(\sum_{i=1}^n \bar{t}_i \pm \sum_{i=1}^n k_{ii} \sigma_{ii} + \sum_{i=1}^n t_{pi} P_i(\tau) R_{\bar{a}}(z) \pm \sum_{i=1}^n k_{i\text{пп}} \sigma_{i\text{пп}} \right) K_I, \quad (9)$$

де K_n – коефіцієнт використання пробігу вантажного вагона; \bar{t}_i – середня тривалість безвідмовної роботи структурних елементів вагона до повного відновлення технічного стану за умови виконання технічного обслуговування та ремонту; k_{ii} – довірчий коефіцієнт, який залежить від умов експлуатації вагона й закону розподілу його ресурсу на i -му життєвому циклі; σ_{ii} – середньоквадратичне відхилення на i -му життєвому циклі; t_{pi} – напрацювання між роботами технічного обслуговування та ремонту на i -му життєвому циклі вагона; n – кількість технічних обслуговувань та ремонтів; $\sigma_{i\text{пп}}$ – середнє квадратичне відхилення напрацювання між роботами технічного обслуговування та ремонту вагона; $R_{\bar{a}}(z)$ – ймовірність виконання завдання при технічному обслуговуванні та ремонті на i -му життєвому циклі вагона; $P_i(\tau)$ – ймовірність безвідмовної роботи між роботами технічного обслуговування та ремонту на i -му життєвому циклі вагона; K_I – коефіцієнт, який враховує інноваційні конструктивні та технологічні рішення в процесі ремонту вагона у випадку, коли застосовуються нові матеріали чи технології, що змінюють значення величин зносу й відповідно мають прямий вплив на ресурс. Цей коефіцієнт можна розрахувати за такою формулою:

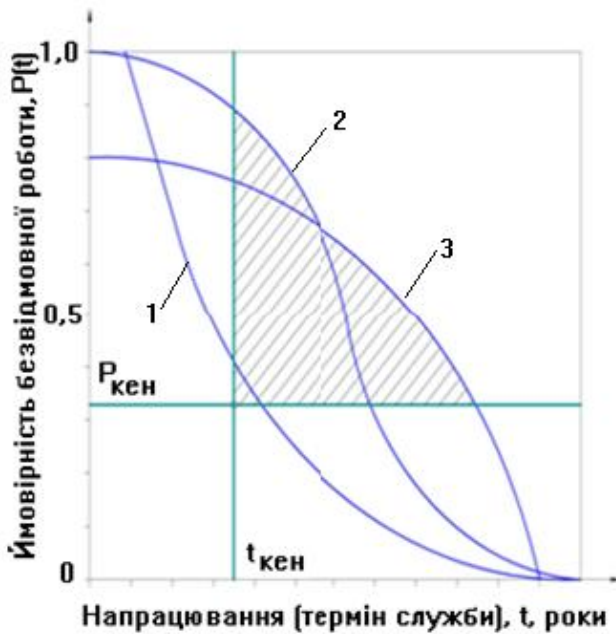
$$K_I = k_{np} \frac{I_{\text{занп}}}{I_{\text{зад}}}, \quad (10)$$

де k_{np} – коефіцієнт, що враховує пристосованість інноваційних конструктивних та технологічних рішень у процесі ремонту вагона, чисельно характеризує відповідні зміни величин зносу порівняно з базовою конструкцією вагона; $I_{\text{зад}}$, $I_{\text{занп}}$ – бальна характеристика заданого (зазвичай повинна дорівнювати 1) та запропонованого (інноваційного) рішення в процесі ремонту вагона (значення має бути >1).

Також було введено поняття коефіцієнта функціональної надійності вагонів, який включає абсцису та ординату та визначається за формулами

$$K_{\text{ен}}^t = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n P_i} = \frac{P_m \cdot t_m + P_k \cdot t_k + P_e \cdot t_e}{P_m + P_k + P_e}; \quad K_{\text{ен}}^P = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{P_m \cdot t_m + P_k \cdot t_k + P_e \cdot t_e}{t_m + t_k + t_e}. \quad (11)$$

Значення координат зазначеного коефіцієнта ($P_{\text{КЕН}}$, $t_{\text{КЕН}}$) наведено графічно на плані розподілу ймовірності їх безвідмовної роботи у вигляді граничних вертикальної та горизонтальної ліній (рис. 7).



- 1- механічне зношування, 2-корозія,
3- втомне руйнування

Рисунок 7 – Коефіцієнт функціональної надійності вагонів на плані розподілу ймовірності їх безвідмовної роботи

дозволяє врахувати застосування нових конструкцій та матеріалів (наприклад, колісних пар чи кузова). Тобто знаючи, у скільки разів, наприклад, інтенсивність зношування гребенів колісних пар менша за існуючі аналоги, можна побудувати такий розподіл, але вже з урахуванням зниження ймовірності відмов вагонів. Далі, використовуючи вирази (11), необхідно визначити значення нового коефіцієнта функціональної надійності, який набуде більших значень як за ординатою, так і за абсцисою порівняно з попередніми. На етапі проектування нових конструкцій вагонів це й буде основою для запобігання та недопущення критичних відмов. Тим самим буде забезпечено унеможливлення критичних екологічних наслідків, загроз людському життю, а також економічних збитків.

У цьому самому розділі розглянуто надійність вагонів на етапі життєвого циклу – виготовлення. Запропоновано вираз для визначення кількості відмов на прогнозованому відрізку часу в структурних елементах вагона:

$$Q_m(t) = \frac{(N\lambda t)^m}{m!} \exp(-N\lambda t), \quad (12)$$

де N – кількість структурних елементів у відповідній системі вагона; λ – інтенсивність технологічних відмов; t – напрацювання до відмови; m – кількість технологічних дефектів.

Для визначення значень параметра t , при яких досягаються максимальні ймовірності відмов структурних елементів вагона для технологічних дефектів m , було знайдено екстремуми функцій. У результаті перетворень виявлено просту закономірність відмов структурних елементів вагона при технологічному процесі виготовлення з узагальненим параметром $N\lambda t$.

Заштрихована площа на рис. 7 вказує початок того моменту, коли буде існувати висока ймовірність настання критичної відмови. Це особлива зона для всіх можливих станів життєвого циклу існування вагонів, у якій їх експлуатація повинна перебувати під особливим контролем власників та працівників залізниці, особливо вагонного господарства. Перетин горизонтальної лінії з ординатою $P_{крен}$ з кривими ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ з відповідними видами зносу дає точки, які слід назвати кризовими, тобто при величині такого напрацювання вагона експлуатаційна надійність виходить за критичну межу. Також слід зауважити, що наведена методика визначення коефіцієнта функціональної надійності вагонів

На останньому етапі досліджень було розглянуто експлуатаційну надійність вагонів, для якої виконано визначення параметрів експлуатаційної надійності вантажних вагонів у системі технічного обслуговування та ремонту. У мережі залізниць України діє планово-запобіжна система ремонту вантажних вагонів, яка спрямована на забезпечення стабільної їх роботи при найменших витратах. Цією системою передбачається комплекс заходів, призначених для забезпечення стійкої роботи вагонного парку, підтримки його технічного стану, підвищення експлуатаційної надійності. До цих робіт відносяться ремонт та технічне обслуговування

Існуюча планово-запобіжна стратегія проведення технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів повинна мати оптимальні показники, що характеризують якість їх функціонування й експлуатації у цілому та в ресурсовизначальних складових окремо. 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 визначення періоду проведення поточних, деповських та капітальних ремонтів з параметрами експлуатаційної надійності:

- ймовірністю виконання завдання:

$$R_{\tau}(z) = \frac{\int_0^{\tau} \bar{F}(x+z) dx}{\left(\tau - \int_0^{\tau} \int_0^x F(x-y) d\Phi(y) dx + (M\gamma_3 - M\gamma_2)\right) \int_0^{\tau} F(\tau-x) d\Phi(x) + M\gamma_1 + (M\gamma_2 - M\gamma_1)F(\tau)} \quad (13)$$

де в чисельнику наведено закон розподілу часу до відмови (x) з урахуванням перебування вагона в певному технічному стані (z); а в знаменнику наведено ресурс (напрацювання) з урахуванням розподілів часу перебування вагона в справному стані (y), у стані, коли необхідний ремонт ($\tau-x$), а також з урахуванням часу дій на виявлення можливих відмов $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$.

- коефіцієнтом готовності:

$$K(\tau) = R_{\tau}(0); \quad (14)$$

- ймовірністю безвідмовної роботи:

$$P(\tau) = \frac{\int_0^{\tau} F(x) dx - \int_0^{\tau} \int_0^x F(x-y) d\Phi(y) dx}{\int_0^{\tau} \bar{F}(x) dx} + \frac{(M\gamma_3 + M\gamma_2) \int_0^{\tau} F(\tau-x) d\Phi(x) + M\gamma_1 + (M\gamma_2 - M\gamma_1)F(\tau)}{\int_0^{\tau} \bar{F}(x) dx}, \quad (15)$$

де в чисельнику наведено закони розподілу часу до виникнення відмови з урахуванням можливих проявів раптових і прихованих відмов або настання відмови

раніше встановленого терміну; а в знаменнику – закон розподілу часу до відмови (x).

Для окремих випадків індикації відмов структурних елементів вантажних вагонів на рис. 8 наведено залежності коефіцієнта готовності вантажних вагонів від ймовірності виконання завдання при поточних та деповських ремонтах.

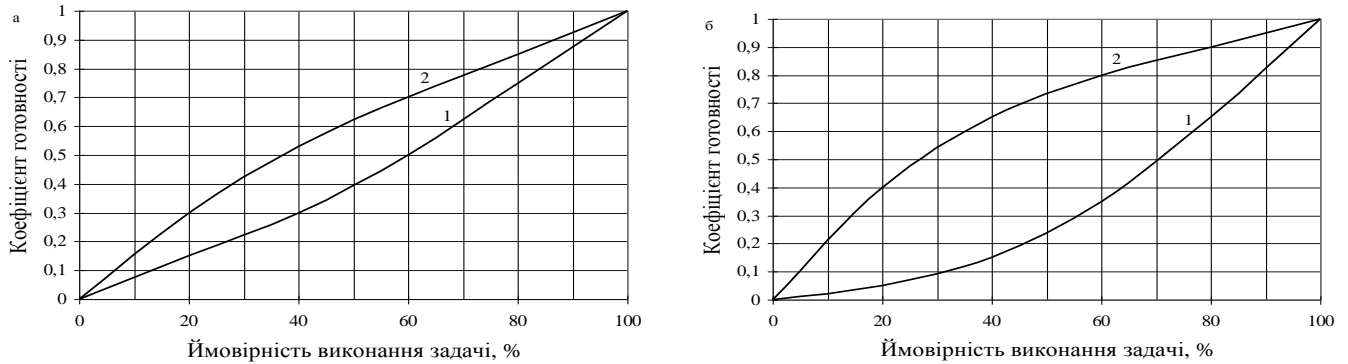


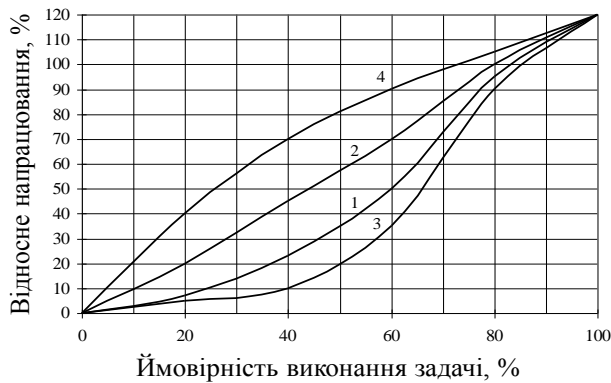
Рисунок 8 – Залежність коефіцієнта готовності вантажних вагонів від ймовірності виконання завдання при поточному (а) та деповському (б) ремонтах у випадку: 1 – миттєвої індикації відмов; 2 – відсутності самостійного прояву відмов

Якщо прийняти, що $H_i^{(o)}(t)$ є функцією відновлення рекурентного потоку, що утворений послідовністю незалежних випадкових величин з функцією розподілу $F_i^{(o)}(t)$, то для основних показників якості функціонування вантажного вагона – коефіцієнта готовності та ймовірності безвідмовної роботи, необхідно знайти оптимальне напрацювання (пробіг) вантажних вагонів до відповідного ремонту. Задача визначення оптимального періоду виконання ремонтних робіт зводиться до знаходження екстремумів за τ такої функції для коефіцієнта готовності:

$$\max_{0 \leq \tau \leq \infty} \frac{\tau}{\tau + T_{mn} + \sum_{i=1}^N t_i H_i^{(o)}(\tau)}. \quad (16)$$

де t_i – середня тривалість відновлення i -го елемента; τ – час безвідмовної роботи вагона; T_{mn} – середня тривалість технічного обслуговування; $H_i(\tau)$ – функція відновлення i -го елемента; N – кількість структурних елементів.

Точки екстремумів визначають оптимальні значення напрацювання (пробігу) вантажних вагонів, досягнувши яких необхідно виконувати технічне обслуговування, а відповідні екстремальні значення вказаних функцій будуть вказувати на гарантовані величини показників якості функціонування структурних елементів вантажних вагонів. Моделювання впливу ймовірності виконання завдання при проведенні технічного обслуговування та капітального ремонту вантажних вагонів на зміну їх напрацювання або пробігу (відносне значення) наведено на рис. 9, а на рис. 10 показано теоретичну зміну їх відносного напрацювання (пробігу).

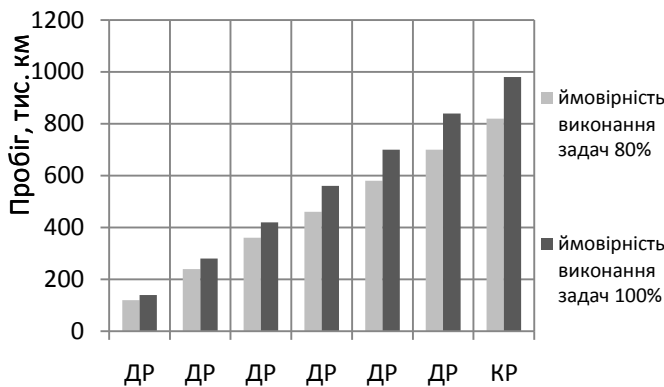


1, 3 – відсутність самостійного прояву відмов; 2, 4 – миттєва індикація відмов
 Рисунок 9 – Залежність відносного напрацювання (пробігу) вантажних вагонів від ймовірності виконання завдання при проведенні технічного обслуговування (1, 2) та капітального ремонту (3, 4)

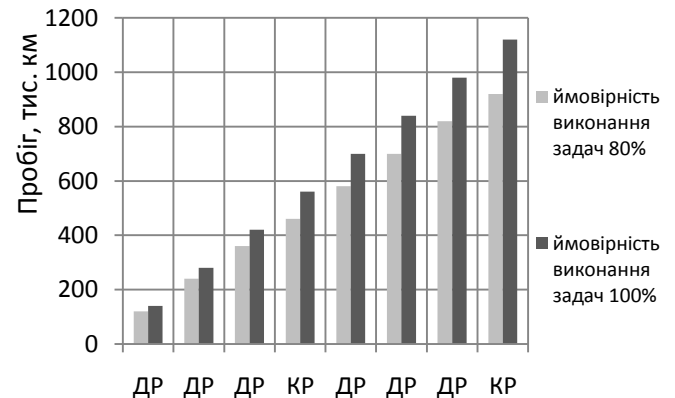


1 – миттєва індикація відмов; 2 – відсутність самостійного прояву відмов
 Рисунок 10 – Відносне подовження напрацювання (пробігу) вантажних вагонів при забезпеченні відповідного рівня їх ймовірності безвідмовної роботи під час експлуатації

На рис. 11 показано, яку структуру буде мати система технічного обслуговування та ремонту з урахуванням ймовірнісного методу для групи дослідних зразків вантажних вагонів на маршруті Кривий Ріг-Ужгород-Кошице від першого деповського ремонту.



а



б

а – без урахування технічного стану кузовів; б – з урахуванням технічного стану кузовів

Рисунок 11 – Структура ремонту універсальних піввагонів на маршруті Кривий Ріг-Ужгород-Кошице від першого деповського ремонту

Наведена структура ремонту універсальних піввагонів на маршруті Кривий Ріг-Ужгород-Кошице від першого деповського ремонту вказує на можливість перебудови планово-запобіжної системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів залежно від якості виконання технічних дій.

У четвертому розділі побудовано систему дослідження надійності вантажних вагонів (СДНВВ). При цьому наведено алгоритм для побудови моделей відмов

вантажних вагонів і зроблено поєднання двох моделей (за відмовами і за зміною фізико-механічних характеристик). Результуюча ймовірність визначається за заданою апріорною (вихідною) ймовірністю відмови:

$$P(A_j) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{a_{j-1}}^{a_j} \exp\left(-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}\right) dt, \quad (17)$$

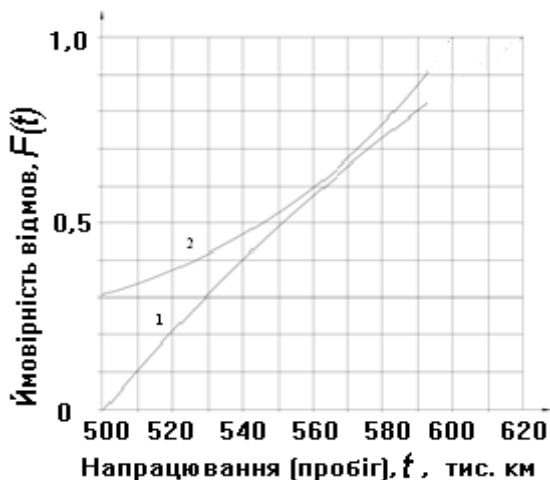
де a і σ^2 – математичне сподівання й дисперсія пробігу (напрацювання) вантажного вагона до відмови для нормального закону розподілу, які визначаються на основі змін технічного стану; a_{j-1} , a_j – дискретні значення пробігу (напрацювання) вантажного вагона до відмови в інтервалі від 0 до a_{max} з кроком $\Delta = a_{max}/N$; A_j – точка, для якої визначена дискретна ймовірність $A_j = (a_{j-1} + a_j)/2$.

Далі виконується уточнення значення напрацювання (пробігу) вантажного вагона до відмови на основі виразу

$$\hat{T} = \sum_{j=1}^N A_j P(A_j|B). \quad (18)$$

де $P(A_j|B)$ – ймовірність гіпотези A_j при настанні події B .

Зміну напрацювання (пробігу) вантажного вагона до відмови для п'ятникового вузла піввагона після КР наведено на рис. 12.



1 – при звичайній оцінці (відновлення ресурсу);

2 – при використанні виразу (18)

Рисунок 12 – Залежності ймовірності відмови п'ятникового вузла піввагона після КР від пробігу

З рис. 12 (крива 2) спостерігається підвищене значення ймовірності відмов п'ятникового вузла після КР, і при напрацюванні 600 тис. км це значення стає критичним, чого не можна сказати при звичайній оцінці ймовірності відмов (крива 1). Останнє свідчить про те, що при визначенні ймовірності відмов п'ятникового вузла не враховується інформація про попередній втомний знос і зміни, що відбулись до КР піввагона. На відміну від цього, вираз (18) урахує зміну фізико-механічних характеристик складових елементів п'ятникового вузла піввагона після проведення КР.

Для формування системи досліджень надійності вантажних вагонів у роботі побудована структурна схема на прикладі піввагона моделі 12-7023 (рис. 13), яка дозволяє встановити вплив конструктивних особливостей на надійність вагона.

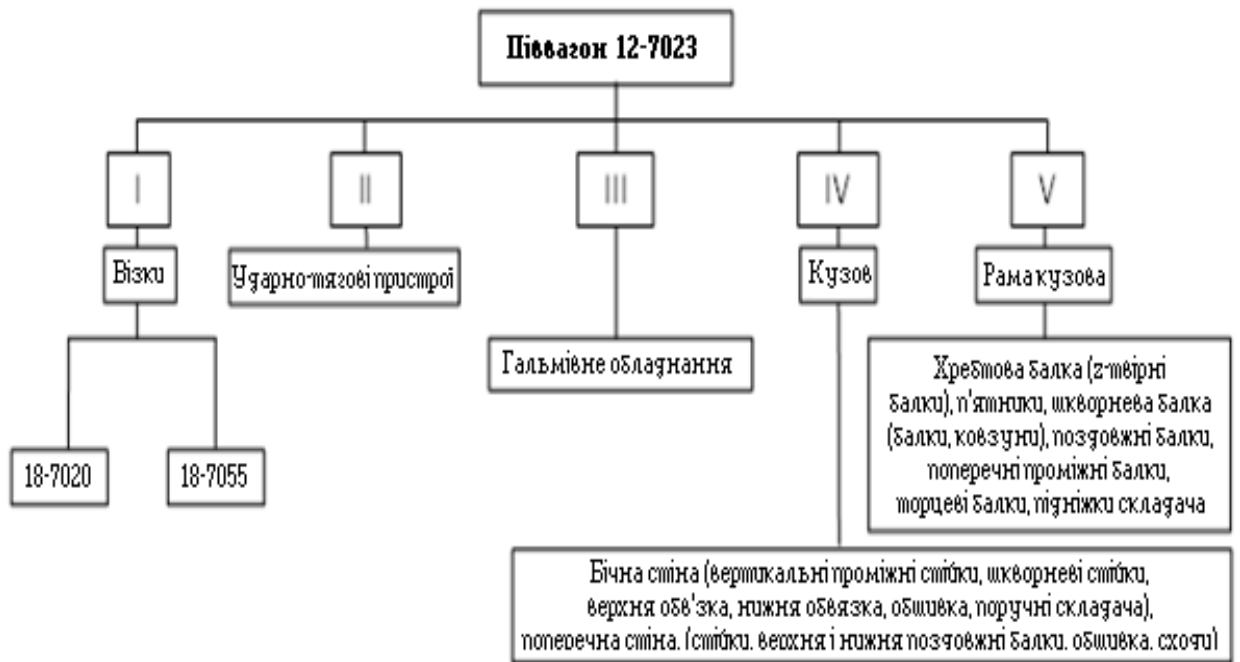


Рисунок 13 – Структурна схема піввагона моделі 12-7023

Кожен вузол піввагона має свою структуру. Візок моделі 18-7023 – це механічна система, що складається з шістнадцяти послідовно з'єднаних елементів: надресорної балки, шворня, державки мертвої точки, двох ковзунів, двох ресорних комплектів, двох бічних рам, чотирьох букс, двох колісних пар, гальмової важільної передачі. Візок – це система, яка складається зі змішано з'єднаних елементів, тобто елементів, з'єднаних паралельно й послідовно. Відповідно вагон має ймовірність безвідмовної роботи, на яку впливає ймовірність безвідмовної роботи кожного елемента.

Як приклад на рис. 14 зображено розроблену структурну схему візка 18-100.

Для побудови системи досліджень надійності вантажних вагонів залучено апарат нечіткої логіки. У СДНВВ на основі знань про зв'язок ознак несправностей і самої несправності відповідного вантажного вагона, що формується 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 із: заповненням таблиць БЗВ; витягом (отриманням) знань із статистичних даних щодо відмов вагонів; організацією експертного опитування; навчанням БЗВ. База даних з відмов (БДВ) СДНВВ складається з двох множин – симптомів (свідчень) і відмов (гіпотез), а БЗВ складається з безлічі пар елементів відповідних множин із зазначенням у явному вигляді міри довіри або недовіри. Для СДНВВ запропоновано модель даних «одиниця надійності» (описується виразом (19)).

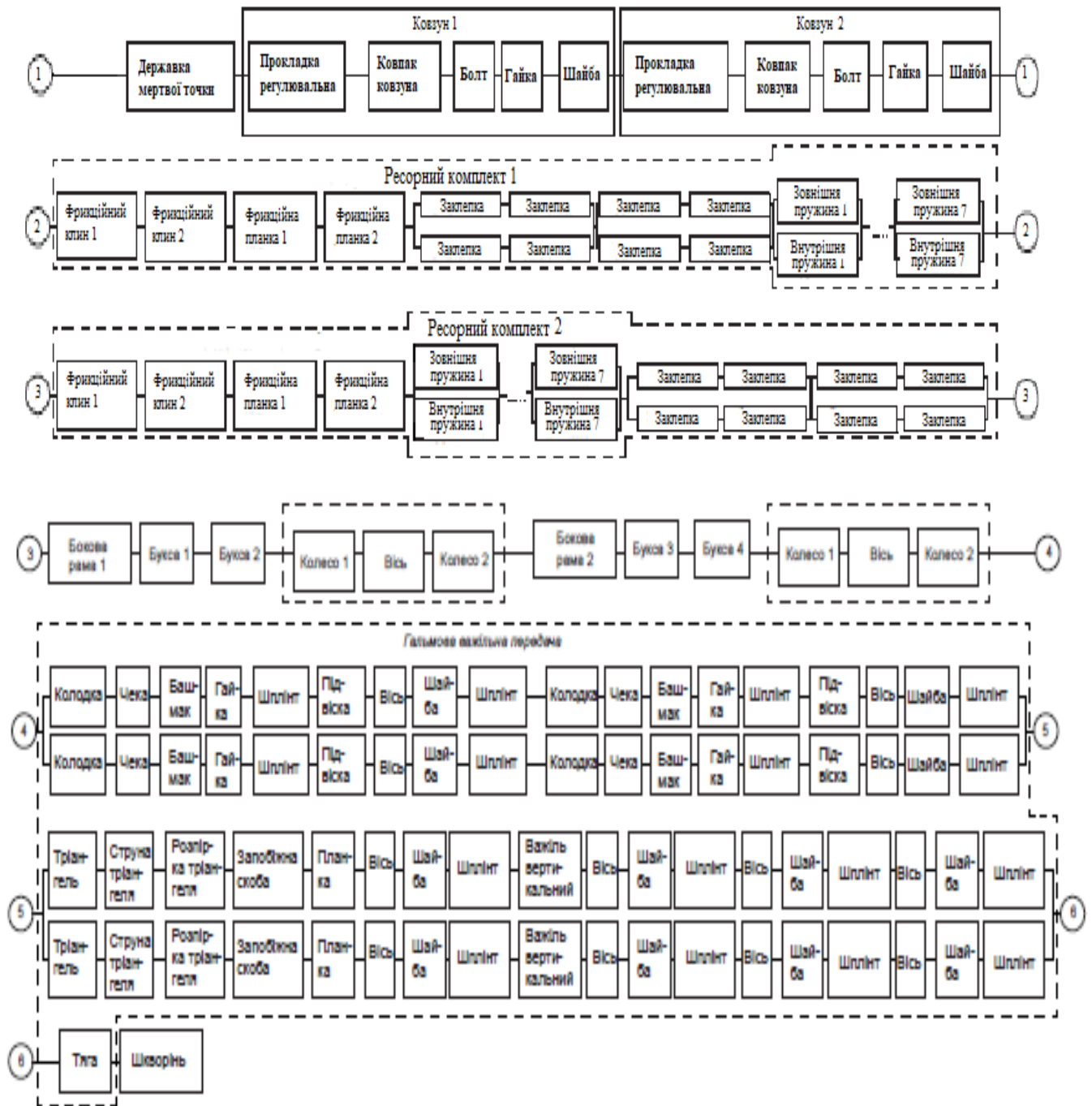


Рисунок 14. Структурна схема візка вантажного вагона моделі 18-100

$$ReliabilityUnit\langle H, E, CM, ACM \rangle, \quad (19)$$

де $H = \{df_m\}$ – множина гіпотез про виникнення відмови (несправності) df_i ; $E = \{symp_j, ctx_k, ctxScl_s, intervalT_b, interval_l, mrk_n, mdl_c, dev_h\}$ – множина свідчень (симптомів) з відмов (несправностей) вагонів; $CM\langle prob \rangle$ – множина мір довіри; $ACM\langle aprob_p \rangle$ – множина мір недовіри; $symp_j$ – елемент з множини симптомів, що фіксується оглядачем вагонів під час експлуатації або майстром депо під час виконання будь-якого виду ремонту; ctx_k – елемент множини контекстів надійності;

$ctxScl_s$ – елемент множини шкали контексту; $intervalT_s \in IntervalT$ – елемент множини «інтервалу пробігу вагона» $IntervalT$, що складається з двох елементів; $IntervalT = \{IntervalFrom, IntervalUpTo\}$; $IntervalFrom$ – пробіг вагона «починаючи з відповідної величини»; $IntervalUpTo$ – пробіг вагона «до відповідної величини»; $interval_s$ – значення пробігу вагона для вказаного елемента множини $IntervalT$, для якого визначена 95 % ймовірність виникнення відповідної відмови (несправності); mrk_n – елемент множини типів вагонів, за якими існують знання в СДНВВ; mdl_c – елемент множини моделей; dev_h – елемент множини модернізованих деталей, вузлів чи обладнання, що встановлено на вагон.

На підставі наведеної моделі будуються алгоритми визначення одиниці надійності вагона для пошуку множини ймовірних відмов (несправностей) із визначенням значень цих ймовірностей. Виходячи зі складу наведеної моделі (19), слід зауважити, що функція приналежності задана експертами за знаннями, детерміновано. Для перетворення статистичних даних в елемент БЗВ СДНВВ пропонується розрахункова функція ймовірності відмови залежно від пробігу (напрацювання) вагона. При отриманні розрахункового значення квантиля 5 % на кожній ітерації результуючі дані можуть бути занесені в БЗВ СДНВВ.

У демоверсії (у найпростішому вигляді), тобто маючи загальну інформацію про вантажні вагони (причини відмов, зносів тощо), робота системи дослідження показників надійності вантажних вагонів має такий вигляд (рис. 15).

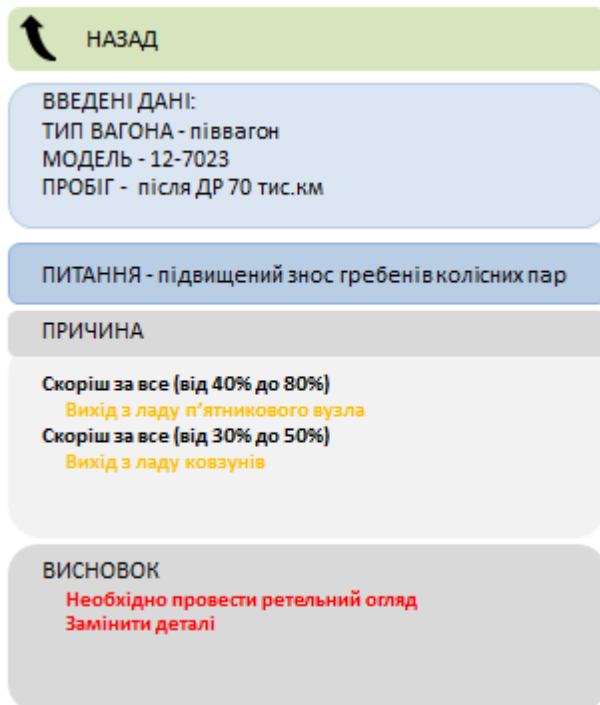
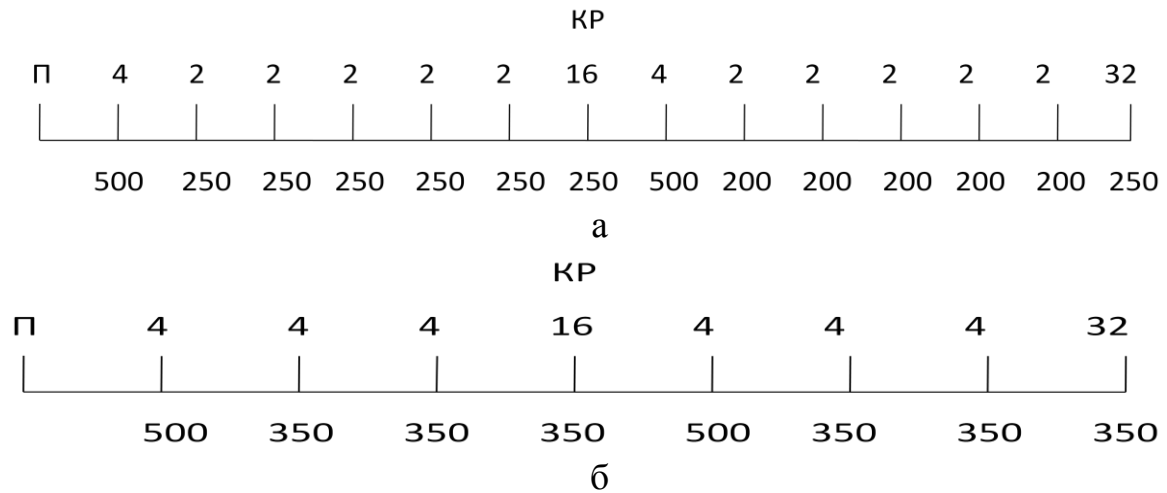


Рисунок 15 – Демонстрація роботи системи дослідження показників надійності вантажних вагонів

Якщо використати запропоновану в роботі систему надійності, то структура буде змінюватись. Продемонструємо на прикладі моделі вагона 12-7023, яким чином буде змінюватися напрацювання і структура ремонту після внесення даних у систему надійності. Для цієї моделі піввагона встановлена періодичність ремонту, показана на рис. 16, а.

У разі внесення змін до системи надійності вантажних вагонів, тобто зі зміною показників надійності, відповідно система запропонує періодичність і структуру для вагона моделі 12-7023, яка показана на рис. 16, б.



a – існуюча; *б* – удосконалена

Рисунок 16. Структура ремонту піввагона 12-7023

З нової структури ремонту піввагона 12-7023, побудованої за допомогою системи надійності, маємо: структура ремонту була 12 ДР + 1КР, за новим варіантом стала 6 ДР + 1КР; в існуючому варіанті за життєвий цикл піввагон 12-7023 має 13 технічних впливів ремонтного характеру, у запропонованому варіанті таких впливів 7. Тобто піввагон 12-7023 буде перебувати менше часу в ремонтному простій.

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, спрямованих на визначення його функціональних характеристик. Насамперед розробників і користувачів цікавлять експлуатаційні якості, оскільки саме вони визначають основні властивості виробу в експлуатації. Тому науково-прикладна проблема з оцінки експлуатаційних характеристик нової і модернізованої техніки не просто становить інтерес, а є особливо актуальною, а для залізничної техніки, від якої залежить не тільки безпека руху, але й життя і здоров'я людей, оцінка показників у експлуатації має надзвичайно важливе значення. Тому в роботі розглянуто методологічні підходи до оцінки експлуатаційних характеристик нових і модернізованих вантажних вагонів, а також побудовано плани випробувань надійності вантажних вагонів, що включають довірчі інтервали λ_1 та λ_2 інтенсивності відмов при експоненціальному розподілі й різних планах випробувань. Виконання 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 таких піввагонів виконано 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 цих вантажних вагонів.

Експлуатаційна робота маршруту включала:

- навантаження на Криворізьких рудниках через навантажувальні бункери або екскаваторами;
- на маршруті Кривий Ріг–Ужгород рух вагонів відбувався в завантаженому стані;
- розвантаження на Кошицькому комбінаті відбувалося за допомогою роторного вагоноперекидача;
- рух вагонів у зворотному напрямку відбувався в порожньому стані.

Маршрут пролягав Придніпровською, Одеською, Південно-Західною та Львівською залізницями і містив складний за планом і профілем колії Карпатський перевал. Довжина одного рейсу становила 2 700 км. Коефіцієнт порожнього пробігу – 0,5. За експертними оцінками, завантаженість вагонів маршруту в 1,2...1,5 рази перевищує середню загальномережеву завантаженість на магістральних залізницях з шириною колії 1520 мм. Усі поїздки маршруту супроводжувалися бригадами досвідчених оглядачів вагонів і, у разі потреби, – співробітниками випробувальної лабораторії вагонів ДНУЗТ. Періодично в рейсовий маршрут додавалася вагон-лабораторія для вимірювання необхідних динамічних параметрів під час руху. Діяла система інформації про виявлені під час перевезення відмови вагонів і контролю їх усунення.

Аналізуючи результати первинної статистичної обробки товщини гребенів, виявлено, що інтенсивність зносу явно знижується зі збільшенням пробігу маршрутних вагонів. Так, на початкових 19 тис. км пробігу (від 2,7 до 21,6 тис. км) зниження становило $\Delta M = 0,88$ мм, а в останні 19 тис. км (від 160 до 179 тис. км) – $\Delta M = 0,21$ мм. Помітне також зростання середньоквадратичних відхилень – при початковому пробігу $\sigma \approx 0,4$ мм, а після 110 тис. км $\sigma \approx 1$ мм, що свідчить про появу нерівномірної товщини гребеня за колом колеса. У зв'язку з цим, графік залежності товщини гребеня від пробігу вагона (рис. 17) побудовано у формі експоненціальної регресії, що дозволяє врахувати змінну інтенсивність процесу зносу.

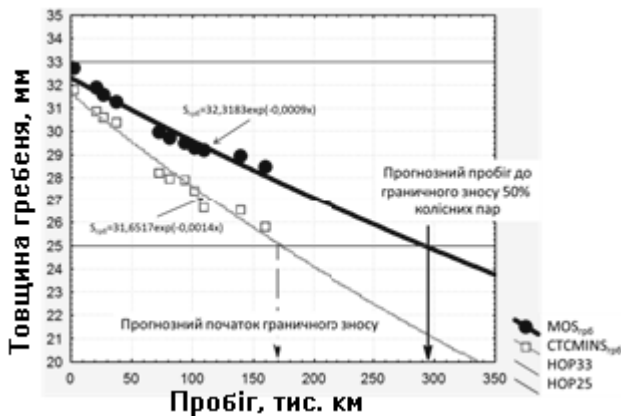


Рисунок 17 – Залежність товщини гребенів коліс від пробігу вагона

Графічна залежність побудована із статистичним прогнозом до 350 тис. км пробігу вагона. Лініями й маркерами позначено:

- $MOS_{грб}$ – математичне сподівання товщини зношеного гребеня при різних пробігах вагона. Формула експоненти – над графіком. Жирні маркери позначають дослідні значення, отримані після первинної обробки масиву вимірювань;

- $СТС.МІНС_{грб}$ – статистично мінімальна товщина гребеня, яка може спостерігатися при замірах гребенів у колісних пар із цими пробігами. Відповідні маркери світлі.

Прогнозний пробіг вагонів до граничного зносу 50 % колісних пар становить $S_{50\%} = 285,3$ тис. км. Теоретичне значення прогнозного початку граничного зносу гребенів колісних пар $S_{поч} = 168,5$ тис. км.

На графіку (рис. 18) показано інтенсивність зносу гребенів:

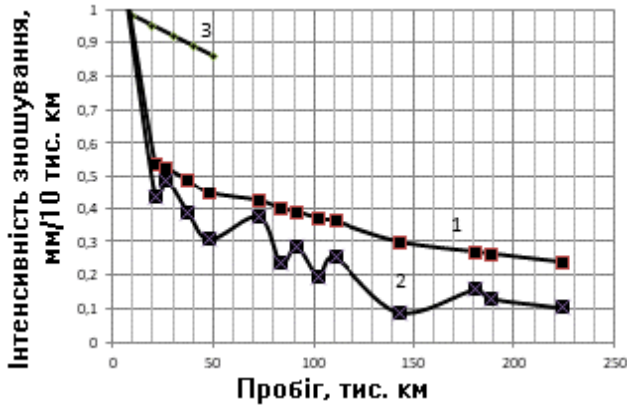


Рисунок 18 – Залежність інтенсивності зносу гребенів коліс від пробігу вагона

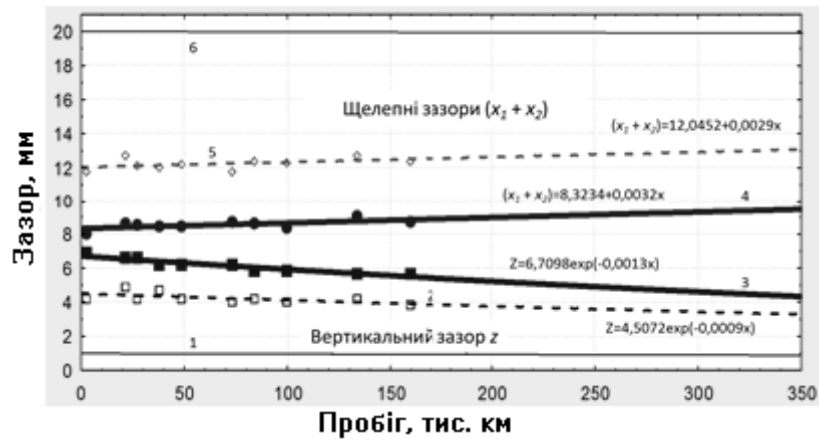
- 1 – колісних пар піввагонів дослідного маршруту № 2 (візки мод. 18-7020, ободи коліс термооброблені на глибину зносу, профіль кочення ИТМ-73). При цьому наведено середню інтенсивність зносу гребенів з початку випробувань. Так, при пробігу 224 тис. км з початку випробувань відбулося зниження інтенсивності зносу до $0,238$ мм/10⁴ км;

- 2 – колісних пар піввагонів дослідного маршруту № 2 (візки мод. 18-7020, ободи коліс термооброблені на глибину зносу, профіль кочення ИТМ-73). У цьому випадку наведено середню поточну інтенсивність зносу гребенів, де на останньому етапі спостерігається зниження інтенсивності зносу до $0,102$ мм/10⁴ км пробігу;

- 3 – колісних пар піввагонів-еталонів дослідного маршруту № 1 (візки моделі 18-100, профіль кочення ГОСТ 9036 без глибокої термообробки ободів). При цьому інтенсивність зносу гребенів при пробігу до 50 тис. км становила від $0,98$ мм до $0,86$ мм/10⁴ км.

Отже, вжиті заходи привели до зниження інтенсивності зносу гребеня колеса в 3,3 раза, що приблизно забезпечує заданий ресурс до першого деповського ремонту вагонів (300 тис. км). Однак прокат коліс залишився незначним. Середнє абсолютне його значення після 180 тис. км пробігу становило $\sim 1,5$ мм, тобто інтенсивність прокату коліс $\rho \approx 0,083$ мм/10⁴ км. Тобто якісний характер зносів коліс «їзда на гребенях» зберігся. Статистична обробка виміряних у процесі експлуатаційних випробувань щелепних зазорів зі статистичним прогнозом показана на рис. 19.

Результуючі графіки усередненого завищення клинів зі статистичними прогнозом наведені на рис. 20. Результативний графік залежності виступу ковпаків від пробігу вагонів наведено на рис. 21, на якому статистичний прогноз зроблено до пробігу 400 тис. км, щоб показати перетин обох експоненціальних кривих з мінімальним нормативним значенням виступу $h_{min} = 14$ мм.



1 – нормативний мінімум вертикального зазору ($z = 1$ мм); 2 – статистичний мінімум вертикального зазору z ; 3 – математичне сподівання вертикального зазору z ; 4 – математичне сподівання щелепного зазору ($x_1 + x_2$); 5 – статистичний максимум щелепного зазору ($x_1 + x_2$); 6 – нормативний максимум щелепного зазору ($x_1 + x_2$) = 20 мм

Рисунок 19 – Графіки зміни зазорів при експлуатаційних випробуваннях:

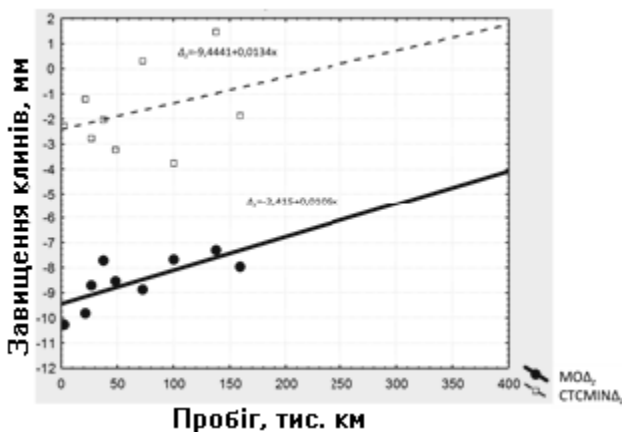


Рисунок 20 – Графіки усередненого завищення клинів

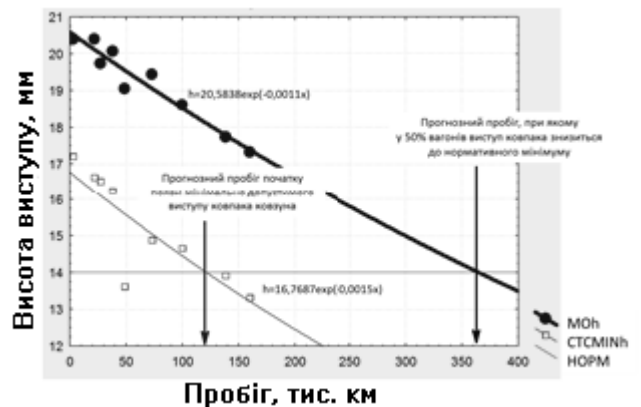


Рисунок 21 – Графічні залежності висоти виступу ковпака від пробігу вантажного вагона

Узагальнені дані про зноси п'ятникових вузлів наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Узагальнені дані про зноси п'ятникових вузлів

Величини	Середня інтенсивність зносу, мм/10 ⁴ км	Вимірювання після 137,7 тис. км, мм	Нормативні граничні значення, мм	Прогнозні пробіги, тис. км	
				за статистичним значенням	за математичним сподіванням
Діаметр підп'ятника	0,308	305,4	308	170	240
Діаметр п'ятника	0,076	298	294	252	745

Результати обробки зносу автозчепів наведено в табл. 2. Граничний зазор в міжвагонному з'єднанні ненормований. За експертними оцінками він може допускатися в межах 30 мм. Оскільки початковий зазор у контурі зачеплення

дорівнює 10 мм, то на знос залишається $\Delta = 20$ мм. Прогнозний пробіг вагона, після якого сумарний знос контуру автозчепу становитиме 20 мм, для випробовуваних вантажних вагонів прогнозується за формулою на рівні: $S_c = k \frac{\Delta}{\varepsilon} = 1,18$ млн км, де k – коефіцієнт розмірності, $k = 0,01$; ε – експериментальний коефіцієнт, $\varepsilon = 0,1694$. Таким чином, наплавлення зношених поверхонь автозчепу необхідно буде проводити після 1 млн км пробігу, тобто при капітальному ремонті вагона.

Виконаний статистичний прогноз показав, що середня інтенсивність зносу (за математичним сподіванням) забезпечує ресурсний пробіг вагона 300 тис. км – до першого деповського ремонту. Однак існує прогнозна ймовірність дострокових відчеплень вантажних вагонів:

- за зносом гребеня колісної пари – після 168,5 тис. км пробігу;
- за виступом ковпака ковзуна візка – після 120 тис. км пробігу;
- за граничним розміром діаметра підп'ятника – після 170 тис. км пробігу.

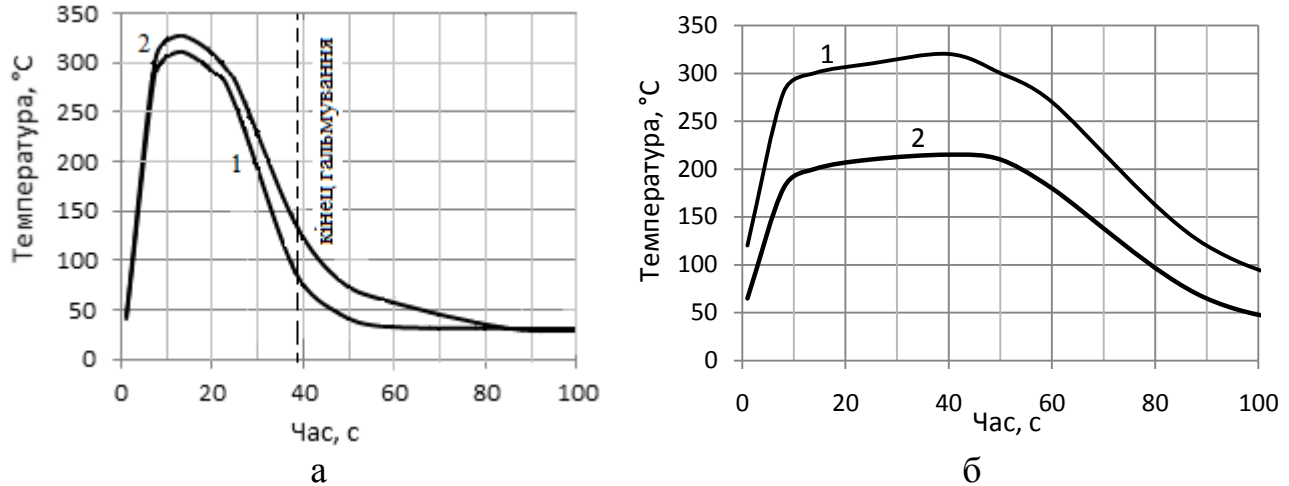
Таблиця 2 – Статистична обробка результатів замірів зазорів у зчепленні автозчепів вагонів

Оброблені масиви вимірювань	Пробіг вагона, тис. км	Кількість вимірювань	Математичне сподівання, мм	Середньоквадратичне відхилення, мм
Зазор у міжвагонному з'єднанні при другому обмірі	89,1	94	7,8206	2,2967
Зазор у міжвагонному з'єднанні при третьому обмірі	159,3	96	10,2292	1,6143
Збільшення зазору між двома обмірами			2,4086	1,9555
Зростання пробігу, тис. км	70,2			
Інтенсивність зносу в з'єднанні, мм/10 тис. км			0,343	0,279
Інтенсивність зносу поверхонь корпусу автозчепу, мм/10 тис. км пробігу			0,17	0,139
Статистичний максимум інтенсивності зносу, мм/10 тис. км пробігу			0,52	

Експериментальні дослідження гальмових колодок «Кобра Тредгард» порівняно з колодками ВАТ «Трибо» показали, що існує сприятливий вплив колодки на поверхню кочення, а недоліками є виникнення тріщин на границі «металева вставка – фрикційний матеріал» та підвищений знос колодки. За результатами експериментальних випробувань рекомендовано кампанії «RFPC» продовжити роботи з удосконалення конструкції колодки в напрямку зменшення тріщиноутворення, а ВАТ «Трибо» – спрямувати дослідження на поліпшення впливу гальмівних колодок на поверхню кочення коліс. Також у ТОВ «Випробувальна лабораторія фрикційних виробів «Євротест» було виконано випробування з визначення як ефективності гальмування, так і температури поверхні кочення колеса на динамометричному стенді. Температура фіксувалася в процесі випробувань за програмою норм безпеки, а гальмування проводилися зі швидкістю 50, 90, 120, 140, 160 км/год з натисненням 10 і 20 кН. Максимальні температури досягалися при гальмуванні з максимальними швидкостями й максимальними натисканнями. Гальмівна чавунна колодка порівнювалася з

композиційною гальмівною колодкою 2ТР-37-01. З графіка (рис. 22) видно, що практично на всіх інтервалах гальмування при різних швидкостях і натисканнях 10 і 20 кН вищий нагрів колеса спостерігається з композиційною колодкою 2ТР-37-01.

Застосування колодки 2ТР-37-01 дозволяє забезпечити щадний вплив на зону контакту «колодка – колесо», оскільки робочі температури колеса при гальмуванні нижче, ніж при використанні будь-яких композиційних колодок.



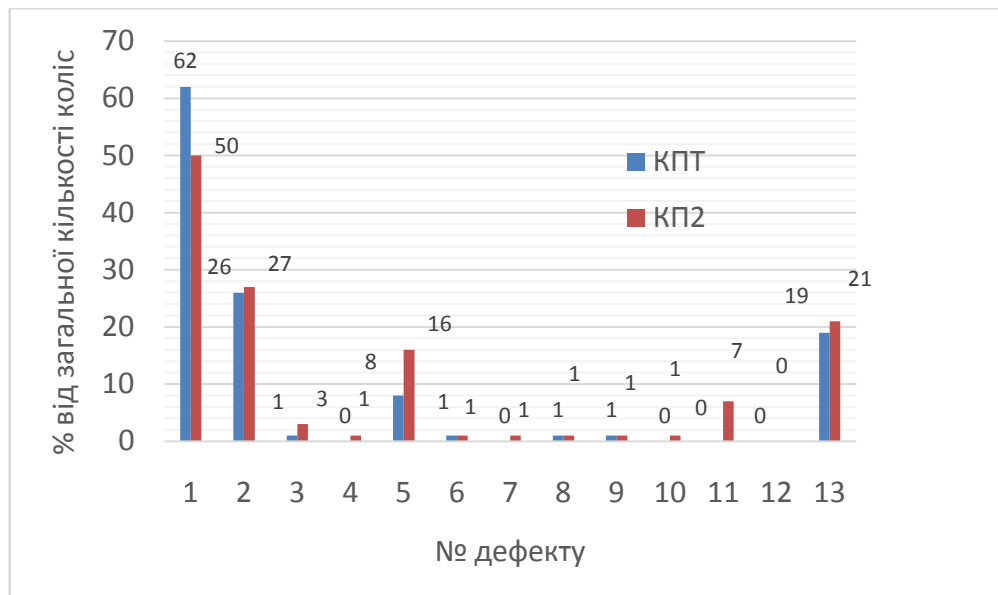
1 – чавунні колодки; 2 – композиційні колодки (2ТР-37-01)

Рисунок 22 – Залежності температури поверхні кочення колеса (а) та гальмівних колодок (б) на динамометричному стенді (швидкість 120 км/год, натискання 20 кН)

Повністю усунути зношування в зоні контакту «колесо–рейка» неможливо, але знизити його інтенсивність можна шляхом вдосконалення профілю поверхні кочення колеса, оптимізації співвідношення твердості колеса й рейки, підвищення міцності та твердості колеса. Вирішуючи цю проблему, на ВАТ «Інтерпайп НТЗ» спільно з Інститутом чорної металургії НАН України було виготовлено високоміцні колеса (типу КП-Т) зі сталі марки Т підвищеної твердості на заміну серійних середньоміцних коліс (типу КП-2) зі сталі марки 2. Основними характеристиками сталі марки Т є міцність $\sigma_B > 1100$ МПа і твердість 320...360 НВ проти $\sigma_B < 1000$ МПа і 260...300 НВ сталі марки 2. Це дозволило підвищити ресурс вагонних коліс типу КП-Т за критерієм зносотривкості на 30-40 % порівняно з колесами типу КП-2. Укрзалізницею було закуплено й введено в експлуатацію декілька тисяч високоміцних коліс.

Співробітниками науково-дослідної лабораторії «Вагони» ДНУЗТ за участю автора виконано аналіз наявності дефектів на поверхні кочення суцільнокатаних коліс у кількості 5 500 штук, які надійшли в ремонт за 9 місяців 2009 р. по всій мережі доріг Укрзалізниці. За даними аналізу несправностей коліс марок КПТ і КП2 по всій мережі залізниць України встановлено таке: дефект вищербини спостерігається на 50 % коліс марки КП2 і на 62 % коліс марки КПТ; повзуни, що мають наднормативну глибину на колесах марки КП2 на 3,8 % більше, ніж на колесах марки КПТ; відносна кількість повзунів глибиною до 1 мм включно на колесах марки КП2 (14 %) значно більша (в 14 разів), ніж на колесах марки КПТ (1%); не менше ніж 25 % повзунів на поверхні кочення коліс утворюється в результаті гальмування вагонів у гіркових системах сортувальних станцій через

використання гальмових башмаків; пошкодження коліс, зумовлені впливом гальмових колодок на поверхню кочення коліс (навари і кільцеві виробітки) складають для коліс марки КП2 4 %, а для коліс марки КПТ – 1 %. Тобто колеса марки КПТ у 4 рази стійкіші до пошкоджень такого типу, ніж колеса марки КП2; пошкодження поверхні кочення коліс типу зношення та пластинчастого дефекту (зменшення товщини гребеня, вертикальний підріз гребеня, рівномірний і нерівномірний прокат) становить для коліс марки КП2 19 %, а для коліс марки КПТ – 11 %. Пошкоджень цього типу на колесах марки КП2 виникає на 72 % більше, ніж на колесах марки КПТ. Таким чином, експериментальні дані, отримані в процесі дослідження, свідчать про те, що колеса підвищеної міцності порівняно з колесами марки КП2 показують меншу пошкоджуваність по навару, зношенню гребенів, круговим напливу металу, кільцевим виробках, вертикальному підрізу і загостреними накату гребенів, нерівномірному прокату і по повзунах (рис. 24). Загалом перераховані дефекти в коліс марки КП2 трапляються в 23,0%, а в коліс марки КПТ – у 13,2%.



1– вищербини; 2 – повзуни; 3 – навари; 4 – кільцеві вироблення; 5 – тонкий гребінь; 6 – вертикальний підріз гребеня; 7 – гострий накат гребеня; 8 – прокат; 9 – нерівномірний прокат; 10 – інші; 11 – тонкий обід; 12 – тріщина; 13 – обточування не потрібно

Рис. 23 Стан коліс марок КПТ та КП2, що надійшли в ремонт за 9 місяців

Основні результати виконання дисертаційної роботи знайшли своє втілення у виробництво, в наукові дослідження та в навчальний процес, про що свідчать відповідні акти впровадження.

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

ВИСНОВКИ

У результаті виконаних досліджень у дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна проблема із поліпшення надійності вантажних вагонів та безпеки руху за рахунок формування системи досліджень їх надійності на етапах життєвого циклу. Розроблено наукові основи формування системи дослідження надійності вантажних вагонів на різних етапах життєвого циклу, що на практиці дозволяє значно зменшити експлуатаційні витрати за рахунок подовження терміну корисної експлуатації з урахуванням корегування системи технічного обслуговування та ремонту. Загалом по роботі можна зробити такі висновки:

1. Аналіз стану безпеки руху у вагонному господарстві залізниць України та відмов вантажних вагонів показав, що в результаті відчеплень вагонів у поточний ремонт через несправності вузлів вагонне господарство зазнало збитків на рівні 4 503 грн/тис. км, що припадають на один вагон. Рівень збитків є досить значним, і чим більше відбувається відчеплень через незабезпечення гарантованого пробігу вантажних вагонів, тим більше вагонне господарство вкладає коштів у їх життєвий цикл. Особливо актуальним на сьогодні є забезпечення надійності вантажних вагонів на всіх етапах життєвого циклу, оскільки використовуваний парк рухомого складу є морально та фізично застарілим, що потребує інших підходів до повноти проведення і якості технічного обслуговування та ремонтів. Також це стосується й нових вантажних вагонів, які нещодавно виготовлені й для яких встановлено гарантований пробіг до ремонту. Однак ці терміни практично не дотримуються на експлуатованому парку вантажних вагонів. Тому й для нових вантажних вагонів, які тільки виготовляються, необхідно розробити заходи із забезпечення надійності на всіх етапах їх життєвого циклу.

2. На основі існуючої теорії надійності набула подальшого розвитку методологія визначення показників надійності вантажних вагонів, що містить методи визначення показників на всіх етапах життєвого циклу вагона, які базуються на аналізі та синтезі теоретико-експериментальних даних про технічний стан, та основні показники надійності вагона як механічної багатоелементної системи. Удосконалено математичну модель прогнозування величини зношування деталей вантажних вагонів, що враховує закони розподілу випадкових величин і дозволяє враховувати показники надійності всіх основних комплектуючих елементів протягом життєвого циклу.

3. Для прогнозування напрацювання окремих деталей та вузлів або вагона в цілому протягом життєвого циклу набула подальшого розвитку математична модель технічного стану вантажного вагона, на основі якої розроблено послідовність визначення показників надійності вагонів для прогнозування кількісних показників надійності деталей та вузлів або вагона в цілому.

4. У результаті виконання теоретичних досліджень взаємодії елементів гальмівної системи вантажного вагона удосконалено математичну модель теплового балансу, використовуючи яку на етапі життєвого циклу – проектування, можна підбирати колодки з необхідними фізико-хімічними, механічними та триботехнічними властивостями для забезпечення ефективної роботи гальмівної

системи та забезпечення необхідного рівня надійності в процесі експлуатації вантажних вагонів.

5. Під час виконання технічних дій (технічного обслуговування та ремонту) та впровадження інноваційних конструктивних та технологічних рішень у процесі технічного утримання та ремонту вагонів протягом життєвого циклу вперше отримано залежність граничного ресурсу структурних елементів вагона, що дозволяє максимально наблизити дані прогнозування до результатів експлуатації та сформувати найбільш технічно обґрунтовану систему технічного обслуговування та ремонту вагонів із зменшенням експлуатаційних витрат. Для визначення періоду безпечної експлуатації вагонів та прогнозування відповідних економічних показників, що характеризують експлуатаційні та ремонтні витрати, отримано поняття та вираз коефіцієнт функціональної надійності вантажних вагонів на етапі експлуатації життєвого циклу.

6. Для визначення надійності вантажних вагонів на етапі життєвого циклу – виготовлення комплектуючих та вузлів, удосконалено метод визначення відмов і оцінки надійності вагона, що передбачає можливість прогнозування відмов у експлуатації з урахуванням особливостей технологічного процесу виготовлення складових елементів вагона з метою запобігання виникненню дефектів.

7. У результаті досліджень надійності вантажних вагонів на етапі життєвого циклу – експлуатація, набув подальшого розвитку метод визначення термінів проведення регламентних видів технічного обслуговування, поточного, деповського та капітального ремонтів вантажних вагонів, за допомогою якого встановлюються параметри експлуатаційної надійності вантажних вагонів: коефіцієнт готовності, ймовірності безвідмовної роботи та виконання завдання.

8. Виконано обґрунтування правомірності застосування Байєсової моделі для розрахунків показників надійності вантажного вагона на етапах життєвого циклу. Використання адаптованої Байєсової моделі за наведеною методикою дозволяє оцінити показники надійності на етапах життєвого циклу, удосконалити міжремонтний термін та кількість ремонтів протягом життєвого циклу моделі вагона, при цьому забезпечується урахування їх конструктивних особливостей.

9. Сформовано структурну схему вантажного вагона. При цьому перед введенням його в експлуатацію в єдину інформаційну базу вноситься інформація про вагон (дата і рік побудови, завод-виробник, тип, модель, реєстраційний номер, комплектація з відповідними обліковими номерами та ін.). У процесі експлуатації вагонів підприємствами з обслуговування і ремонту вноситься інформація про всі їх відмови, про заміну деталей і вузлів на відповідному пробігу. У результаті сформована база дозволяє виконати розрахунки і сформувати показники надійності як окремих деталей і вузлів, так і вагона в цілому. Ця інформація використовується для прийняття більш зваженого рішення з приводу його надійності порівняно з існуючими методиками, де пропонується приймати рішення за обмеженою кількістю досліджуваних об'єктів.

10. Для формування системи дослідження надійності вантажних вагонів протягом життєвого циклу 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. Запропоновано нова структура ремонту піввагона моделі 12-7023, яка побудована на основі розробленої системи надійності, показала таке: структура ремонту піввагона моделі 12-7023 була змінена з 12 ДР + 1КР, а стала 6 ДР + 1КР; в існуючому варіанті за життєвий цикл піввагон моделі 12-7023 має 13 технічних впливів ремонтного характеру, а в запропонованому варіанті – 7 таких впливів, тобто, в ремонтному простої піввагон моделі 12-7023 буде знаходитись менше часу.

11. Для встановлення експлуатаційних характеристик нових і модернізованих вантажних вагонів було удосконалено метод їх оцінки, що містить контрольовані параметри для системи дослідження надійності вантажних вагонів як свідчення (симптоми), які визначаються протягом випробувань та під час експлуатації і дають можливість більш точно визначити показники надійності вантажних вагонів за комплексними ознаками.

12. У результаті виконаних 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 апріорних ймовірностей справедливості гіпотез з певними ознаками несправностей вантажних вагонів.

13. Техніко-економічне обґрунтування запропонованих технічних та технологічних рішень забезпечення надійності показало, що можна досягти зменшення вартості життєвого циклу піввагона на 14,2 тис. грн. Оскільки робочий парк піввагонів на залізницях України становить 83 302 одиниці, то загальний економічний ефект від застосування запропонованих рішень становить 1 183 млн грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Основні праці:

1. Мурадян Л. А., Анофрієв В. Г. Исследование действующих условий эксплуатации и анализ причин сокращения ресурса работы железнодорожных колес. *Вісник Дніпропетровського нац. ун-ту залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна*. 2010. Вип. 34. С. 206–210.
2. Решетняк Ю. В., Решетняк Д. Ю., Гордійчук О. В., Мурадян Л. А., Бруякін В. К., Бабаєв А. М., Міщенко А. А. Модернизация пятникового узла. *Вагонный парк*. 2011. № 5. С. 7–10.
3. Бабаєв А. В., Книшук О. С., Исопенко И. В., Мурадян Л. А. Дисковые тормоза грузовых вагонов. *Вагонный парк*. № 12. 2011. С. 8–13.
4. Порівняльний аналіз причин утворення дефектів на поверхні кочення вуглецевих та підвищеної твердості мікролегованих суцільнокатаних коліс / [Узлов І. Г., Узлов К. І., Книш А. В., Хулін А. М., Дементьєва Ж. А., Мямлін С. В., Бруякін В. К., Мурадян Л. А.]. *Фундаментальные и прикладные проблемы*

- черной металлургии* : сб. научн. тр. Дніпропетровськ : ІЧМ НАН України, 2011. С. 3–12.
5. Савчук О. М., Бруякин В. К., Мурадян Л. А., Мищенко А. А., Лутанин С. В., Можейко Е. Р. Надежность полувагонов нового поколения. *Вагонный парк*. 2011. № 9. С. 11–16.
 6. Неисправности авторежимов грузовых вагонов / [Кутищенко А. В., Бабаев А. М., Кривошея А. Н., Глешенкова В. С., Мурадян Л. А.]. *Вагонный парк*. 2012. № 2. С. 34–36.
 7. On the concept of selection of steels for high-strength railroad wheels / О. Р. Ostash, V. H. Anofriev, I. M. Andreiko, L. A. Muradyan, V. V. Kulyk. *Materials Science*. 2013. Vol. 46. Iss. 6. P. 697–703.
 8. Мямлін С. В., Скалозуб В. В., Мурадян Л. А. Адаптивні Байєсівські моделі оцінювання показників надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2018. Вип. 182. С. 80–91.
 9. Мурадян Л. А. Определение количества объектов для проведения эксплуатационных испытаний вагонной техники. *Збірник наукових праць УкрДАЗТ*. 2013. Вип. 139. С. 83–86.
 10. Мурадян Л. А., Бабаєв А. М., Сорокалет А. В. Исследование эксплуатационных свойств накладок для дисковых тормозов пассажирских вагонов производства ПАО "Трибо". *Залізничний транспорт України*. 2013. № 3/4. С. 66–68.
 11. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Винокурова С. В. Пути развития, тенденции и перспективы дальнейшего совершенствования тормозной колодки рельсового подвижного состава. *Вагонный парк*. 2015. № 5-6. С. 32–34.
 12. Испытания перспективных тормозных колодок на железных дорогах Украины / [Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Винстрот Бернд Уве, Муковоз С. П.]. *Локомотив-Информ*. 2015. № 7-8. С. 20–22.
 13. Мямлін С. В., Мурадян Л. А., Барановський Д. М. Проблема визначення терміну «надійність». Методологія побудови та вивчення надійності вантажних вагонів. *Наука та прогрес транспорту*. 2015. № 6 (60). С. 110–117. doi: 10.15802/stp2015/57034.
 14. Мямлін С. В., Мурадян Л. А. Застосування основних законів розподілу випадкових величин для визначення показників надійності вагонів. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. 2015. Вип. 26–27. С. 172–180.
 15. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Мищенко А. А. Методологические основы определения эксплуатационных характеристик несамоходного подвижного состава. *Наука та прогрес транспорту*. 2015. № 1 (61). С. 169–179.
 16. Мурадян Л. А. Розробка основних елементів для побудови системи дослідження надійності вантажних вагонів. *Збірник наукових праць ДЕТУТ. Серія «Транспортні системи і технології»*. 2015. Вип. 29. С. 29–36.
 17. Бубнов В. М., Мурадян Л. А., Манкевич М. П., Шапошник В. Ю. Особливості технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів з підвищеними показниками надійності. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2016. Вип. 160. С. 11–17.

18. Мурадян Л. А. Ймовірно-фізичний підхід для описання та визначення надійності вагонів. *Наука та прогрес транспорту*. 2016. № 5 (64). С. 168–177.
19. Мурадян Л. А. Описання відмов вагона при технологічному процесі виготовлення структурних елементів. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2016. Вип. 164. С. 62–68.
20. Мурадян Л. А. Граничний ресурс вагона в процесі експлуатації. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2016. Вип. 166. С. 17–23.
21. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Подосенов Д. О. Повышение надежности грузовых вагонов с применением новых технологий изготовления и восстановления рабочих поверхностей. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2016. № 11. С. 49–54.
22. Мурадян Л. А., Подосенов Д. О. Підвищення міжремонтного ресурсу візків вантажних вагонів. Модель геометрії зносу підп'ятника. *Наука та прогрес транспорту*. 2017. № 1 (65). С. 61–69.
23. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Подосенов Д. О. Теоретическая зависимость величины износа пары трения "пятник - подпятник" от пробега грузового вагона. *Наука та прогрес транспорту*. 2017. № 6. С. 79–87.
24. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю. Автоматичний ідентифікатор окремих частин транспортного засобу при впровадженні нових концепцій системи технічного обслуговування та ремонту. *Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті*. 2017. № 4(125). С. 44–50.

Додаткові праці:

25. Эксплуатационные испытания полувагонов нового поколения / [Савчук О. М., Бруякин В. К., Мурадян Л. А., Мищенко А. А., Коробка Б. А., Можейко Е. Р.]. *Вагонный парк*. 2009. № 5-6. С. 30–32.
26. Эксплуатационные испытания полувагонов нового поколения / [Савчук О. М., Бруякин В. К., Мищенко А. А., Мурадян Л. А., Коробка Б. А., Можейко Е. Р.]. *Вагонный парк*. 2009. № 7-8. С. 8–11.
27. Бабаев А. М., Мурадян Л. А., Винокурова С. В. О тормозных колодках дорог Украины. *Вагоны и вагонное хозяйство*. 2010. № 4. С. 43–44.
28. Бабаев А. М., Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю. Удосконалення вузла передачі стоянкового гальма вантажного вагона. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2013. Вип. 139. С. 94–97.
29. Мурадян Л. А. Відмови та безвідмовність вагонів як складові експлуатаційної надійності. *Вісник НТУ «ХП»*. Сер.: *Механіко-технологічні системи та комплекси*. Харків : НТУ «ХП», 2015. № 52(1161). С. 127–130.
30. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю. К вопросу о планах испытаний надежности механических систем. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2015. Вип. 157. С. 119–127.
31. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю. Исследование литых железнодорожных колес в эксплуатации производства компании “Griffin Wheel Company” (США). *Бюллетень научных работ Брянского филиала МИИТ*. Брянск, 2015. Вып. 7. С. 65–70.

32. Мурадян Л. А. О ресурсе литых железнодорожных колес компании "Griffin Wheel Company" (США). *Инновации и исследования в транспортном комплексе: Материалы III Международной научно-практической конференции*. Курган, 2015. Часть I (в двух частях). С. 219–222.
33. Мурадян Л. А. Побудова системи дослідження надійності вантажних вагонів. *Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті*. 2015. № 10. С. 90–95.
34. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Мищенко А. А. Опытные маршруты ДИИТ-УЗ: «Опытная эксплуатация – научные обоснования – массовое внедрение». *Вагонный парк*. 2016. № 5–6. С. 57–59.
35. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Пулария А. Л. Устройства пассивной защиты современного подвижного состава железных дорог. *Вагонный парк*. 2016. № 5-6. С. 8–11.
36. Muradian L. Building models of freight cars refusals involving Bayesian approach. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2016. С. 54–60.
37. Мурадян Л. А., Мямлин С. В., Шапошник В. Ю. Определение стратегии технического обслуживания и ремонта вагонной техники. *Транспортная инфраструктура Сибирского района*. Материалы седьмой Всероссийской научно-технической конференции. Иркутск, 2016. С. 369–373.
38. Мурадян Л. А., Барановский Д. Н. Визначення параметрів експлуатаційної надійності вантажних вагонів у системі технічного обслуговування та ремонту. *Залізничний транспорт України*. 2016. № 1-2- С. 35–40.
39. Мурадян Л. А. Побудова системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів. *Залізничний транспорт України*. 2017. № 1. С. 36–40.
40. Мурадян Л. А., Подосьонов Д. О. Збільшення міжремонтного ресурсу вантажних вагонів з використанням дискретного розподілення твердості матеріалу. *Вагонный парк*. 2017. № 3-4. С. 62–64.
41. Мямлин С. В., Мурадян Л. А., Подосьонов Д. О. Підвищення надійності п'ятикутового вузла вантажного вагону. *Залізничний транспорт України*. 2018. № 1. С. 34–41.
42. Шаблон для виміру дефектів залізничних коліс: Пат UA 123075 U Україна : МПК В61F 5/12, В61F 5/14 № 123075; заяв. 24.07.2017; публ. 12.03.2018. Бюл. № 5.

Праці апробаційного характеру:

43. Бруякин В. К., Мурадян Л. А., Мищенко А. А., Дедаева Т. И. К вопросу об износе гребней вагонных колес. *Проблемы та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 66-ї Міжнародної науково-практ. конф. Днепропетровск, 2006. С. 78.
44. Бруякин В. К., Мурадян Л. А., Мищенко А. А. К вопросу опытных эксплуатационных испытаний безасбестовых тормозных колодок. *Проблемы та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 67-ї Міжнародної науково-практ. конф. Днепропетровск, 2007. С. 54–55.
45. Савчук О. М., Бруякин В. К., Мурадян Л. А., Мищенко А. А. Дослідження зразків нової техніки. *Тези доповідей 68-ї Міжнародної науково-практичної*

- конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». Дніпропетровськ, 2008. С. 75–76.
46. Мурадян Л. А., Мищенко А. А. Испытания новых образцов вагонной техники в опытных маршрутах. *Проблеми механіки залізничного транспорту: Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу, енергозбереження*. Матеріали XII Міжнародної конф. Днепропетровск, 2008. С. 107.
 47. Савчук О. М., Бруякин В. К., Мурадян Л. А., Мищенко А. А. Эксплуатационные испытания полувагонов нового поколения. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 69-ї Міжнародної науково-практ. конф. Днепропетровск, 2009. С. 56–57.
 48. Мурадян Л. А., Бабаев А. М., Винокурова С. В. Совершенствование тормозных колодок железных дорог Украины. *Безопасность движения поездов*. Материалы X научно-практ. конф. Москва, 2009. С. VII-16.
 49. Мурадян Л. А., Анофрієв В. Г., Міщенко А. А. Аналіз пошкоджень на поверхні кочення коліс техніки. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 70-ї Міжнародної науково-практ. конф. Дніпропетровськ, 2010. С. 61–62.
 50. Бруякин В. К., Бабаев А. М., Мурадян Л. А., Міщенко А. А. Дослідження зносу гальмових колодок різних виробників в експлуатації. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 70-ї Міжнародної науково-практ. конф. Дніпропетровськ, 2010. С. 70–71.
 51. Решетняк Ю. В., Гордійчук О. В., Мурадян Л. А., Бабаев А. М., Міщенко А. А. Совершенствования пятникового узла грузового вагона. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 71-ї Міжнародної науково-практ. конф. Днепропетровск, 2011. С. 82.
 52. Анофрієв В. Г., Мурадян Л. А. Дослідження зносостійкості коліс різних марок сталей. *Проблеми механіки залізничного транспорту: Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу, енергозбереження*. Матеріали XIII Міжнародної конф. Дніпропетровськ, 2012. С. 91–92.
 53. Бруякин В. К., Мурадян Л. А., Мищенко А. А. Исследование показателей надежности в эксплуатации новой вагонной техники. *Проблеми механіки залізничного транспорту: Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу, енергозбереження*. Матеріали XIII Міжнародної конф. Дніпропетровськ, 2012. С. 93.
 54. Бабаев А. М., Мурадян Л. А., Сороколет А. В., Винокурова С. В. Эксплуатационные испытания тормозных накладок дискового тормоза. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 72-ї Міжнародної науково-практ. конф. Днепропетровск, 2012. С. 60–61.
 55. Мурадян Л. А., Шатунов А. В. К вопросу о повреждениях цельнокатанных колес в эксплуатации. *Транспортная инфраструктура сибирского района*. Материалы четвертой всероссийской научно-техн. конф. с международным участием. Иркутск, 2013. С. 368–369.
 56. Мурадян Л. А., Міщенко А. А., Бруякин В. К. Исследование эксплуатационных свойств надежности опытных вагонов в замкнутых маршрутах УЗ. *Проблеми та*

- перспективи розвитку залізничного транспорту*: матеріали 73-ї Міжнародної науково-практ. конф. Дніпропетровськ, 2013. С. 52.
57. Бабаєв А. М., Мурадян Л. А., Муковоз С. П. Эксплуатационные испытания всесезонных тормозных колодок пассажирских вагонов. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 74-ї Міжнародної науково-практ. конф. Дніпропетровськ, 2014. С. 60–61.
58. Мямлин С. В., Мурадян Л. А., Дузик В. Н. Анализ показателей надежности полувагонов модели 12-7023-01 на тележках 18-7020 в эксплуатации. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 75-ї Міжнародної науково-практ. конф. Дніпропетровськ, 2015. С. 25–26.
59. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю. Випробування гальмової колодки 2тр-155 з двома рознесеними чавунними вставками. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 75-ї Міжнародної науково-практ. конф. Дніпропетровськ. 2015. С. 29–30.
60. Бабаченко А. И., Мямлин С. В., Мурадян Л. А., Кныш А. В., Кононенко А. А. Эксплуатационные свойства железнодорожных колес, изготовленных различными способами производства. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 75-ї Міжнародної науково-практ. конф. Дніпропетровськ, 2015. С. 79–81.
61. Мямлин С. В., Мурадян Л. А., Бабаєв А. М., Пуларія А. Л., Шапошник В. Ю. Проблеми існуючої системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів в Україні. *Проблеми механіки залізничного транспорту: Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу, енергозбереження*. Матеріали XIV Міжнародної конф. Дніпропетровськ. 2016. С. 89–91.
62. Мурадян Л. А., Міщенко А. А., Шапошник В. Ю. Проблеми визначення надійності піввагонів моделі 12-7023-01 на візках 18-7020 за результатами дослідної експлуатації в маршрутах ДПТ-УЗ. *Проблеми механіки залізничного транспорту: Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу, енергозбереження*. Матеріали XIV Міжнародної конф. Дніпропетровськ. 2016. С. 86–87.
63. Мурадян Л. А. Застосування байєсівського підходу до побудови моделей відмов вантажних вагонів. *Проблеми механіки залізничного транспорту: Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу, енергозбереження*. Матеріали XIV Міжнародної конф. Дніпропетровськ, 2016. С. 84–86.
64. Мурадян Л. А., Мищенко А. А., Шапошник В. Ю. Опытные маршруты ДИИТ: «Опытная эксплуатация – научные обоснования – массовое внедрение». *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 76-ї Міжнародної науково-практ. конф. Дніпропетровськ, 2016. С. 34–35.
65. Мурадян Л. А., Подосьонов Д. О. Аналіз пошкоджень вантажних вагонів на ПАТ «Українська залізниця». *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 76-ї Міжнародної науково-практ. конф. Дніпропетровськ, 2016. С. 22–24.
66. Мурадян Л. А., Міщенко А. А., Шапошник В. Ю., Бубнов В. М., Тусіков Є. К., Ревякін В. В. Дослідження показників надійності піввагонів моделі 12-1905 на візках 18-1711 в експлуатації. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного*

- транспорту* : матеріали 77-ї Міжнародної науково-практ. конф. Дніпро, 2017. С.41–43.
67. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю. Перспективы эксплуатации литых колес на железных дорогах Украины. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 77-ї Міжнародної науково-практ. конф. Дніпро, 2017. С. 280–282.
68. Мурадян Л. А. Індивідуальна модель прогнозу показників надійності вантажних вагонів. *Тези доповідей 78-ї Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту»*. Дніпро, 2018. С. 37–38.
69. Мурадян Л. А., Бабаев А. М., Мищенко А. А. Применения профиля ДИИТ-УЗ в модернизированных тележках грузовых вагонов. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 78-ї Міжнародної науково-практ. конф. Дніпро, 2018. С. 39–40.
70. Мурадян Л. А., Подосьонов Д. О. Підвищення міжремонтного ресурсу п'ятникового вузла вантажних. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту* : матеріали 78-ї Міжнародної науково-практ. конф. Дніпро, 2018. С. 40–41.
71. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 58830. Літературний твір наукового характеру «Програма та методика експлуатаційних випробувань вантажних напіввагонів моделі 12-7023 на візках моделі 18-7020» / С. В. Мямлін, Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, А. А. Міщенко. зареєстр. 26.02.2015. 1 с.
72. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 60176. Літературний твір наукового характеру «Программа и методика эксплуатационных испытаний колес грузовых вагонов» / С. В. Мямлін, Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, В. Г. Анофрієв. зареєстр. 17.06.2015. 1 с.
73. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 60178. Літературний твір наукового характеру «Програма та методика дослідження експлуатаційних властивостей боковин візків з використанням пружних елементів, що зменшують не обресорені частини візків вантажних вагонів» / С. В. Мямлін, Л. А. Мурадян, В. Ю. Шапошник, А. А. Міщенко. зареєстр. 17.06.2015. 1 с.

АНОТАЦІЯ

Мурадян Л. А. Розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 «Рухомий склад залізниць та тяга поїздів» (Галузь знань: 27 – Транспорт). – Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2020.

Дисертація присвячена проблемі поліпшення надійності вантажних вагонів та безпеки руху. У рамках досліджень у теоретичному аспекті розроблено наукові основи формування показників надійності вантажних вагонів на етапах життєвого

циклу, що на практиці дозволяє значно зменшити експлуатаційні витрати при можливості подовження терміну експлуатації з урахуванням корегування системи технічного обслуговування та ремонту.

У першому розділі виконано аналіз технічного стану парку вантажних вагонів України та їх відмов, розглянуто методи підвищення надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу.

У другому розділі виконано теоретичні дослідження показників надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу.

У третьому розділі виконано математичне моделювання процесу формування показників надійності вантажних вагонів на етапах життєвого циклу.

У четвертому розділі здійснено формування системи дослідження надійності вантажних вагонів різних конструкцій.

У п'ятому розділі наведено результати теоретичних та експериментальних досліджень показників надійності вантажних вагонів. У результаті техніко-економічного обґрунтування запропонованих технічних та технологічних рішень забезпечення надійності можна досягти зменшення вартості життєвого циклу піввагона на 14,2 тис. грн.

Ключові слова: показники надійності, технічне обслуговування, ремонт, вантажний вагон, життєвий цикл, проєктування, технологія виготовлення, експлуатація

ABSTRACT

Muradian L.A. Development of scientific bases for ensuring the reliability of freight cars in the stages of the life cycle. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Thesis for a Doctor of Technical Sciences degree by specialty 05.22.07 – rolling stock of railways and traction of trains (Branch of knowledge 27 – Transport). – Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan, Dnipro, 2020.

The dissertation is devoted to the problem of ensuring the reliability of freight cars in order to increase the lifespan of the life cycle and improve the state of safety of the movement. In the theoretical aspect, the scientific basis for the formation of freight cars reliability indicators has been developed at the stages of the life cycle, which in practical terms can significantly reduce operating costs with the possibility of lengthening the useful life, taking into account the correction of the maintenance and repair system.

In the first section, the analysis of the technical condition of the park and the failures of freight cars of Ukraine was carried out, the methods of increasing the reliability of carriages of cars at the stages of the life cycle were considered, the calculations concerning the theoretical positions of the study of reliability indicators of freight cars were made. At the same time, the analysis of the traffic safety situation in the railway carriage of railways of Ukraine and the failures of freight cars showed that as a result of detachment of cars in the current repair due to malfunction of the units, the wagon economy suffered losses at the level of 4,503 UAH / tone-km, falling on one car. Therefore, for new freight cars that are only being manufactured, it is necessary to develop measures to ensure reliability at all stages of their life cycle.

In the second section theoretical studies of reliability of freight cars at the stages of the life cycle have been conducted. In this case, improvement of the algorithm for the study of the reliability of freight cars at the stages of the life cycle, an estimation of the indicators of wear of the elements of the carriage of cars with the use of the classical probability theory was carried out, the pro-harrowing of reliability indicators of freight cars, taking into account the term of their operation. On the basis of the existing reliability theory, a methodology for determining the reliability of freight cars, which includes methods for determining indicators at all stages of the car life cycle, is based on the analysis and synthesis of theoretical and experimental data on the technical condition and basic parameters of the reliability of the car as a mechanical multi-element system.

In the third section, mathematical modeling of the process of formation of reliability indicators of freight cars at the stages of the life cycle of design was performed. In this case, the formation of reliability indicators of cars at the design stage was completed, reliability indicators of wagons were determined at the manufacturing stage and an assessment of reliability indicators of freight cars at the stage of operation was carried out. To determine the period of safe operation of wagons and forecasting of relevant economic indicators that characterize maintenance and repair costs, the concept is formulated and an expression for the complex index of operational reliability of van-cars at the appropriate stage of the life cycle is obtained. To determine the suitability of freight cars at the stage of the life cycle - the technological process of manufacturing components and components, the method of determining the off-languages and assessing the reliability of the car, which envisages the possibility of forecasting the DM in operation, taking into account the peculiarities of the technological process of preparing the components of the car, is improved with the prevention of defects. As a result of studies on the reliability of freight cars in the life cycle - operation, it is proposed to determine the timing of regulatory maintenance, current, depot and capital repairs of freight cars, with the definition of parameters of operational reliability of freight cars: readiness coefficient, probability of failure-free operation and performance tasks.

In the fourth section, the formation of a system for investigating the reliability of freight cars of various structures has been completed. In the first subdivision, individual models of forecasting the reliability of freight wagons during the life cycle are developed, taking into account the probabilistic nature of the off-languages. In the second subdivision the system of research of indicators of reliability of freight cars with the account of the current technical condition at all stages of a life cycle is developed.

The fifth section presents the results of theoretical and experimental studies of freight cars reliability indices. As a result of the feasibility study of the proposed technical and technological solutions for ensuring reliability, a reduction in the cost of the lifecycle of a gondola can be achieved by 14.2 thousand UAH. Since the work park of gondola cars on the Ukrainian railways is 83 302 units, the overall economic effect of the proposed solutions is UAH 1,183 million.

Key words: reliability indicators, maintenance, repair, freight car, life cycle, design, production technology, operation.

АННОТАЦИЯ

Мурадян Л. А. Развитие научных основ обеспечения надежности грузовых вагонов на этапах жизненного цикла. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог и тяга поездов» (Отрасль знаний: 27 – Транспорт). – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепро, 2020.

Диссертация посвящена проблеме улучшения надежности грузовых вагонов и безопасности движения.

В первой главе выполнен анализ технического состояния парка грузовых вагонов Украины и их отказов, рассмотрены методы повышения надежности грузовых вагонов на этапах жизненного цикла.

Во втором разделе осуществлены теоретические исследования показателей надежности грузовых вагонов на этапах жизненного цикла.

В третьем разделе выполнено математическое моделирование процесса формирования показателей надежности грузовых вагонов на этапах жизненного цикла.

В четвертом разделе выполнено формирование системы исследования надежности грузовых вагонов различных конструкций.

В пятом разделе приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований показателей надежности грузовых вагонов. В результате технико-экономического обоснования предлагаемых технических и технологических решений обеспечения надежности можно достичь уменьшения стоимости жизненного цикла полувагона на 14,2 тыс. грн.

Ключевые слова: показатели надежности, техническое обслуживание, ремонт, грузовой вагон, жизненный цикл, проектирование, технология изготовления, эксплуатация

Мурадян Леонтій Абрамович

РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ
ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ НА ЕТАПАХ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Підписано до друку __.__.2020

Формат 60x84 1 /16.

Ум. друк. арк. 1,90. Обл.-вид. арк. 1,9.

Зам. №____ Тираж 100 пр.

Дніпровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1315 від 31.03.2003

Адреса університету і ділянки оперативної поліграфії:
49010, Дніпро, вул. Лазаряна, 2.