

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 2019

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,
Мямлін Сергій Віталійович,
Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту АТ «Укрзалізниця», перший заступник директора

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Кельріх Мусій Борисович, професор кафедри
«Вагони та вагонне господарство» Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ.

доктор технічних наук, професор,
Мартинів Ігор Ернстович, завідувач кафедри
«Вагони» Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків
доктор технічних наук, професор,

Маслієв В'ячеслав Георгійович, професор кафедри
«Електричний транспорт та тепловозобудування»
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків

Захист відбудеться "17" 10 .2019 р. об 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д08.820.02 при 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 " ____ " 09 2019 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, що пов'язані з організацією та забезпеченням перевізного процесу вантажів. Одним з головних завдань залізничного транспорту є забезпечення високого рівня безпеки руху поїздів, на яку безпосередньо впливає надійність елементів рухомого складу та інфраструктури. Підвищення безпеки руху поїздів є також важливою складовою ефективної роботи і розвитку залізничного транспорту. Проблема забезпечення необхідного рівня безпеки руху поїздів, багато в чому, визначається технічним станом вагонного парку і рівнем його технічного обслуговування та ремонту.

Вантажні перевезення є основною дохідною діяльністю вітчизняних залізниць, при цьому кількість відмов вантажних вагонів є значною у всій структурі відмов за статистичними даними на залізничному транспорті. Як відомо, на надійність вагонів впливає багато факторів, серед яких: особливості конструкції і технології виготовлення всіх складових, умови експлуатації і система технічного обслуговування та ремонту.

Надійність вантажних вагонів в експлуатації забезпечується за рахунок науково-обґрунтованої і економічно доцільної системи їх технічного обслуговування та ремонту, важливим фактором яких є обсяг фінансових витрат, що припадає на весь термін служби (LCC): інвестиційна складова на придбання нового рухомого складу, витрати на експлуатацію, технічне обслуговування, ремонт та подальшу утилізацію. Найбільша стаття витрат припадає на експлуатацію, ремонт та технічне обслуговування вантажних вагонів.

На етапі життєвого циклу, в процесі розробки та проектування вагонів необхідно закласти достатні показники за міцністю конструкції для певної технології виготовлення, а також врахувати експлуатаційні фактори і досвід ведення вагонного господарства. Враховуючи специфіку роботи залізничного транспорту, вантажні вагони в умовах експлуатації повинні знаходитись у постійній готовності. Відповідно таку готовність забезпечує існуюча система технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів, якій притаманний такий показник, як ймовірність виконання задачі. Тобто наскільки якісно і повно виконане завдання з технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів, настільки можна говорити і про готовність рухомого складу до виконання завдань з відповідним рівнем безвідмовності.

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

Однією з проблем існуючих методів визначення технічного стану, заснованих на класичних ймовірнісних підходах, є складність адекватного прогнозу моменту виникнення відмови. Оскільки моменту відмови технічного об'єкта (особливо тривалого використання) зазвичай передують складні внутрішні зміни. Ці зміни у вантажних вагонах можуть по-різному проявлятися в залежності від місця та

характеру самої відмови, а кожен варіант технічного стану вантажного вагона повинен характеризуватись 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 та створити раціональну систему технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів з урахуванням їх технічного стану із забезпеченням високого рівня безпеки руху та зменшення експлуатаційних витрат.

Вагомий внесок у вирішення проблеми підвищення надійності рухомого складу внесли відомі вчені: Абашкін В.В., Андрієвський В.Г., Анісімов П.С., Боднар Б.Є., Борзилов І.Д., Босов А.А., Бороненко Ю.П., Горбенко А.П., Горобець В. Л., Девятков В.Ф., Донченко А.В., Гайдамака А.В., Іванов С.Г., Капіца М.І., Лосєв А.В., Мартинов І.Е., Маслієв В.Г., Мямлін С.В. Перов С.В., Трет'яков О.В., Устич 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., Лінгайтис Л.П., Мартинов І.Е., Мямлін В.В., Путятю А.В., Савчук О.М., Сенько В.І., Солонько В.Г., Тартаковський Е.Д. та інші.

Значний внесок у теорію і практику розробки питань міцності і безвідмовності конструкцій зробили вітчизняні і зарубіжні вчені: Ржаніцін 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 же питань, тільки в галузі залізничного транспорту присвячені роботи авторів, таких як: Бурчак Г.П., 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., Устич П.А., Хусідов В.Д., Шадур Л.А. та інші видатні вчені.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана у відповідності з пріоритетними напрямками розвитку залізничної галузі, що визначені у Транспортній стратегії України до 2020 року (Розпорядження Кабінету Міністрів України від 20.10.2010 №2174-р), а також пов'язана з науково-дослідними роботами, що виконувалися у Дніпровському національному університеті залізничного транспорту імені 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 застосування сучасних технологій зварювання» (ДР № 0116U003751), у яких автор брав участь у якості виконавця та співавтора звітів, та «Визначення сили натиснення на гальмівні колодки пасажирських вагонів з урахуванням навантаження на колесо. Експлуатаційні випробування колодок гальмівних залізничного транспорту»

(№ ДР 0116U006842) та «Експлуатаційні випробування втулок з композиційних матеріалів та виробів поліуретанових для вантажних вагонів» (ДР № 0116U003752), за якими автор є керівником та автором звітів.

Мета та задачі дослідження. Метою роботи є розвиток наукових основ забезпечення надійності вантажних вагонів 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 упродовж 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 впродовж життєвого циклу;
- виконати теоретичні дослідження взаємного впливу окремих елементів вагона на їх показники надійності;
- розробити математичну модель 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 упродовж життєвого циклу з урахуванням особливостей технології їх виготовлення;
- виконати теоретичні дослідження показників надійності вантажних вагонів при різних системах технічного обслуговування та ремонту впродовж відповідного етапу життєвого циклу;
- розробити модель прогнозу відмов вантажних вагонів для формування системи забезпечення їх надійності упродовж 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 впродовж життєвого циклу.

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

Методи дослідження. Математичні моделі, що описують експлуатаційні характеристики досліджуваних деталей, склалися на базі теорії ймовірностей та математичної статистики. Для розрахунку показників надійності елементів, вузлів та вагона в цілому застосовувалася теорія надійності технічних систем. За допомогою методів математичного моделювання та фізики твердого тіла формувалася

математична модель впливу фізико-механічних та фізико-хімічних властивостей на надійність виробів. Для моделювання величини температури в зоні контакту «колесо – гальмівна колодка» використовувалися чисельні методи розв'язання інтегральних та диференціальних рівнянь. Експериментальні та аналітичні дослідження виконувалися методом безпосередніх вимірів на дослідних вагонах та за допомогою статистичних методів. Для формування програми випробувань застосовувалися методи планування експерименту.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, а також запропонована методологія, 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 всіх етапах життєвого циклу – від етапу 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 старих вагонів у процесі проектування та виготовлення (акт впровадження від 25.10.2016);

- у ПАТ «Українські залізниці» у вигляді окремих звітів з експлуатаційних досліджень для прийняття подальших рішень щодо застосування окремих елементів, деталей та вузлів вантажних вагонів (акт впровадження від 24.10.2016);

- у ВАТ «Трибо» (Україна), якому надані рекомендації щодо виготовлення нових композиційних гальмівних колодок, а також результати експериментальних досліджень (акт впровадження від 17.09.2018);

- у ВАТ «Інтерпайп НТЗ» (Україна), яке прийняло до впровадження в практику використання результатів експериментальних досліджень (акт впровадження від 15.12.2016);

- у ремонтних вагонних депо «Батуринська», «Нижньодніпровськ-Вузол» для яких надані рекомендації щодо стратегії виконання технічного обслуговування та ремонту вагонів (акти впровадження відповідно від 12.01.2017 та 23.01.2017);

- у навчальному процесі під час підготовки спеціалістів та магістрів за спеціальністю 7(8).07010502 «Вагони та вагонне господарство» та під час дипломного проектування (акт впровадження від 05.04.2016).

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 роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок автора полягає у наступному. В роботах [34, 35, 38, 61] запропоновані методологічні аспекти до побудови системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів. У роботах: [3, 10, 12, 27, 28, 44, 50, 59] – отримано результати випробувань гальмівних колодок вагонів; [1, 43, 52, 69] – проведено аналіз можливих причин скорочення ресурсу роботи залізничних коліс; [30] – теоретично обґрунтовані плани досліджень надійності механічних систем; [34] – викладено наукове обґрунтування зниження ресурсу вантажних вагонів на дослідних маршрутах; [15] – розроблено методологію з визначення технічного стану вагонів при 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] – проведені експлуатаційні дослідження литих залізничних коліс; [11, 48] – запропоновано варіанти удосконалення конструкції гальмівної колодки; [54, 57, 65] – проведено 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] – проведено аналіз несправностей гальмівної системи вантажних вагонів; [8, 4, 5, 49, 55, 56] – отримані результати утворення дефектів на поверхні кочення суцільнокатаних коліс при експлуатації; [7, 60] – запропоновано структурну схему для визначення оптимального складу високоміцних залізничних коліс; [24, 25, 26, 43, 46, 47, 53, 58, 62, 64, 66] – обробка статистичних даних щодо зносу основних елементів піввагонів при експлуатаційних випробовуваннях; [42] – запропоновано схему технічного рішення для корисної моделі при здійсненні вимірів 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, Південна Африканська республіка, 2010 р.); II Міжнародній науково-практичній конференції «Розвиток сучасних технологій виробництва вітчизняних підприємств – основа для зниження зносу пари «рейка-колесо» (Дніпропетровськ, ІНТЕРПАЙП НТЗ, 2012 р.).

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

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

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи складає 375 сторінок, з яких основного тексту – 319 сторінок, які містять 84 рисунка та 17 таблиць. Розташовані на окремих сторінках рисунки та таблиці займають 10 сторінок. Список використаних джерел із 267 найменувань на 25 сторінках; 3 додатка викладено на 31 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

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

У першому розділі проведено аналіз технічного стану парку та відмов вантажних вагонів України, розглянуті шляхи підвищення надійності вагонів, а

також проаналізовані основні засади дослідження надійності вагонів на різних етапах життєвого циклу.

Проведений аналіз досліджень в теорії надійності показав значні розбіжності у визначенні терміну «надійність». В даний час, 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 і не використовує у своїх розрахунках (теорії) багатий експериментальний матеріал і результати практичного досвіду. В основу цієї методології покладені математичні методи дослідження, що базуються на результатах відмов техніки без урахування причин, що їх викликають. Тільки комплекс досліджуваних і тісно пов'язаних між собою питань у вивченні надійності може дати повну і достовірну картину досліджуваного явища при відповідній відмові. Цей комплекс повинен включати в себе методологію та відповідну термінологію, що буде відповідати дійсності.

У відповідності до проведеного аналізу стану безпеки руху в структурі Акціонерне товариство «Українська залізниця» впродовж 2013-2015 рр. показано, що основною і головною причиною настання транспортних подій є несвоєчасне вилучення із експлуатації рухомого складу, технічний стан якого не відповідає вимогам ПТЕ. Тобто залишаються ймовірні великі ризики виникнення порушень безпеки руху. У вагонах усіх типів, під час транспортних подій зафіксовані наступні 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 вагоноремонтними заводами та виготовлення більш сучасних вагонів усіх типів для підвищення рівня безпеки руху поїздів. Тобто існує потреба в конструкторських розробках сучасного рухомого складу, які дозволять, в першу чергу, забезпечити високий рівень надійності і, тим самим, гарантувати підвищення рівня безпеки руху. Успішне вирішення зазначених завдань лежить, по-перше, в розробці нових технологій підвищення надійності, довговічності і зносостійкості. По-друге, в узагальненні розрізних 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 проведення аналізу технологічних методів підвищення зносостійкості елементів та деталей вантажних вагонів показано, що для підвищення їх ресурсу може бути застосоване одночасно кілька різних методів зміцнення, оскільки використання декількох технологічних методів в комплексі з конструкторськими рішеннями, правильним підходом до процесу експлуатації вантажних вагонів дасть найбільший ефект. Використання відомих технологічних методів разом з конструкторськими та експлуатаційними, дозволяють підвищити їх довговічність в 1,2 ... 10,0 разів, що в нинішніх 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 втомлювану міцність, а також на визначенні необхідних властивостей деталей в кожній точці робочої поверхні і параметрів технологічного процесу.

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

У другому розділі проведено огляд основних положень дослідження та забезпечення надійності вантажних вагонів на різних етапах життєвого циклу та проведено удосконалення алгоритму, розглянуті та застосовані основні закони розподілу випадкових величин та ймовірнісно-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 і забезпечення надійності вантажного вагону на всіх етапах життєвого циклу (рис. 1).

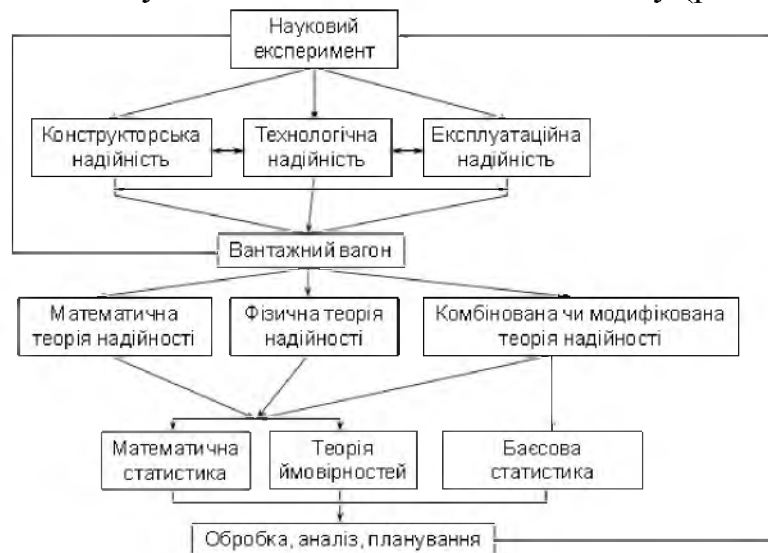


Рис. 1. Структурна схема дослідження і забезпечення надійності вантажного вагону на всіх етапах життєвого циклу

Запропонований алгоритм дослідження і забезпечення надійності вантажного вагону (рис. 1) відрізняється з існуючим тим, що:

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

- науковий експеримент включає моделювання роботи вантажного вагону в різних умовах та експлуатаційних режимах. На стадії експерименту в оцінку надійності вантажного вагону закладаються параметри, що отримані в результаті моделювання для конкретних умов експлуатації;

- теорія надійності охоплює математичні і фізичні основи, тобто є комбінованою, а застосування Баєсової статистики надає можливість описати різні

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

З позицій класичної теорії ймовірності для описання 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:

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

Для випадку, коли параметр F у виразах (1)-(3) являє собою пробіг вагона на рис. 2 приведено розподілення величин зносу гребенів суцільнокатаних коліс зі сталі марки 2 (а) та зі сталі підвищеної твердості марки Т (б).

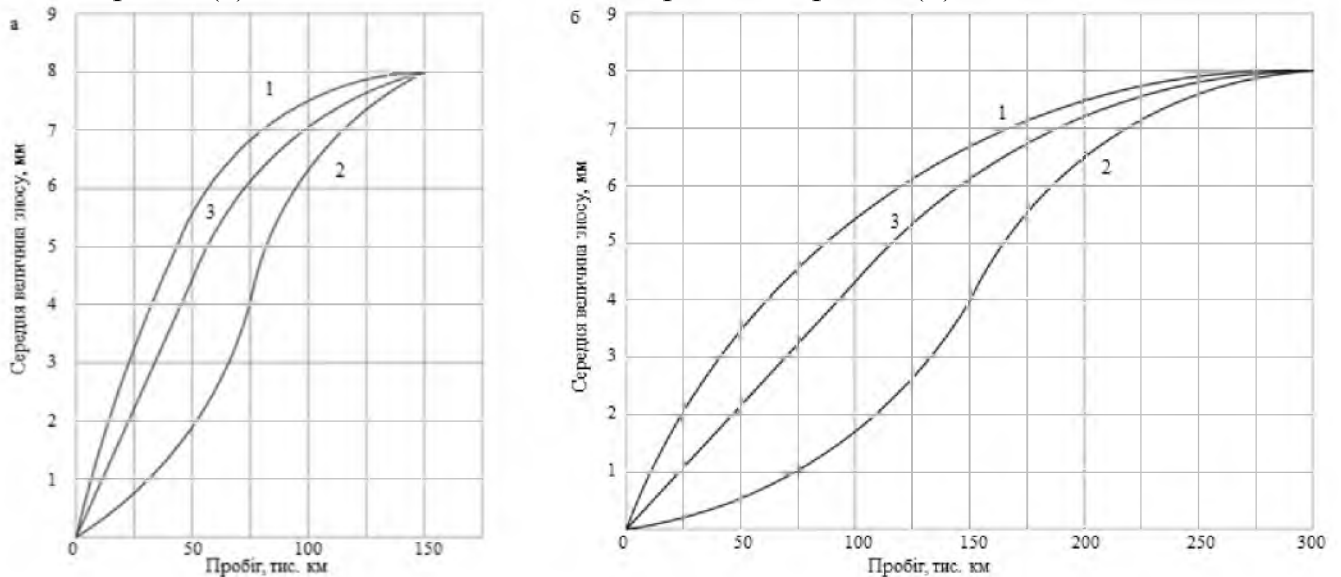


Рис. 2. Залежність середньої величини зносу гребенів суцільнокатаних коліс зі сталі марки 2 (а) та зі сталі підвищеної твердості марки Т (б) від пробігу для законів розподілу: 1 – експоненціального; 2 – нормального; 3 – Вейбулла-Гнеденка

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

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

а напрацювання (пробіг) вагона до відмови T_o :

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

де μ – масштабний параметр розподілу; V_t – коефіцієнт варіації напрацювання (пробігу) до відмови – параметр форми розподілу;

При існуванні чи можливості знаходження 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 приведено щільності розподілу відмов вантажних вагонів для відповідних статистичних даних (рис. 3).

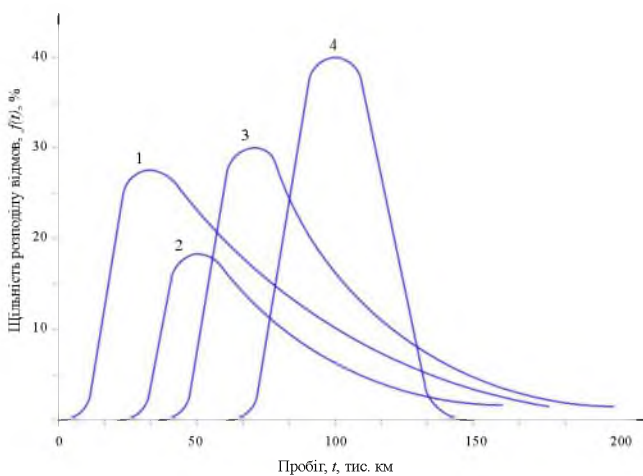


Рис. 3. Розподіл відмов гальмівного обладнання вантажних вагонів при $\mu=const$ і $\mu=100$ тис. км для параметра форми: 1 – $V_t=1,0$; 2 – $V_t=0,75$; 3 – $V_t=0,5$; 4 – $V_t=0,25$

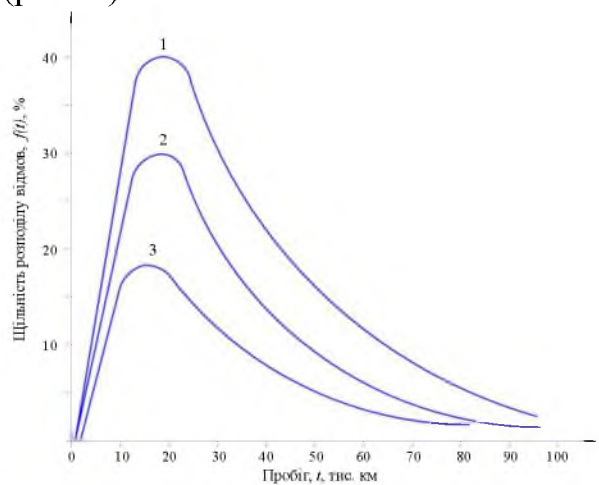


Рис. 4. Розподіл відмов гальмівного обладнання вантажних вагонів при $V_t=const$ і $V_t=1$ для масштабно параметру розподілу: 1 – $\mu=40$ тис. км; 2 – $\mu=50$ тис. км; 3 – $\mu=60$ тис. км

У третьому розділі досліджені показники надійності вантажних вагонів. Показано, що конструкторська надійність вагонів закладається на етапі проектування та реалізується у процесі виготовлення. Від конструкторської надійності буде залежати якісне функціонування вагонів в тих чи інших умовах експлуатації. На етапі проектування використовують довідникову інформацію про режими роботи вагонів і навантаження, які будуть нести елементи, деталі та вузли або вагон в цілому. При розрахунках конструктивних елементів вагону задаються довірчими інтервалами, що приведені в нормативно-довідниковій літературі і в результаті отримують необхідну ймовірність безвідмовної роботи. Вибір статистичних запасів міцності різних конструкцій заснований на використанні параметричної моделі «міцність – навантаження».

Також виконане математичне моделювання взаємодії елементів вантажного вагона, оскільки воно являє собою один з найбільш ефективних інструментів аналізу їх теплового і напружено-деформованого станів під час їх розробки і випробувань. Найбільша складність при побудові розрахункових схем взаємодіючих елементів

полягає в моделюванні процесів теплообміну в зонах фрикційних контактів (наприклад, гальмівні колодки – колісна пара). Моделювання взаємодії гальмівної колодки і колеса, як механічної системи, відбувається за допомогою системи тіл, які описуються геометрично, з наділенням фізичними властивостями кожного і в подальшому моделюються на основі протікання процесів, а також їх умов взаємодії. Моделювання теплового процесу, що враховує обертання колеса, за умови знаходження його частини поверхні то в контакті з колодкою, то наступний теплообмін з навколишнім середовищем, призведе до значного збільшення кількості обчислень, як при використанні метода кінцевих елементів так і метода кінцевих різниць. При цьому сам вплив отриманих стрибків температури на процеси при гальмуванні буде носити локальний характер. Сам процес зносу при взаємодії елементів колодкового гальма викликатиме значне температурне розширення самих колодок, а також призведе до перерозподілу контактних тисків між взаємодіючими елементами.

На основі диференціального рівняння теплопровідності, що отримане з першого закону термодинаміки, з урахуванням основного Закону теплопровідності Фур'є та завданням 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 із знаходження функції, яка буде задовольняти граничним умовам і, яка забезпечує екстремум певного функціоналу. У результаті було отримано наступний вираз:

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

Для задоволення наведеного функціоналу рівняння (7) необхідно виконання умови мінімуму: $\frac{\delta J(T)}{\delta T} = 0$. Остаточне рівняння теплопровідності для кінцевого елемента колодкового гальма з граничними умовами отримано в 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 визначаються вихідні безперервні величини в межах кожного кінцевого елемента через значення величин у вузлових точках, крім того, за допомогою системи еквівалентних вузлових сил задається значення досліджуваних величин. Тобто отримані залежності для колодкового гальма вагона дозволять на етапі проектування визначити температурне поле на основі МКЕ, що буде реалізовуватись в процесі експлуатації. Для взаємодіючих елементів «гальмівна колодка – колесо» приведено результати моделювання (рис. 5, 6).

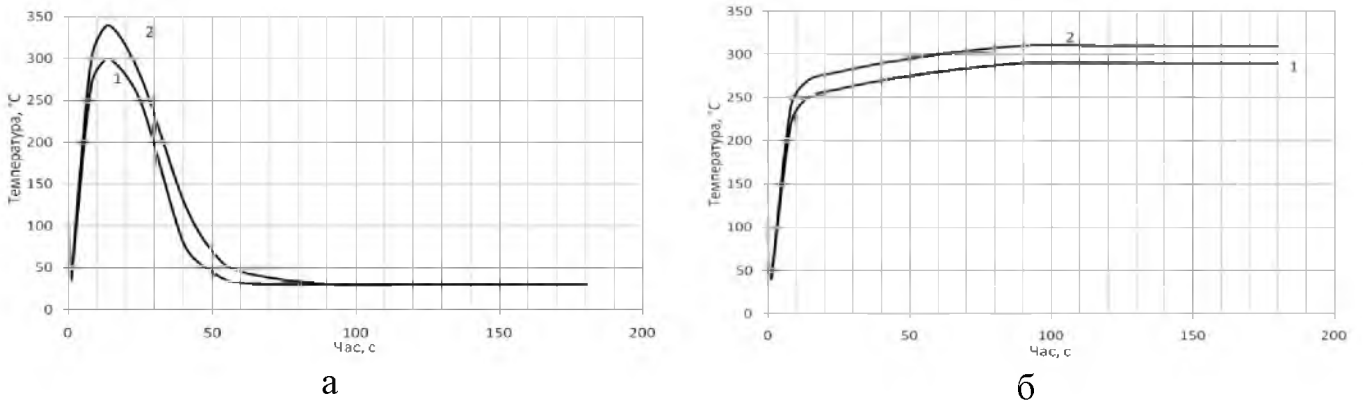


Рис. 5. Залежності температури колеса при екстремому гальмуванні до повної зупинки (а) та для режиму тривалого гальмування на зтяжному спуску (б) від часу при взаємодії з колодками: 1 – чавунними; 2 – композиційними (2ТР-37-01)

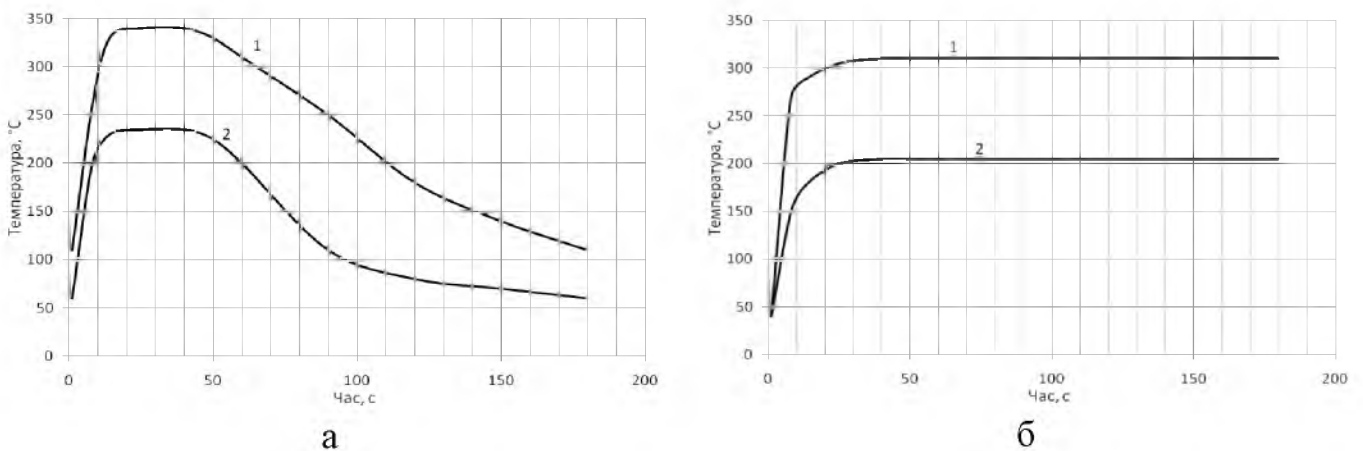


Рис. 6. Залежності температури гальмівних колодок при екстремому гальмуванні до повної зупинки (а) та для режиму тривалого гальмування на зтяжному спуску(б): 1 – чавунні; 2 – композиційні (2ТР-37-01)

Крім того, в роботі розглянуто граничний ресурс вагона в процесі експлуатації та при застосуванні інноваційних конструктивних та технологічних рішень і запропоновано вираз для його описання з урахуванням проведення технічного обслуговування і ремонту (поточного, деповського, капітального) у наступному вигляді:

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

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; σ_{pp} – середнє квадратичне відхилення напрацювання між роботами технічного обслуговування та ремонту вагона; $R_n(z)$ – ймовірність

виконання задачі 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, і, відповідно, мають прямий вплив на ресурс. Цей коефіцієнт можна розрахувати за наступною формулою:

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

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

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

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

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

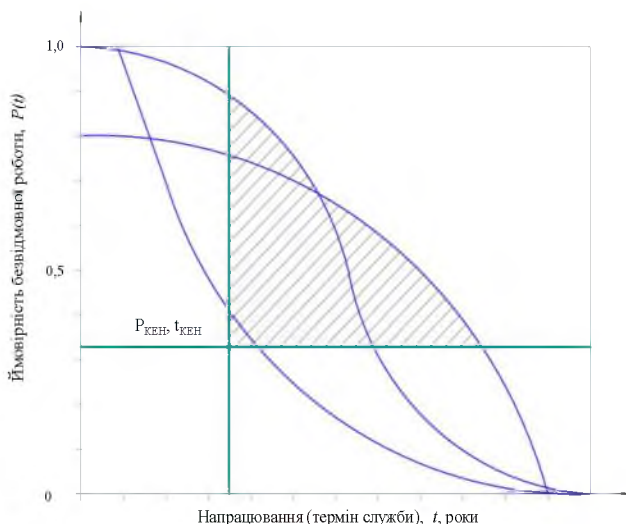


Рис. 7. Коефіцієнт функціональної надійності вагонів на плані розподілу ймовірності їх безвідмовної роботи

Заштрихована площа на рис. 7, вказує початок того моменту, коли буде існувати висока ймовірність настання критичної відмови (у процесі експлуатації необхідно починати планувати заходи щодо підвищення надійності вагонів за допомогою ремонтно-відновлювальних робіт). Це є особливою зоною з можливих станів життєвого циклу існування вагонів, в якій їх надійність в експлуатації повинна знаходитись на ретельній увазі власників та робітників залізниці, особливо, вагонного господарства. Перетин горизонтальної лінії з ординатою $P_{КЕН}$ 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 зазначити, що приведена методика визначення коефіцієнта функціональної надійності вагонів дозволяє врахувати застосування нових конструкцій та матеріалів (наприклад, колісних пар чи кузову). Тобто знаючи у скільки разів, наприклад, інтенсивність зносу гребенів колісних пар менше за існуючі аналоги, можна побудувати такий розподіл, але вже з урахуванням зниження ймовірності відмов вагонів. Далі, використовуючи вирази (11), необхідно визначити значення нового коефіцієнта функціональної надійності, який прийме більші значення, як за ординатою, так і за абсцисою в порівнянні за попередні. Це і буде основою на етапі проектування нових конструкцій вагонів для попередження та недопущення критичних відмов. Тим самим, буде забезпечено унеможливлення критичних екологічних наслідків, загроз людському життю, а також економічних збитків.

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

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

де N – кількість структурних елементів у відповідній системі вагона.

Для визначення, при яких значеннях параметра досягаються максимальні ймовірності відмов структурних елементів вагона m , було знайдено екстремуми функцій. В результаті перетворень, отримано:

$$N\lambda t = m. \quad (13)$$

Таким чином, виявлена проста закономірність відмов структурних елементів вагона при технологічному процесі виготовлення. Модою (найбільш ймовірним значенням) кількості відмов m для

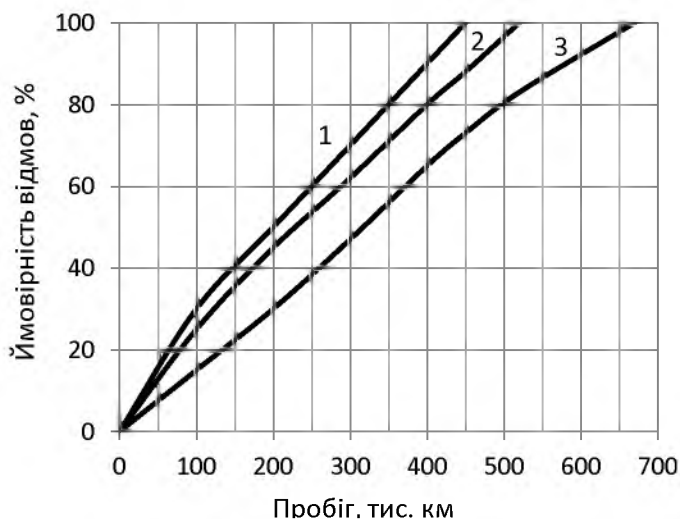


Рис. 8. Залежність відмов кузовів універсальних піввагонів від технологічних дефектів: 1 – товщина металу не відповідає вимогам; 2 – дефекти зварювання; 3 – корозія через недостатньо оброблений та пофарбований кузов

загальненого параметра $N\lambda t$ є саме значення цього параметра. Для універсальних піввагонів проведені дослідження впливу технологічних дефектів, що закладені при виготовленні їх кузовів (рис. 8). На останньому етапі досліджень, була розглянута експлуатаційна надійність вагонів, для якої проведено визначення параметрів експлуатаційної надійності вантажних вагонів у системі технічного обслуговування та ремонту. В мережі Укрзалізниці діє планово-попереджувальна система ремонту вантажних вагонів, яка направлена на забезпечення стабільної їх роботи при найменших витратах. Цією системою,

передбачається комплекс робіт призначених для забезпечення стійкої роботи вагонного парку, підтримки його технічного стану, підвищення експлуатаційної надійності. До цих робіт відносяться:

- ТО – технічне обслуговування вантажних вагонів;
- ТОВ-1 – технічне обслуговування при підготовці вантажних вагонів до перевезень з відчепленням від состава;
- ТОВ-2 – технічне обслуговування вантажних вагонів з відчепленням від поїзда або состава;
- ДР – деповський ремонт;
- КР – капітальний ремонт;
- КРП (ДРП) – капітальний (деповський) ремонт вагонів з продовженням терміну їх експлуатації.

Існуюча планово-попереджувальна стратегія проведення технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів повинна володіти оптимальними показниками, що характеризують якість їх функціонування і експлуатації у цілому та 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 знаходження періоду проведення поточних, деповських та капітальних ремонтів з параметрами експлуатаційної надійності:

- ймовірністю виконання задачі:

$$R_{\tau}(z) = (\tau - \int_0^{\tau} \int_0^x F(x-y) d\Phi(y) dx + (M\gamma_3 - M\gamma_2)) \int_0^{\tau} F(\tau-x) d\Phi(x) + M\gamma_1 + (M\gamma_2 - M\gamma_1) F(\tau)^{-1} \int_0^{\tau} \bar{F}(x+z) dx; \quad (14)$$

- коефіцієнтом готовності:

$$K(\tau) = R_{\tau}(0); \quad (15)$$

- ймовірністю безвідмовної роботи:

$$P(\tau) = \frac{\int_0^{\tau} F(x) dx - \int_0^{\tau} \int_0^x F(x-y) d\Phi(y) dx}{\int_0^{\tau} \bar{F}(x) dx} + \frac{(M\gamma_3 + M\gamma_2) \int_0^{\tau} F(\tau-x) d\Phi(x) + M\gamma_1 + (M\gamma_2 - M\gamma_1) F(\tau)}{\int_0^{\tau} \bar{F}(x) dx}. \quad (16)$$

Для окремих випадків індикації відмов структурних елементів вантажних вагонів на рис. 9 наведено залежності коефіцієнта готовності вантажних вагонів від ймовірності виконання завдань при поточних та деповських ремонтах.

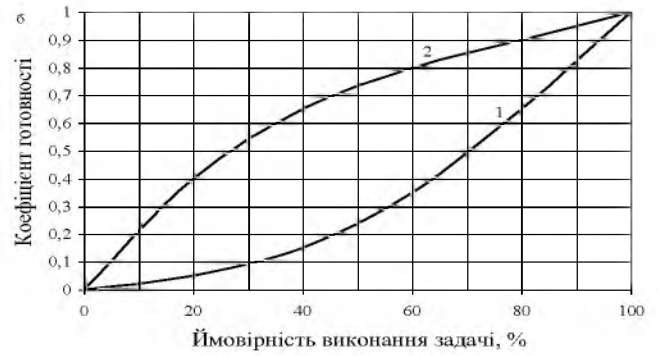
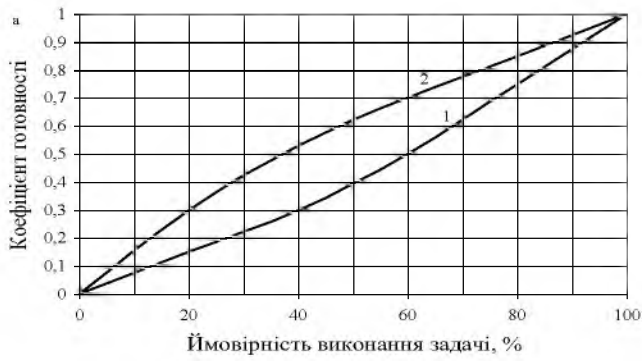


Рис. 9. Залежність коефіцієнта готовності вантажних вагонів від ймовірності виконання завдання при поточному (а) та деповському (б) ремонтах у випадку: 1 – миттєвої індикації відмов; 2 – відсутності самостійного прояву відмов

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:

$$\max_{0 \leq \tau \leq \infty} \frac{\tau}{\tau + T_{\text{ш}} + \sum_{i=1}^N t_i H_i^{(o)}(\tau)}. \quad (17)$$

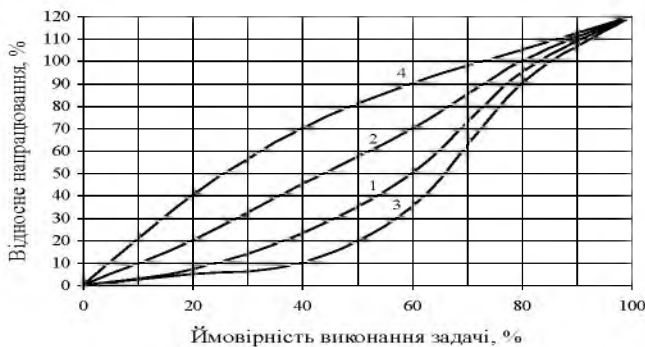


Рис. 10. Залежність відносного напрацювання (пробігу) вантажних вагонів від ймовірності виконання завдань при проведенні технічного обслуговування (1, 2) та капітального ремонту (3, 4) у випадку: 1, 3 – відсутності самостійного прояву відмов; 2, 4 – миттєвої індикації відмов



Рис. 11. Відносне подовження напрацювання (пробігу) вантажних вагонів при забезпеченні відповідного рівня їх ймовірності безвідмовної роботи під час експлуатації у випадку: 1 – миттєвої індикації відмов; 2 – відсутності самостійного прояву відмов

Точки екстремумів визначають оптимальні значення напрацювання (пробігу) вантажних вагонів, досягнувши які необхідно проводити (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) приведено на рис. 10, а на рис. 11 показано теоретичну зміну їх відносного напрацювання (пробігу).

Для групи дослідних зразків вантажних вагонів на маршруті Кривий Ріг-Ужгород-Кошице від першого деповського ремонту на рис. 12 показано, яку структуру буде мати система технічного обслуговування та ремонту з урахуванням ймовірнісного методу.

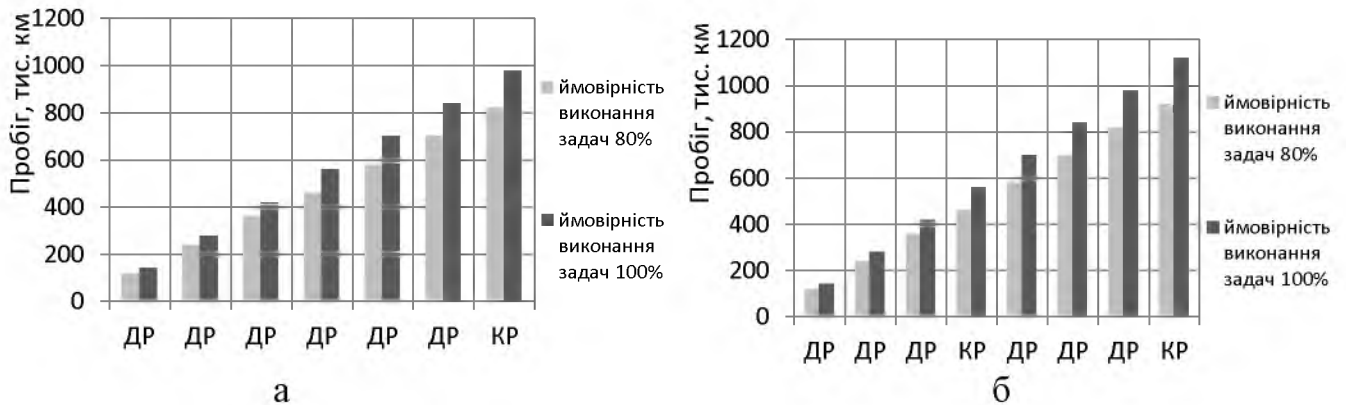


Рис. 12. Структура ремонту універсальних піввагонів на маршруті Кривий Ріг-Ужгород-Кошице від першого деповського ремонту: а – без урахування технічного стану кузовів; б – з урахуванням технічного стану кузовів

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

У четвертому розділі побудовано систему дослідження надійності вантажних вагонів. При цьому приведено алгоритм для побудови моделей відмов вантажних вагонів і зроблено поєднання двох моделей (за відмовами і за зміною фізико-механічних характеристик). Апостеріорна (результуюча) ймовірність визначається за заданою апіорною (вихідною) ймовірністю відмови:

$$P(A_j) = \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{a_{j-1}}^{a_j} \exp\left(-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}\right) dt, \quad (18)$$

де a і σ^2 – математичне очікування і 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 $A_j = (a_{j-1} + a_j)/2$.

У якості функції правдоподібності для вантажних вагонів було застосовано розподіл Вейбулла-Гнеденка, який з урахуванням дискретизації має вигляд:

$$P(B|A_j) = \exp(-\lambda A_j^d), \quad (19)$$

де λ – параметр закону розподілу Вейбулла-Гнеденка; d – загальна кількість додаткових даних, що отримані за визначений проміжок пробігу (напрацювання).

Далі, проводиться уточнення значення напрацювання (пробігу) вантажного вагона до відмови на основі виразу:

$$\hat{T} = \sum_{j=1}^N A_j P(A_j|B). \quad (20)$$

Зміна напрацювання (пробігу) вантажного вагона до відмови для п'ятникового вузла піввагона після КР приведена на рис. 13.

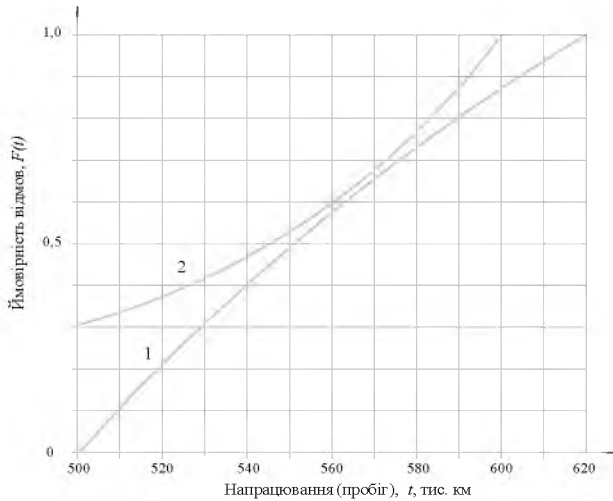


Рис. 13. Залежності ймовірності відмови п'ятникового вузла піввагона після КР від пробігу: 1 – при звичайній оцінці (відновлення ресурсу); 2 – при використанні виразу (20)

З рис. 13 (крива 2) спостерігається підвищене значення ймовірності відмов п'ятникового вузла після КР, і при напрацюванні в 600 тис. км це значення стає критичним, про що 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 втомлюваний знос і зміни, що відбулись до КР піввагона. На відміну від цього, вираз (20) 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. 14), яка дозволяє встановити вплив конструктивних особливостей на надійність вагона.



Рис. 14. Структурна схема піввагона моделі 12-7023

Кожен вузол піввагона має свою структуру. Візок моделі 18-7023 – 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 – система, що яка складається зі змішано з'єднаних елементів, тобто паралельно і послідовно з'єднані елементи. Відповідно вагон має вірогідність безвідмовної роботи, на яку впливає вірогідність безвідмовної роботи кожного елемента.

Як приклад на рис. 15 зображено розроблену структурну схему візка 18-100.

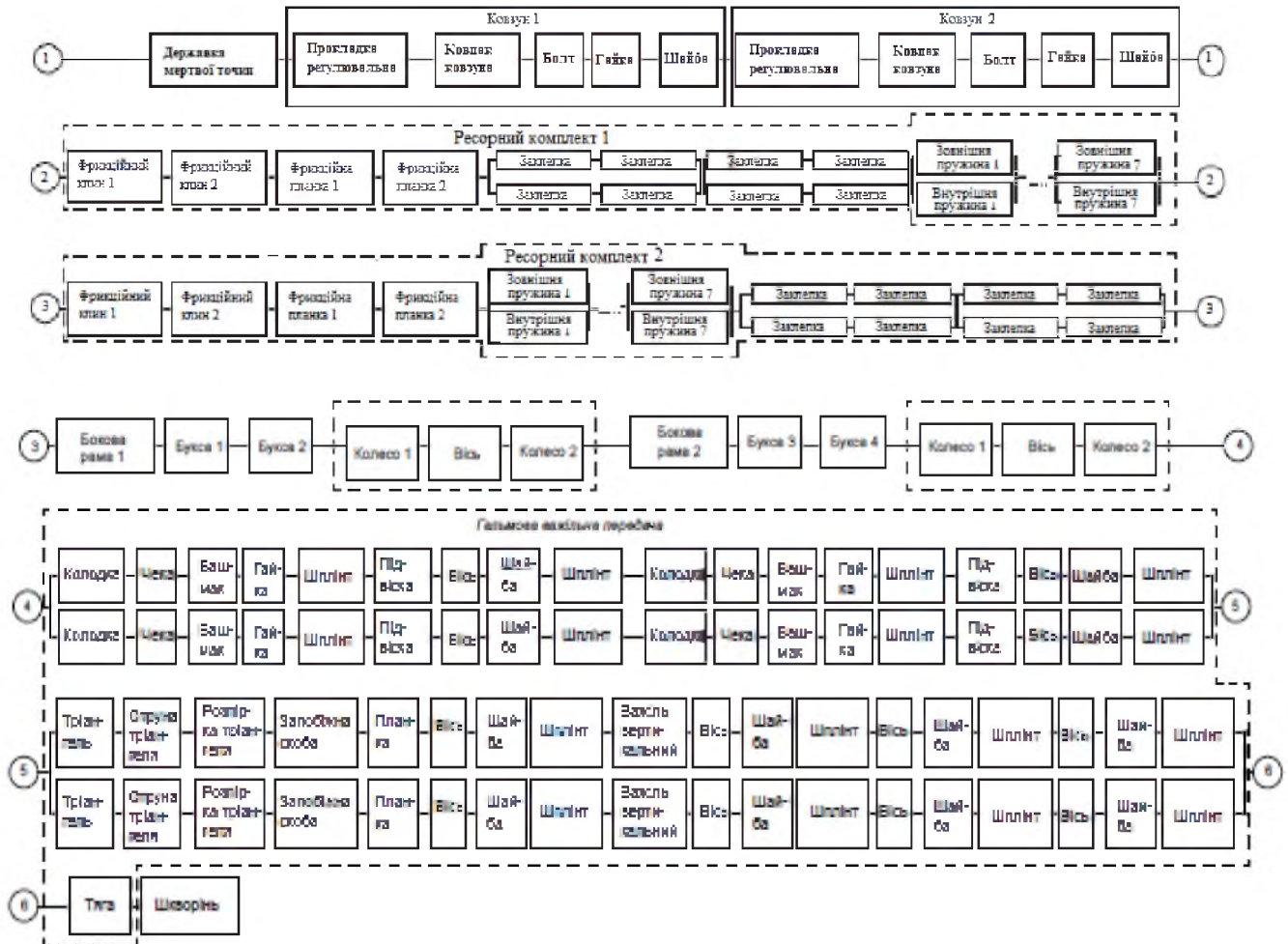


Рис. 15. Структурна схема візка вантажного вагона моделі 18-100

Складовою частиною візка 18-100 є букса. Букса – система, що складається з двадцяти одного змішано з'єданого елемента: корпус букси, лабіринтне кільце, підшипник задній, підшипник передній, кріпильна кришка, шість болтів, шість шайб, оглядова кришка, гумова прокладка, торцева гайка, стопорна планка. Структурна схема вагонної букси наведена на рис. 16.

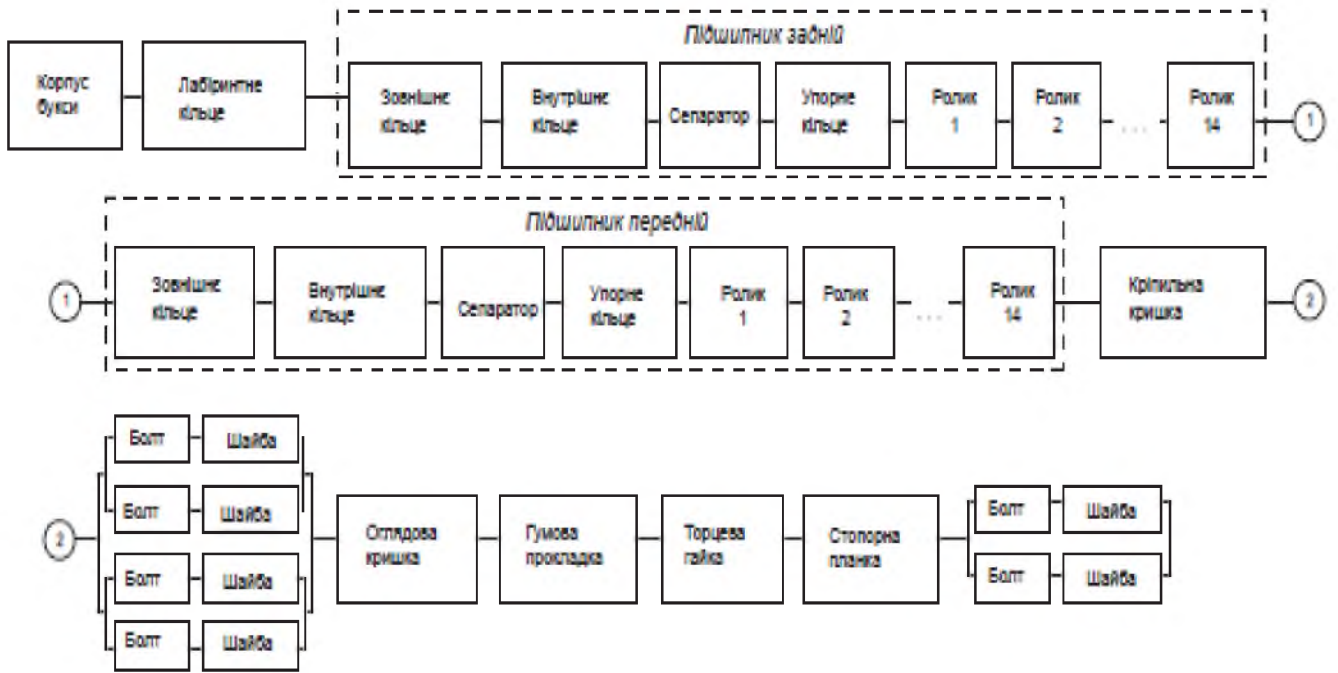


Рис. 16. Структурна схема вагонної серійної букси

Для побудови системи досліджень надійності вантажних вагонів (СДНВВ) залучено апарат нечіткої логіки. В системі досліджень надійності вантажних вагонів на основі знань про зв'язок ознак несправностей і самої несправності відповідного вантажного вагона, що формуються спеціалістами ремонтних і експлуатаційних вагонних депо, отримано підсумковий коефіцієнт впевненості гіпотез при заданих відношеннях апріорних ймовірностей справедливості гіпотез з певними ознаками несправностей вантажних вагонів. При цьому формування бази знань про відмови (БЗВ) СДНВВ представлено алгоритмом, що пов'язаний з: заповненням таблиць БЗВ; витягом (отриманням) знань із статистичних даних з відмов вагонів; організацією експертного опитування; навчанням БЗВ. База даних з відмов (БДВ) СДНВВ складається з двох множин – симптомів (свідощів) і відмов (гіпотез), а БЗВ складається з безлічі пар елементів відповідних множин із зазначенням в явному вигляді міри довіри або недовіри. Для СДНВВ запропоновано модель даних «одиниця надійності»:

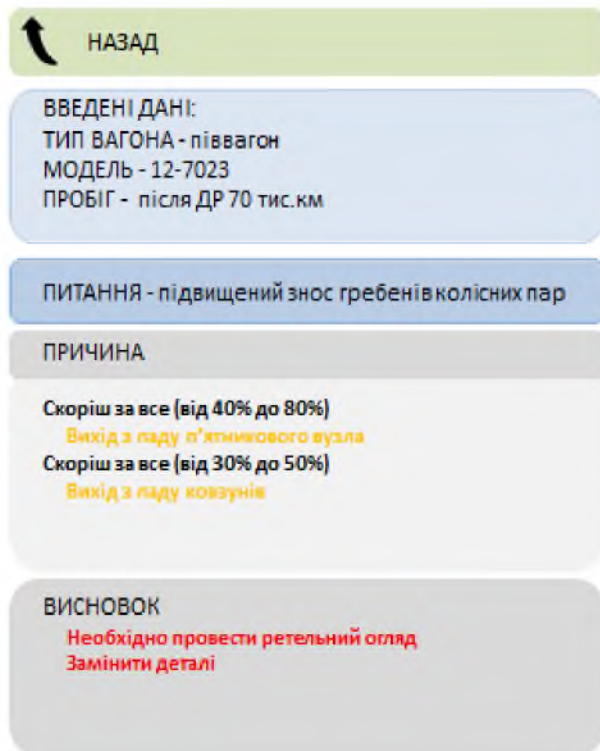
$$ReliabilityUnit\langle H, E, CM, ACM \rangle, \quad (21)$$

де $H = \{df_m\}$ – множина гіпотез про виникнення відмови (несправності) df_i ;
 $E = \{symp_j, ctx_k, ctxScl_s, intervalT_b, interval_v, mrk_n, mdl_c, dev_h\}$ – множина свідощів (симптомів) з відмов (несправностей) вагонів; $CM\langle prob_l \rangle$ – 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 контекста; $intervalT_b \in IntervalT$ – 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_v* – 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_n* – елемент множини модернізованих деталей, вузлів чи обладнання, що встановлено на вагон.

На підставі наведеної моделі базуються алгоритми визначення одиниці надійності вагона для пошуку множини ймовірних відмов (несправностей) із визначенням значень даних ймовірностей. Виходячи зі складу наведеної моделі (21), слід відзначити, що функція приналежності задана експертами за знаннями, детерміновано. Для перетворення статистичних даних в елемент БЗВ СДНВВ пропонується розрахункова функція ймовірності відмови в залежності від пробігу (напрацювання) вагона. При отриманні розрахункового значення квантиля в 5% на кожній ітерації, результуючі дані можуть бути занесені в БЗВ СДНВВ.

В Демо-версії (в самому простому вигляді), тобто маючи загальну інформацію про вантажні вагони (причини відмов, зносів тощо), робота системи дослідження показників надійності вантажних вагонів має наступний вигляд (рис. 17).



Якщо використати запропоновану в роботі систему надійності, то структура буде змінюватись. Приведемо на прикладі моделі вагона 12-7023, яким чином буде змінюватись напрацювання і структура ремонту після внесення даних у систему надійності. Для цієї моделі піввагона встановлена наступна періодичність ремонту (рис. 18, а).

Вносячи зміни до системи надійності вантажних вагонів, тобто відбудеться зміна показників надійності, відповідно система запропонує наступну періодичність і структуру для вагона моделі 12-7023 (рис. 18, б).

Рис. 17. Демонстрація роботи системи дослідження показників надійності вантажних вагонів

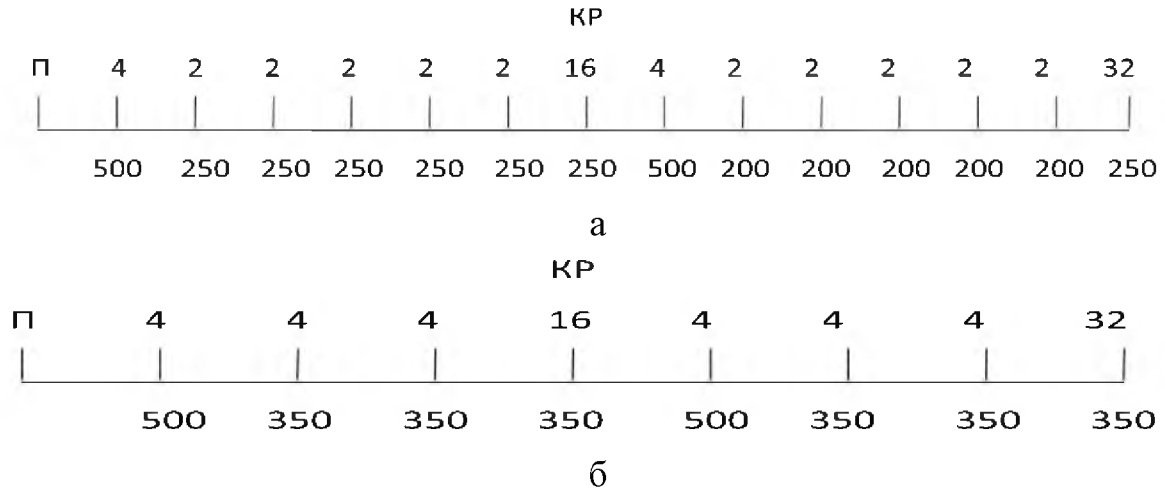


Рис. 18. Структура ремонту піввагона 12-7023: а – існуюча; б – удосконалена

Як можна бачити з нової структури ремонту піввагона 12-7023, побудованої за допомогою системи надійності впливає наступне. Структура ремонту була: 12 ДР + 1КР, а стала: 6 ДР + 1КР. В існуючому варіанті за життєвий цикл піввагон 12-7023 має 13 технічних впливів ремонтного характеру, в запропонованому варіанті – 7 таких впливів. Тобто, піввагон 12-7023 буде знаходитись менше в ремонтному просторі.

У п'ятому розділі наведено результати дослідження показників надійності вантажних вагонів і експериментальні результати. Процес створення нової техніки, як правило, супроводжується виконанням комплексу теоретичних і експериментальних досліджень створюваного зразка або виробу з визначення його функціональних характеристик. В першу чергу, розробників і користувачів цікавлять експлуатаційні якості, оскільки саме ці якості визначають основні властивості виробу в експлуатації. Тому не тільки становить інтерес, а має особливу актуальність науково-прикладна проблема з оцінки експлуатаційних характеристик нової і модернізованої техніки, а для залізничної техніки, від якої залежить не тільки безпека руху, але життя і здоров'я людей, оцінка показників в експлуатації має особливо важливе значення. Тому, в роботі розглянуті методологічні підходи до оцінки експлуатаційних характеристик нових і модернізованих вантажних вагонів, а також зформовано плани проведення випробувань з визначення показників надійності вантажних вагонів, що включають довірчі інтервали λ_1 та λ_2 інтенсивності відмов при експоненціальному розподілі і різних планах випробувань. Проведення досліджень за запропованою методологією дозволяє раціонально сформулювати план експлуатаційних випробувань механічних систем, зокрема вантажних вагонів, і визначити точкові та інтервальні оцінки під час аналізу результатів випробувань. Крім того, такі дослідження надають можливість більш точно визначити показники надійності вантажних вагонів.

ВАТ «Крюківський вагонобудівний завод» освоїв випуск для УЗ піввагонів нового покоління моделі 12-7023 на візках моделі 18-7020. Ці піввагони принципово відрізняються від піввагонів існуючого парку. Експлуатаційні випробування 50-ти таких піввагонів проведені на дослідному маршруті №2 Кривий Ріг-Ужгород-Кошице, на якому виконуються перевезення залізничної сировини на

металургійний комбінат у Словаччину. Метою випробувань було визначення інтенсивності експлуатаційних зносів і показників надійності зазначених вантажних вагонів.

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 відбувалось за допомогою роторного вагоноперекидача;
- рух вагонів в зворотному напрямку відбувався в порожньому стані.

Маршрут пролягав Придніпровською, Одеською, Південно-Західною та Львівською залізницями і, що включав складний за планом і профілем колії Карпатський перевал. Довжина одного рейсу складала 2700 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 колії шириною 1520 мм. Всі поїздки маршруту супроводжувалися бригадами досвідчених оглядачів вагонів і, при необхідності, – співробітниками випробувальної лабораторії вагонів ДНУЗТ. Періодично в рейсовий маршрут додавалася вагон-лабораторія для вимірювань необхідних динамічних параметрів під час руху. Діяла система інформації про виявлені під час перевезення відмови вагонів і контролю про їх усунення.

Аналізуючи результати первинної статистичної обробки товщини гребенів, виявлено, що інтенсивність зносу явно знижується з ростом пробігу маршрутних вагонів. Так, в початкові 19 тис. км пробігу (від 2,7 до 21,6 тис. км) зниження складо $\Delta M = 0,88$ 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. 19) побудовано у формі експоненціальної регресії, що дозволяє взяти до уваги змінну інтенсивність процесу зносу.

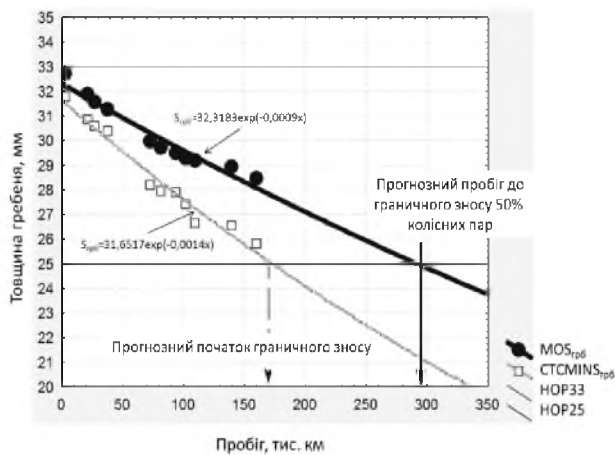


Рис. 19. Залежність товщини гребенів коліс від пробігу вагона

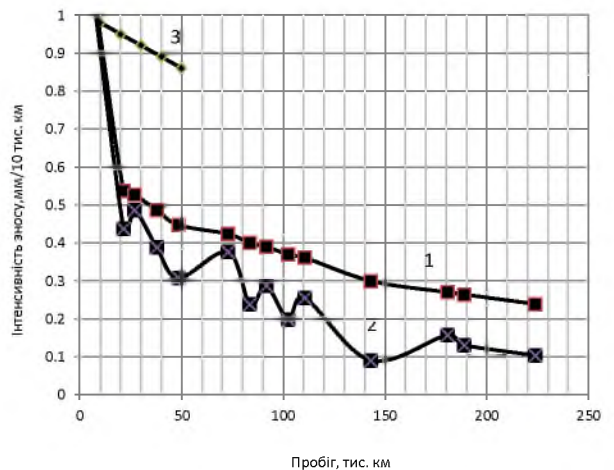


Рис. 20. Залежність інтенсивності зносу гребенів коліс від пробігу вагона

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

- $MOS_{грб}$ – математичне очікування товщини зношеного гребеня при різних пробігах вагона. Формула експоненти – над графіком. Жирні маркери позначають дослідні значення, отримані після первинної обробки масиву вимірювань (табл. 1);

- $СТС.МІНС_{грб}$ – статистично мінімальна товщина гребеня, яка може мати місце при замірах гребенів у групи колісних пар з даними пробігами. Відповідні маркери світлі.

Прогнозний пробіг вагонів до граничного зносу 50% колісних пар складає: $S_{50\%} = 285,3$ тис. км. Теоретичне значення прогнозного початку граничного зносу гребенів колісних пар складає: $S_{поч} = 168,5$ тис. км. Графік інтенсивності зносу гребенів дослідних колісних пар показано на рис. 20.

На графіку (рис. 20) залежності мають наступне позначення:

- 1 – колісних пар піввагонів дослідного маршруту № 2 (візки мод. 18-7020, ободи коліс термооброблені на глибину зносу, профіль катання ІТМ-73). При цьому, наведено середню інтенсивність зносу гребенів з початку випробувань. Так, при пробігу в 224 тис. км з початку випробувань, відбулось зниження інтенсивності зносу до $0,238 \text{ мм} / 10^4 \text{ км}$;

- 2 – колісних пар піввагонів дослідного маршруту № 2 (візки мод. 18-7020, ободи коліс термооброблені на глибину зносу, профіль катання ІТМ-73). У даному випадку – приведено середню поточну інтенсивність зносу гребенів, де, на останньому етапі, спостерігається зниження інтенсивності зносу до $0,102 \text{ мм} / 10^4 \text{ км}$ пробігу;

- 3 – колісні пари піввагонів-еталонів дослідного маршруту № 1 (візки мод 18-100, профіль катання ГОСТ 9036 без глибокої термообробки ободів). При цьому інтенсивність зносу гребенів при пробігу до 50 тис. км склала від 0,98 до $0,86 \text{ мм} / 10^4 \text{ км}$.

Отже, вжиті заходи привели до зниження інтенсивності зносу гребеня колеса в 3,3 рази, 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 склало $\sim 1,5 \text{ мм}$, тобто інтенсивність прокату коліс $\rho \approx 0,083 \text{ мм} / 10^4 \text{ км}$. Тобто якісний характер зносів коліс «їзда на гребенях» зберігся. Статистична обробка виміряних в процесі експлуатаційних випробувань щелепних зазорів зі статистичним прогнозом показані на рис. 21.

Результуючі графіки усередненого завищення клинів зі статистичними прогнозом наведені на рис. 22. Результативний графік залежності виступу ковпаків від пробігу вагонів наведено на рис. 23, на якому статистичний прогноз зроблено до пробігу 400 тис. км, щоб показати перетин обох експоненціальних кривих з мінімальним нормативним значенням виступу $h_{min} = 14 \text{ мм}$.

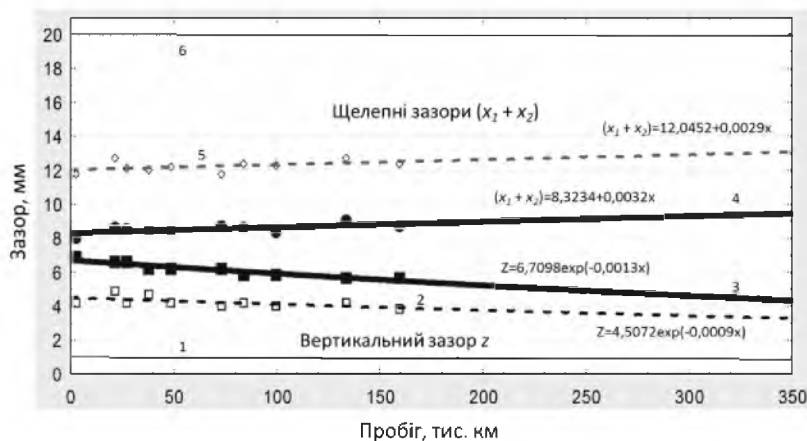


Рис. 21. Графіки зміни зазорів при експлуатаційних випробуваннях: 1 – нормативний мінімум вертикального зазору ($z = 1$ мм); 2 – статистичний мінімум вертикального зазору z ; 3 – математичне очікування вертикального зазору z ; 4 – математичне очікування щелепного зазору ($x_1 + x_2$); 5 – статистичний максимум щелепного зазору ($x_1 + x_2$); 6 – нормативний максимум щелепного зазору ($x_1 + x_2$) = 20 мм

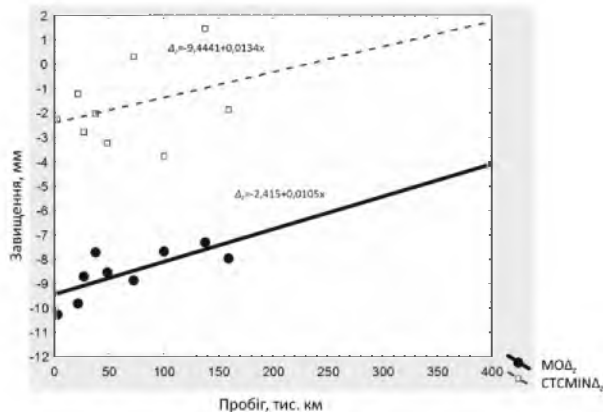


Рис. 22. Графіки усередненого завищення клинів

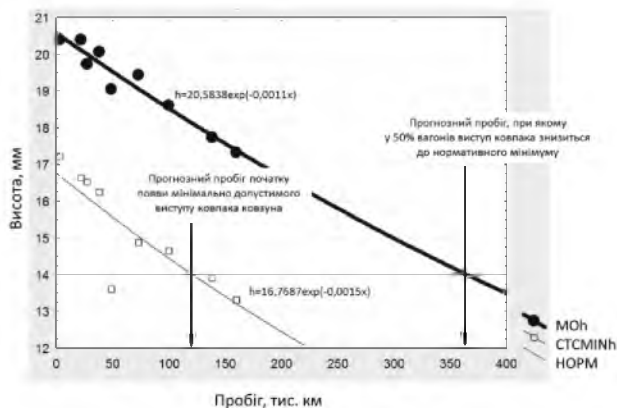


Рис. 23. Графічні залежності висоти виступу ковпака від пробігу вантажного вагона

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 очікуванням
Діаметр підп'ятника	0,308	305,4	308	170	240
Діаметр п'ятника	0,076	298	294	252	745

Результати обробки зносу автозчепів наведені в табл. 2. Граничний зазор в міжвагонному з'єднанні ненормований. За експертними оцінками, він може допускатися в межах 30 мм. Оскільки початковий зазор в контурі зачеплення дорівнює 10 мм, то на знос залишається $\Delta = 20$ мм. Прогнозний пробіг вагона, після якого сумарний знос контуру автозчепу складе 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, $k = 0,01$. Таким чином, наплавлення зношених поверхонь автотягача буде необхідно проводити після 1 млн. км пробігу, тобто при капітальному ремонті вагона.

Приведений статистичний прогноз, показав, що середня інтенсивність зносу (за математичним очікуванням) забезпечує ресурсний пробіг вагона в 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;
- щодо граничного розміру діаметра підп'ятника – після 170 тис. км пробігу.

Таблиця 2 – Статистична обробка результатів замірів зазорів в зчепленні автотягачів вагонів

Оброблені масиви вимірювань	Пробіг вагона, тис. км	Кількість вимірювань	Математичне очікування, мм	Середньоквадратичне відхилення, мм
Зазор в міжвагонному з'єднанні при другому обмірі	89,1	94	7,8206	2,2967
Зазор в 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 автотягача, 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» в порівнянні з колодками ВАТ «Трибо» показали, що існує сприятливий вплив колодки на поверхню катання, а недоліком є виникнення тріщин на границі «металева вставка – фрикційний матеріал», підвищений знос колодки. За результатами експериментальних випробувань рекомендовано кампанії «RFPC» продовжити роботи з удосконалення конструкції колодки в напрямку зменшення тріщиноутворення, а ВАТ «Трибо» – направити дослідження щодо поліпшення впливу гальмівних колодок на поверхню катання коліс. Також в ТОВ «Випробувальна лабораторія фрикційних виробів «Евротест» були проведені 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 при натисканні 10 і 20 кН. Максимальні температури досягалися при гальмуванні з максимальними швидкостями і

максимальними натисканнями. Гальмівна чавунна колодка порівнювалася з композиційною гальмівною колодкою 2ТР-37-01. З графіка (рис. 24) видно, що практично на всіх інтервалах гальмувань при різних швидкостях і натисканнях 10 і 20 кН вищий нагрів колеса спостерігається з композиційною колодкою 2ТР-37-01.

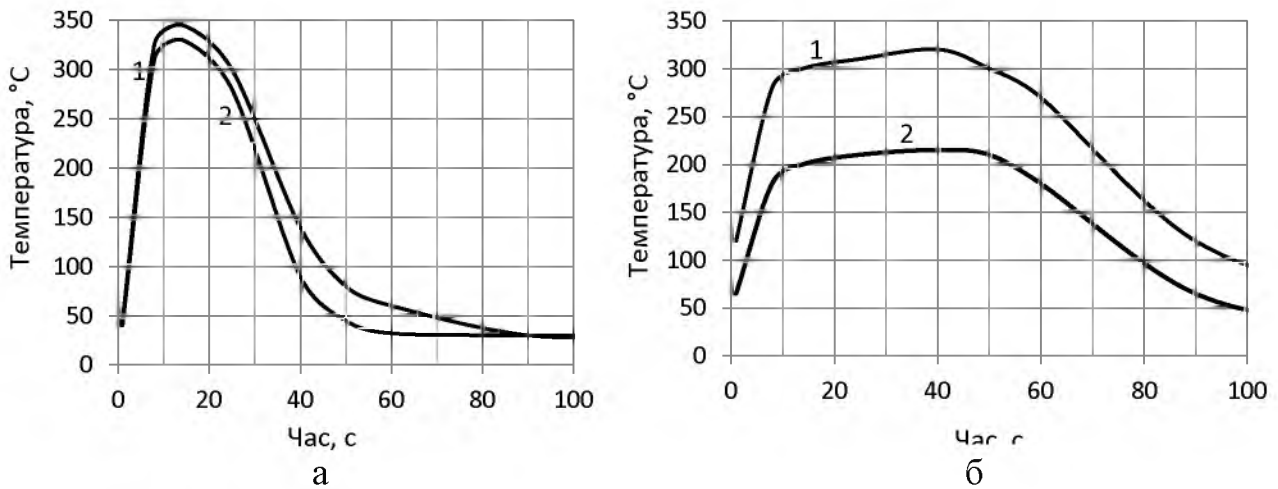


Рис. 24. Залежності температури поверхні катання колеса (а) та гальмівних колодок (б) на динамометричному стенді (швидкість 120 км/год, натискання 20 кН): 1 – чавунні; 2 – композиційні (2ТР-37-01)

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.

Оскільки повністю усунути зношування в зоні контакту «колесо-рейка» неможливо, але знизити його інтенсивність можна шляхом вдосконалення профілю поверхні кочення колеса, оптимізації співвідношення твердості колеса і рейки, підвищення міцності і 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 і введено в експлуатацію декілька тисяч високоміцних коліс.

Співробітниками науково-дослідної лабораторії «Вагони» ДНУЗТ за участю автора проведений аналіз наявності дефектів на поверхні кочення суцільнокатаних коліс в кількості 5500 штук, які поступили в ремонт за 9 місяців 2009 р. по всій мережі доріг Укрзалізниці. Найбільшу кількість дефектів склали вищербини, що зумовлені тріщиноутворенням внаслідок контактної втоми металу, та повзуни – його локальним течінням. Тому, у роботі було обґрунтовано необхідність зміни концепції вибору сталей для підвищення довговічності високоміцних залізничних коліс як за критерієм зношування (яку визначає міцність і твердість сталей), так і за критерієм вищерблювання поверхні кочення (яку визначає циклічна тріщиностійкість сталей). Підвищений (до 0,7%) вміст вуглецю в сталі марки Т, зумовлюючи ріст зносотривкості (твердості), сприяє її схильності до мартенситного

перетворення і збільшення рівня залишкових напружень II роду, в результаті падає циклічна тріщиностійкість. Нова концепція (рис. 25) повинна базуватися на підходах структурної механіки руйнування і включати необхідність зниження вмісту вуглецю в колісних сталях для запобігання мартенситного перетворення після гальмування (рис. 25, а); пошук структур колісних сталей, які забезпечують оптимальне поєднання характеристик їх міцності і циклічної тріщиностійкості (рис. 25, б) з урахуванням механізмів руйнування за умов нормального відриву і поперечного зсуву (рис. 25, с) для мінімізації тріщиноутворення і вищерблювання на поверхні кочення коліс. Бейнітна структура (КП-Т(Б)) дозволяє забезпечити суттєво вищі характеристики циклічної тріщиностійкості порівняно з перлітною (КП-Т(П)) і навіть КП-2(П)). Для оптимального поєднання міцності і тріщиностійкості перспективною є троститна структура (рис. 25, б)

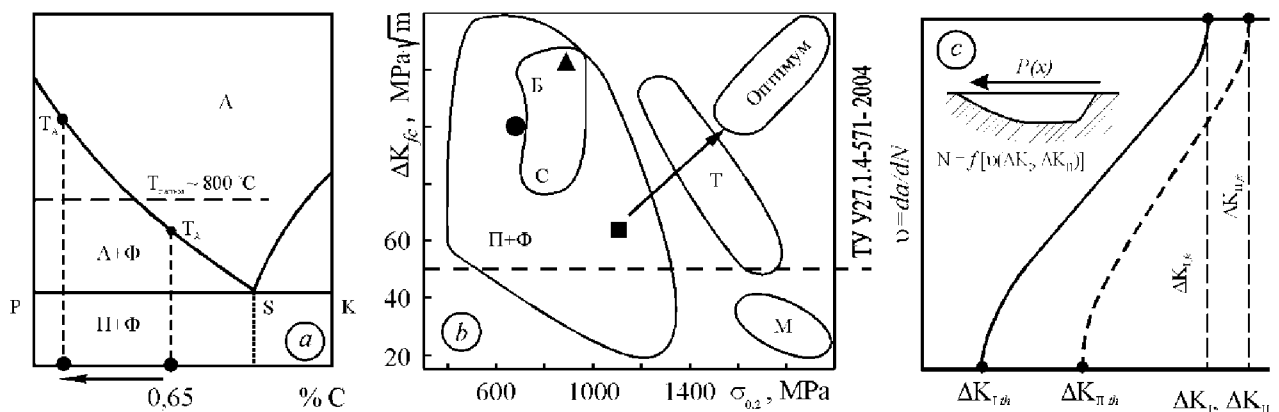


Рис. 25. Вибір колісних сталей: а – запобігання мартенситного перетворення після гальмування; б – оптимальне поєднання міцності і циклічної тріщиностійкості; с – врахування механізмів руйнування за умов нормального відриву і поперечного зсуву (А – аустеніт, Ф – ферит, П – перліт, Б – бейніт, М – мартенсит, Т – тростит, С – сорбіт; ● – сталь КП-2(П), ■ – КП-Т(П), ▲ – КП-Т(Б))

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

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень, в дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна проблема із забезпечення надійності вантажних вагонів для підвищення експлуатаційного життєвого циклу утримання вагонів та поліпшення стану безпеки руху. При цьому, у теоретичному аспекті розроблено наукові основи формування системи дослідження надійності вантажних вагонів на різних етапах життєвого циклу, що в практичному плані дозволяє значно зменшити експлуатаційні витрати при можливості 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 в 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 вимагає 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 зносу деталей вантажних вагонів, що враховує закони розподілу випадкових величин і дозволяє враховувати показники надійності всіх основних комплектуючих елементів впродовж життєвого циклу.

3. Для прогнозування напрацювання окремих деталей та вузлів або вагона в цілому впродовж 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 впродовж життєвого циклу вперше отримано залежність граничного ресурсу структурних елементів вагона, що дозволяє максимально наблизити прогнозні дані до результатів експлуатації та сформулювати 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 – технологічний процес 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 із запобіганням 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 визначаються параметри експлуатаційної надійності вантажних вагонів: коефіцієнт готовності, ймовірності безвідмовної роботи та виконання задач.

8. Виконане обґрунтування правомірності застосування Байєсова моделі для розрахунків показників надійності вантажного вагона на етапах життєвого циклу. Використання адаптованих Байєсової моделі за представленою методикою дозволяє оцінити показники надійності на етапах життєвого циклу, удосконалити міжремонтний термін та кількість ремонтів упродовж життєвого циклу моделі вагона, при цьому забезпечується урахування конструктивних особливостей.

9. Сформовано структурна схема вантажного вагона. При цьому перед введенням в експлуатацію вагона 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 відмови, про заміну деталей і вузлів на відповідному пробігу. У результаті сформована база дозволяє виконати розрахунки і сформувані показники надійності як окремих деталей і вузлів, так і вагона в цілому. Ця інформація дозволяє прийняти більш зважене рішення порівняно з існуючими методиками, де пропонується приймати рішення за обмеженою кількістю досліджуваних об'єктів.

10. Для формування системи дослідження надійності вантажних вагонів упродовж 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 нову структура ремонту піввагона моделі 12-7023, побудована за допомогою системи надійності показала наступне. Структура ремонту піввагона моделі 12-7023 була: 12 ДР + 1КР, а стала: 6 ДР + 1КР. В існуючому варіанті за життєвий цикл піввагон моделі 12-7023 має 13 технічних впливів ремонтного характеру, в запропонованому варіанті – 7 таких впливів. Тобто, піввагон моделі 12-7023 буде знаходитись менше в ремонтному просторі.

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 впродовж випробувань та під час експлуатації і дають можливість більш точно визначити показники надійності вантажних вагонів за комплексними ознаками.

12. У результаті проведених експериментальних досліджень розроблено методи визначення надійності нових і модернізованих вантажних вагонів з використанням апарату нечіткої логіки. Це дозволяє в системі досліджень надійності вантажних вагонів на основі знань про зв'язок ознак несправностей і самої несправності відповідного вантажного вагона, що формуються за даними ремонтних і експлуатаційних вагонних депо, отримати підсумковий коефіцієнт впевненості гіпотез при заданих відношеннях апріорних ймовірностей справедливості гіпотез з певними ознаками несправностей вантажних вагонів.

13. У результаті техніко-економічного обґрунтування запропонованих технічних та технологічних рішень забезпечення надійності 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. Модернізація п'ятникового узла // Вагонний парк. 2011. № 5. С. 7-10.
3. Бабаєв А. В., Мурадян Л. А., Книшук О. С., Исопенко И. В. Дисковые тормоза грузовых вагонов // Вагонний парк. № 12. 2011. С. 8-13.
4. Порівняльний аналіз причин утворення дефектів на поверхні кочення вуглецевих та підвищеної твердості мікролегованих суцільнокатаних коліс / [Мурадян Л. А., Узлов І. Г., Узлов К. І., Книш А. В., Хулін А. М., Дементьєва Ж. А., Мямлін С. В., Бруякін В. К.] // 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 // Вагонний парк. 2011. № 9. С. 11-16.
6. Неисправности авторежимов грузовых вагонов / [Мурадян Л. А., Бабаєв А. М., Кривошея А. Н., Глешенкова В. С., Кутищенко А. В.] // Вагонний парк. 2012. № 2. С. 34-36.
7. Про концепцію вибору сталей для високоміцних залізничних коліс / [Мурадян Л. А., Осташ О. П., Анофрієв В. Г., Андрейко Л. А., Кулик В. В.] // Фізико-хімічна механіка матеріалів. 2012. № 6. С. 7-13.

8. Ostash, O.P. On the concept of selection of steels for high-strength railroad wheels / O.P. Ostash, V.H. Anofriev, I.M. Andreiko, L.A. Muradyan, V.V. Kulyk // *Materials Science*. 2013. Vol. 46. Iss. 6. P. 697-703.
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., Бабаев 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. Сер.: «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. Мурадян Л. А., Бубнов В.М., 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. Гранічний 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 / [Мурадян Л. А., Савчук О. М., Бруякин В. К., Мищенко А. А., Коробка Б. А., Можейко Е. Р.] // Вагонный парк. 2009. № 5-6. С. 30-32.
26. Эксплуатационные испытания полувагонов нового поколения / [Мурадян Л. А., Савчук О. М., Бруякин В. К., Мищенко А. А., Коробка Б. А., Можейко Е. Р.] // Вагонный парк. 2009. № 7-8. С. 8-11.
27. Мурадян Л. А., Бабаев А. М. О тормозных колодках дорог Украины // Вагоны и вагонное хозяйство. 2010. № 4. С. 43-44.
28. Мурадян Л. А., Бабаев А. М., Шапошник В. Ю. Удосконалення вузла передачі стоянкового гальма вантажного вагона // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. 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., Бруякін В.К., Мурадян Л.А. Мищенко А.А. Дослідження зразків нової техніки Тези доповідей 68 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 // Проблемы механики 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 // Проблемы 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. Бруякін В.К., Бабаєв 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., Решетняк Д.Ю., Мурадян Л.А. Гордійчук О.В., Бабаєв А.М., Міщенко А.А. Совершенствования пятникового узла грузового вагона // Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : матеріали 71-ї Міжнародної науково-практ. конф. Дніпропетровськ, 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. Дніпропетровськ, 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. 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. Бабаев 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. Мямлін 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 3А 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. Перспективи експлуатації литих колес на залізничних дорогах України // 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 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 // Проблемы 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 // Проблемы та перспективи розвитку залізничного транспорту : матеріали 78-ї Міжнародної науково-практ. конф. Дніпро, 2018. С. 40-41.

Додаткові наукові праці

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, 2019.

Дисертація присвячена проблемі визначення показників надійності вантажних вагонів та підвищення рівня безпеки руху. У рамках досліджень в 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 виконано 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, проектування, 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, 2018.

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, 2018.

Диссертация посвящена проблеме определения показателей надежности грузовых вагонов и повышения уровня 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 выполнены 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 __.__.2019

Формат паперу 60x84 1 /16.
Ум.др.арк. 1,90. Обл.вид.арк. 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.