

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Дніпровський національний університет залізничного транспорту
імені академіка В. Лазаряна



Шапошник Владислав Юрійович

УДК 629.463-049.32(043.5)

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ**

Спеціальність 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Дніпро – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі «Вагони та вагонне господарство» Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Мурадян Леонтій Абрамович,
Дніпровський національний університет
залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна
(м. Дніпро), кафедра «Вагони та вагонне
господарство»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Мартинів Ігор Ернстович,
Український державний університет залізничного
транспорту (м. Харків), кафедра «Вагони», завідувач
кафедри;

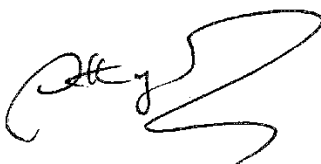
кандидат технічних наук
Кара Сергій Віталійович,
Науково-дослідний та конструкторсько-
технологічний інститут залізничного транспорту
АТ "Укрзалізниця" (м. Київ), начальник науково-
дослідного відділу динаміки та міцності.

Захист відбудеться «19» грудня 2019 року о 11.00 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 у науково-технічній бібліотеці Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна за адресою: м. Дніпро, вул. Лазаряна, 2 або на сайті за адресою <http://diit.edu.ua/> (Наука – Аспірантура і докторантура – Захисти у спеціалізованій вченій раді Д08.820.02)

Автореферат розісланий «___» листопада 2019 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
д-р техн. наук, професор



І. В. Жуковицький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Значне місце в роботі залізничного транспорту займають вантажні перевезення, що потребують наявності вантажних вагонів. При цьому важливе значення має система технічного обслуговування та ремонту, яка повинна забезпечити справність вагонного парку. Від своєчасного виконання ремонту вагонів залежить безпека руху на залізничному транспорті та собівартість утримання вагона.

На сьогодні у вагонному господарстві Укрзалізниці діє планово-попереджувальна система технічного обслуговування та ремонту (далі – ТОіР), яка передбачає виконання планових ремонтів вагонів або після закінчення певного терміну експлуатації, або після досягнення певного пробігу. Така система ремонту має певні недоліки. Зокрема, комплектуючі вагонів мають неоднаковий ресурс, а плановий ремонт ці ресурси усереднює. Як наслідок, частина деталей виходить з ладу до настання нормативного терміну виконання ремонту, а ресурс інших деталей на момент проведення планового ремонту використовується неповно. Усе це призводить до зменшення ресурсу рухомого складу, збільшення потреби в запасних частинах, зростання трудових витрат і, відповідно, собівартості утримання вагонів. Також до недоліків цієї системи слід віднести те, що вона не враховує конструктивних особливостей різних моделей вантажних вагонів, їх умов експлуатації, не повною мірою враховується модернізація рухомого складу. Діюча система ТОіР за фактичним напрацюванням враховує тільки сумарний пробіг вагона, не розділюючи його на завантажений та порожній. Усі ці фактори вказують на необхідність підвищення ефективності системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів.

Світовий досвід в організації системи ТОіР рухомого складу залізниць свідчить про доцільність впровадження системи ремонту з урахуванням його дійсного стану. Це актуально, насамперед, для вагонів нового покоління та вагонів, які проходять модернізацію.

Для впровадження ремонту вантажних вагонів за станом необхідно розробити критерії оцінки технічного стану вантажних вагонів під час експлуатації та ремонту. Крім того, для забезпечення своєчасного ремонту необхідно отримувати достовірні дані про поточний стан і поточне напрацювання контрольних об'єктів. Для цього науковими організаціями та промисловістю розроблені та впроваджуються сучасні засоби діагностування та контролю технічного стану залізничного транспорту. Також важливого значення набуває своєчасність виявлення пошкоджень та зносів деталей і вузлів рухомого складу.

У роботі розглядаються питання забезпечення експлуатаційних характеристик вантажних вагонів, критерії оцінки технічного стану вагонів у експлуатації та підвищення ефективності системи технічного обслуговування та ремонту з урахуванням дійсного стану вантажного вагона.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до пріоритетних напрямків розвитку залізничної галузі, що визначені в 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 виконуються Дніпровським національним університетом

залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: «Розробка інноваційних вантажних вагонів для гірських залізниць з урахуванням новітніх матеріалів та застосування сучасних технологій зварювання» (ДР № 0116U003751), «Визначення сили натиснення на гальмівні колодки пасажирського вагона з урахуванням навантаження на колесо. Експлуатаційні випробування колодок гальмівних залізничного транспорту» (ДР № 0116U006842), а також «Експлуатаційні випробування втулок з композиційних матеріалів та виробів поліуретанових для вантажних вагонів» (ДР № 0116U003752), у яких автор є виконавцем та автором звітів.

Мета та завдання дослідження. Метою роботи є підвищення ефективності системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз технічного стану вантажних вагонів та систем технічного обслуговування та ремонту;
- розглянути методологічні засади забезпечення експлуатаційних характеристик вантажних вагонів;
- розробити критерії оцінки технічного стану вантажних вагонів у експлуатації та під час ремонту;
- теоретично дослідити процес зміни технічного стану вантажних вагонів у експлуатації;
- виконати експериментальні дослідження процесу зміни технічного стану вантажних вагонів у експлуатації;
- виконати техніко-економічне обґрунтування переходу до системи технічного обслуговування та ремонту за технічним станом із застосуванням індикаторного контролю граничних станів вузлів вантажних вагонів.

Об'єктом дослідження є процес технічної експлуатації вантажних вагонів.

Предмет дослідження – система технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів.

Методи дослідження. Математичні моделі, що описують експлуатаційні характеристики досліджуваних деталей, склалися на базі теорії ймовірностей та математичної статистики. Теорія надійності технічних систем застосовувалася для розрахунку надійності елементів, вузлів та вагона в цілому. Методи математичного моделювання використовувалися для формування моделі впливу технологічних помилок на надійність вантажного вагона. Ймовірність перебування вантажного вагона на різних стадіях життєвого циклу складалася з ланцюга Маркова для випадкових процесів з випадковими станами і безперервним потоком часу. Експериментальні дані отримані за допомогою методу емпіричного дослідження вагонів.

Наукова новизна отриманих результатів.

У роботі вирішено наукове завдання підвищення ефективності системи технічного обслуговування та ремонту за допомогою врахування дійсного стану вантажного вагона. Розроблена математична модель зміни технічного стану вантажних вагонів у експлуатації, за результатами якої:

вперше:

- запропоновано метод оцінки дефектності вузлів вантажних вагонів на основі моделі розвитку ситуації для випадку критичного дефекту, що дозволяє підвищити їх надійність та безпеку руху поїздів;

- розроблено математичну модель оцінки міжремонтного ресурсу вантажного вагона, що дозволяє визначити його ресурс з урахуванням дотримання технології технічного обслуговування вагона в експлуатації.

набули подальшого розвитку:

- методика визначення ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані на основі розміченого графу технічного стану, що, на відміну від існуючої, дозволяє враховувати кожну можливу стадію технічного стану, на якій перебуває вантажний вагон;

- метод порівняння систем технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів за існуючою технологією та за технічним станом, що, на відміну від існуючого, містить параметри, режими й враховує порушення технології виконання робіт з технічного обслуговування вантажних вагонів;

- метод оцінки якості показника безпеки руху поїздів, що містить поправний коефіцієнт, який визначається відношенням ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані й проектної ймовірності безвідмовної роботи вантажного вагона на відповідному відрізку часу, що, на відміну від існуючого, дозволяє виконати оцінку рівня безпеки руху при переході від існуючої системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів до системи за технічним станом.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, а також запропоновані методології, розроблені моделі та підходи можуть бути використані для удосконалення системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів, яка дозволить знизити трудомісткість операцій з технічного обслуговування і буде містити інформаційну систему індикаторного контролю граничних станів вузлів вантажного вагона. Отримані результати роботи використовуються:

- у ТОВ «БЦЗ «Трібо», для якого надано рекомендації щодо підвищення експлуатаційної надійності гальмівної колодки завдяки використанню індикаторів (маркерів) зносу (акт впровадження від 03.07.2018);

- у структурному підрозділі «Вагонне депо Кам'янське» регіональної філії «Придніпровська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця», для якого надано рекомендації щодо стратегії виконання технічного обслуговування та ремонту вагонів (акт впровадження від 28.06.2018);

- у ТОВ «УК «ТРАНСВАГОНСЕРВІС», для якого надано рекомендації щодо вирішення науково-прикладної задачі з оцінки надійності вантажних вагонів при переході до системи технічного обслуговування та ремонту за станом із застосуванням індикаторного контролю граничних станів вузлів вантажних вагонів, норми оперативного часу на контроль технічного стану вагона оглядачем вагонів (акт впровадження від 10.07.2018);

- у навчальному процесі ДНУЗТ під час підготовки бакалаврів та магістрів зі спеціальності 273 «Залізничний транспорт» спеціалізації «Вагони та вагонне господарство», прийняті до використання метод індикаторного контролю для оцінки

технічного стану вантажних вагонів у експлуатації та при ремонті та модель розвитку ймовірності кінцевого стану для випадку критичного дефекту вузла вантажного вагона (акт впровадження від 24.10.2018).

Особистий внесок здобувача. Усі наукові положення, розробки та результати теоретичних та експериментальних досліджень, що виносяться на захист, отримані автором самостійно. Мету та постановку завдання, обговорення та аналіз результатів досліджень здійснено разом із науковим керівником.

Роботи [8 – 11, 18, 22] опубліковані одноосібно. У роботах, які опубліковані у співавторстві, здобувачеві належить наступне: [12-14, 27] – виконано оцінку експлуатаційної надійності гальмівних колодок. У працях [2, 6, 16, 17, 20, 21, 26] – виконано оцінку експлуатаційних характеристик несамохідного рухомого складу, проведено аналіз стратегій технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів. У праці [28] – виконано огляд вітчизняних та закордонних дослідних полігонів для випробування рухомого складу залізниць, проведено аналіз виконаних науково-дослідних робіт за час існування дослідного маршруту. У працях [1, 3, 4, 7, 25] – проведено аналіз стану вантажних вагонів та їх вузлів при надходженні до ремонту, розглянуті шляхи зменшення пошкоджень вантажних вагонів. У працях [19, 24] – проведено теоретичні дослідження міцнісних якостей модернізованих фрикційних клинів візків вантажних вагонів. У працях [15, 23] – проведено аналіз новітніх конструкторських рішень, застосованих у вузлах та деталях вітчизняних та закордонних вагонів, запропоновано варіант виконання маркерів зносу на гальмівних колодках. У праці [5] – запропоновано застосування автоматичної ідентифікації окремих частин транспортного засобу при впровадженні нових концепцій системи технічного обслуговування та ремонту. У працях [29 – 32] – підготовка технічних рішень та опис корисних моделей.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися та були схвалені на 74-й, 75-й, 76-й, 77-й, 78-й та 79-й міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту» (Дніпро, ДНУЗТ, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 рр.); XIV Міжнародній конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту. Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава, энергосбережение» (Дніпро, ДНУЗТ, 2016 р.), II Всеукраїнській конференції «Вагони нового покоління: із ХХ в ХХІ сторіччя» (Харків, УкрДУЗТ, 2019 р.) VII Всеросійській науково-технічній конференції «Транспортная инфраструктура Сибирского региона» (Іркутск, 2016 р.). У повному обсязі дисертація доповідалась та була схвалена на міжкафедральному науковому семінарі у Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна 13 грудня 2018 року.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 32 наукових працях, з яких: 12 – наукові статті у фахових виданнях, з яких 11 – у виданнях та в журналах, що входять до наукометричних баз даних (Google Scholar, Index Copernicus, CrossRef), 10 публікацій апробаційного характеру і тез доповідей у матеріалах міжнародних наукових конференцій, а також 10 додаткових праць: 6 статей, 3 патенти України на корисну модель та 1 свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір наукового характеру.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи складає 241 сторінку, з яких основного тексту – 153 сторінки, у основному тексті роботи міститься: 54 рисунки та 6 таблиць, список літератури з 186 джерел викладено на 22 сторінках; 9 додатків викладено на 66 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи; висвітлено її зв'язок з науковими програмами Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, сформульовано мету та завдання дослідження; визначено об'єкт та методи дослідження; сформульовано наукову новизну та визначено практичну значущість виконаних досліджень.

У першому розділі проведений огляд та аналіз наукових джерел та фахової літератури, який підтверджує, що питання підвищення ефективності системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів є актуальним, а його розв'язання є складним і потребує комплексного підходу.

Вагомий внесок у вирішення питання підвищення ефективності системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів внесли вчені Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (м. Дніпро), Українського державного університету залізничного транспорту (м. Харків), Науково-дослідного та конструкторсько-технологічного інституту залізничного транспорту АТ «Укрзалізниця» (м. Київ), Державного університету інфраструктури та технологій (м. Київ), Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля (м. Сєверодонецьк), ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (м. Кременчук), ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» (м. Кременчук), Головного спеціалізованого конструкторського бюро з вагонобудування ім. В.М. Бубнова (м. Маріуполь), ПрАТ «Дніпровагонмаш» (м. Кам'янське) та інші.

Огляд конструктивних особливостей вагонів нового покоління та проектів модернізації вантажних вагонів дозволяє зробити висновки, що сучасні технології вагонобудування та відновлення вагонів дають можливість підвищити експлуатаційні показники рухомого складу, зменшити зноси вузлів та деталей, а це дозволяє підвищити міжремонтні пробіги вагонів та зменшити затрати на їх ремонт та технічне обслуговування.

Огляд розвитку системи ТОіР вантажних вагонів на залізницях України показав, що вона постійно розвивалася і змінювалася залежно від умов експлуатації та її інтенсивності. Діюча планово-попереджувальна система ТОіР вантажних вагонів не враховує багато чинників, основним з яких є фактичний стан вагона. Організація системи ТОіР вантажних вагонів залізниць Америки та Європи показує, що не існує однієї спільної системи ремонту, у межах однієї країни різні залізничні компанії можуть застосовувати різні системи ТОіР вантажних вагонів.

У другому розділі наведено методологічні засади забезпечення експлуатаційних характеристик вантажних вагонів. Установлено, що обґрунтування вибору системи ТОіР вантажних вагонів, яка враховує їх фактичний стан, повинно ґрунтуватись на характерних ознаках конструктивних особливостей окремої моделі

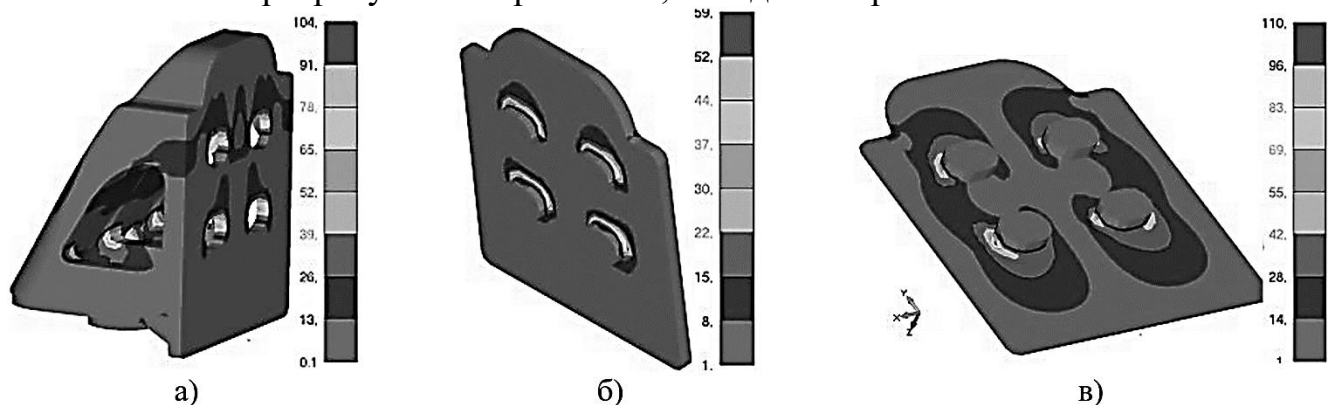
вантажного вагона з підтримуванням показників надійності вагона в установлених межах та бути економічно вигідною для всього вантажного парку. Досліджено пошкодження вантажних вагонів, які надходять в ремонт, проведено аналіз характеру виникнення несправностей вантажних вагонів.

У третьому розділі обґрунтовано критерії оцінки технічного стану вантажних вагонів у експлуатації та при ремонті.

Підвищення ефективності системи ТОіР вантажних вагонів потребує застосування більш простих, але не менш точних підходів до оцінки технічного стану вузлів і деталей вагона. Сучасним напрямком оцінки технічного стану є засоби індикаторного контролю (далі – індикатори), які застосовуються в таких відповідальних деталях, як фрикційний клин, адаптер, ковзун, колесо, гальмівна колодка та інші. Застосування індикаторів мінімізує технологічні помилки при визначенні зносів деталей вагона, скорочує час технічного обслуговування вагонів та ін. Автором запропоновано ряд технічних рішень виконання індикаторів. Для спрощення технології виявлення буксових вузлів з підвищеною температурою запропонований температурний індикатор, у вигляді термоіндикаторної фарби, який реагує на температуру буксового вузла та візуально сповіщає відповідальну особу про зміну його температури.

Визначений вплив індикаторів контролю граничного стану на міцність фрикційного клина. Змодельована базова геометрична 3D-модель фрикційного клина була взята за основу для розміщення на ній двох варіантів виконання індикаторів контролю граничного зносу: виконання індикатора у верхній частині вертикальної поверхні клина; та виконання індикатора у вздовж всієї вертикальної поверхні клина. Отримані значення напружень не перевищують допустимих. Розміщення індикатора на фрикційному клині практично не впливає на розподіл та значення напружень. Максимальні напруження у клині при виконанні індикатора збільшились на 2 МПа.

Запропоновано конструкцію фрикційного клина, що складається: з тіла клина, який на своїй вертикальній поверхні має чотири отвори для встановлення змінної накладки. Завдяки бобишкам змінної накладки вона легко встановлюється та знімається з тіла клина та, за потреби, може бути змінена в умовах експлуатації. Оцінку міцності проведено для двох варіантів змінної накладки: перший – повномірна накладка товщиною 10 мм, другий – знос накладки на 8 мм. Значення еквівалентних напружень, які виникають у тілі фрикційного клина та в змінній накладці при дії навантажень за I розрахунковим режимом, наведені на рис. 1.

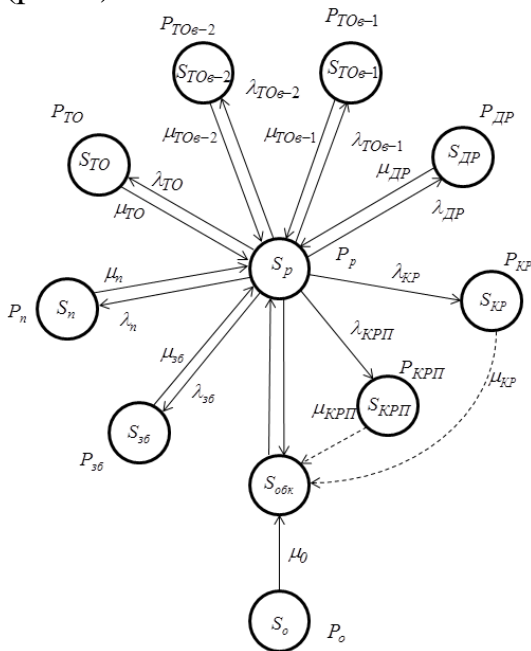


а) тіло фрикційного клина; б) повномірна змінна накладка; в) зношена змінна накладка
Рисунок 1 – Розподіл еквівалентних напружень за I розрахунковим режимом

Максимальні напруження в тілі фрикційного клина за I розрахунковим режимом становлять 104 МПа, а за III – 67 МПа. Максимальні напруження в повномірній змінній накладці, що виникають при дії навантажень за I розрахунковим режимом становлять 59 МПа, за III – 38 МПа, а в зношеній змінній накладці відповідно 110 МПа та 71 МПа.

У четвертому розділі виконано теоретичні дослідження процесу зміни технічного стану вантажних вагонів у експлуатації.

Зміна технічного стану вантажних вагонів у експлуатації відбувається протягом всього терміну існування. Вантажний вагон може перебувати в різних стадіях життєвого циклу та знаходитися у різних станах: у початковій стадії (дослідний зразок, який проходить приймальні випробування та має дослідний пробіг), на стадії підконтрольної експлуатації, на стадії його нормальної експлуатації (вагон знаходиться у справному робочому стані), на технічному обслуговуванні (ТО, ТОВ-1, ТОВ-2), на деповському ремонті (ДР), на капітальному ремонті (КР, КРП), на стадії зберігання, на стадії простоювання (вагон знаходиться у справному неробочому стані). Переходи з однієї стадії життєвого циклу в інші відбуваються стрибкоподібно, тобто таким переходам властивий випадковий процес. Ймовірність перебування вантажного вагона на відповідній стадії життєвого циклу буде визначатися його попереднім технічним станом, а загальна величина сукупності всіх можливих станів складається з ланцюга Маркова для випадкових процесів з випадковими станами і безперервним потоком часу. Перехід з одних технічних станів S_i в інші відбувається під дією відповідних потоків подій, такими подіями є відмови чи/та відновлення (рис.2).



P_o – величина ймовірності перебування вантажного вагона у початковому стані; P_p – величина ймовірності перебування вантажного вагона у робочому стані; P_{TO} – величина ймовірності проведення ТО вантажного вагона; P_{TOs-1} – величина ймовірності проведення ТОВ-1 вантажного вагона; P_{TOs-2} – величина ймовірності проведення ТОВ-2 вантажного вагона; $P_{обк}$ – величина ймовірності перебування на підконтрольній експлуатації; $P_{ДР}$ – величина ймовірності проведення ДР вантажного вагона; $P_{КР}$ – величина ймовірності проведення КР вантажного вагона; $P_{КРП}$ – величина ймовірності проведення КРП вантажного вагона; $P_{зб}$ – величина ймовірності працездатного стану вантажного вагона при збереженні; P_n – величина ймовірності працездатного стану вантажного вагона при простої; λ_i – інтенсивність i -тих потоків відмов; μ_i – інтенсивність i -тих потоків відновлень; $P_i\lambda_i$, $P_i\mu_i$ – потік ймовірності технічного стану вантажного вагона

Рисунок 2 – Розмічений граф технічного стану вантажного вагона

У випадку неусталеного процесу зміни технічного стану вантажного вагона ймовірнісна характеристика відповідної стадії життєвого циклу буде залежати від величини часу, а інтенсивність вхідного і вихідного потоків будуть корелювати між собою, ураховуючи ймовірність перебування вантажного вагона на відповідній стадії його життєвого циклу.

Сама система зміни і переходу технічного стану вантажного вагона відповідно до схеми (рис. 2) може бути описана за допомогою диференціальних рівнянь:

$$\frac{dP_o(t)}{dt} = P_o(t) \mu_o; \quad (1) \quad \frac{dP_{обк}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{обк} - P_{обк}(t) \lambda_{обк}; \quad (2)$$

$$\frac{dP_{ТО}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{ТО} - P_{ТО}(t) \lambda_{ТО}; \quad (3) \quad \frac{dP_{ТО_{\delta-1}}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{ТО_{\delta-1}} - P_{ТО_{\delta-1}}(t) \lambda_{ТО_{\delta-1}}; \quad (4)$$

$$\frac{dP_{ТО_{\delta-2}}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{ТО_{\delta-2}} - P_{ТО_{\delta-2}}(t) \lambda_{ТО_{\delta-2}}; \quad (5) \quad \frac{dP_{ДР}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{ДР} - P_{ДР}(t) \lambda_{ДР}; \quad (6)$$

$$\frac{dP_{КР}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{КР} + P_{обк}(t) \mu_{обк} - P_{обк}(t) \lambda_{обк}; \quad (7) \quad \frac{dP_{КРП}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{КРП} + P_{обк}(t) \mu_{обк} - P_{обк}(t) \lambda_{обк}$$

; (8)

$$\frac{dP_{зб}(t)}{dt} = P_p(t) \mu_{зб} - P_{зб}(t) \lambda_{зб}; \quad (9) \quad \frac{dP_n(t)}{dt} = P_p(t) \mu_n - P_n(t) \lambda_n; \quad (10)$$

Для ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані складено диференціальне рівняння:

$$\begin{aligned} \frac{dP_p(t)}{dt} = & P_p(t) \mu_o + P_{обк}(t) \mu_{обк} + P_{КР}(t) (\mu_{КР} - \lambda_{КР}) + P_{КРП}(t) (\mu_{КРП} - \lambda_{КРП}) + \\ & + P_{ДР}(t) (\mu_{ДР} - \lambda_{ДР}) + P_{ТО}(t) (\mu_{ТО} - \lambda_{ТО}) + P_{ТО_{\delta-1}}(t) (\mu_{ТО_{\delta-1}} - \lambda_{ТО_{\delta-1}}) + \\ & + P_{ТО_{\delta-2}}(t) (\mu_{ТО_{\delta-2}} - \lambda_{ТО_{\delta-2}}) + P_{зб}(t) (\mu_{зб} - \lambda_{зб}) + P_n(t) (\mu_n - \lambda_n). \end{aligned} \quad (11)$$

Після розв'язання системи диференціальних рівнянь (1)-(11) отримана ймовірність перебування вантажного вагона в робочому стані:

$$\begin{aligned} P_p = & \frac{P_o \mu_o^2 t_o - P_{обк} t_{обк} (\mu_{обк} \lambda_{обк} - \mu_{кр} \lambda_{обк} + \lambda_{обк} \lambda_{кр} + \mu_{кр} - \lambda_{кр} + \lambda_{обк} \lambda_{крп} - \mu_{крп} \lambda_{обк} + \mu_{крп} - \lambda_{крп}) -}{2t_p - \mu_{обк}^2 t_{обк} - \mu_{кр} t_{кр} (\mu_{кр} - \lambda_{кр}) - \mu_{крп} t_{крп} (\mu_{крп} - \lambda_{крп})} \\ & \frac{-P_{ТО} \lambda_{ТО} t_{ТО} (\mu_{ТО} - \lambda_{ТО}) - P_{ТО_{\delta-1}} \lambda_{ТО_{\delta-1}} t_{ТО_{\delta-1}} (\mu_{ТО_{\delta-1}} - \lambda_{ТО_{\delta-1}}) - P_{ТО_{\delta-2}} \lambda_{ТО_{\delta-2}} t_{ТО_{\delta-2}} (\mu_{ТО_{\delta-2}} - \lambda_{ТО_{\delta-2}})}{-\mu_{ТО} t_p (\mu_{ТО} - \lambda_{ТО}) - \mu_{ТО_{\delta-1}} t_p (\mu_{ТО_{\delta-1}} - \lambda_{ТО_{\delta-1}}) - \mu_{ТО_{\delta-2}} t_p (\mu_{ТО_{\delta-2}} - \lambda_{ТО_{\delta-2}})} \\ & \frac{-P_{ДР} \lambda_{ДР} t_{ДР} (\mu_{ДР} - \lambda_{ДР}) - P_{зб} \lambda_{зб} t_{зб} (\mu_{зб} - \lambda_{зб}) - P_n \lambda_n t_n (\mu_n - \lambda_n)}{-\mu_{ДР} t_p (\mu_{ДР} - \lambda_{ДР}) - \mu_{зб} t_p (\mu_{зб} - \lambda_{зб}) - \mu_n t_p (\mu_n - \lambda_n)}. \end{aligned} \quad (12)$$

На основі рівняння (12) отримано математичну модель для визначення коефіцієнту технічної готовності вагонного парку (13).

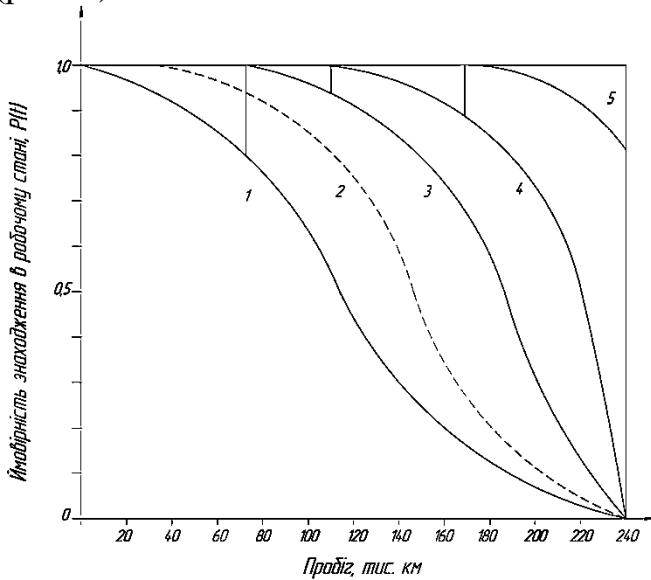
$$\begin{aligned} K_{\Gamma} = & \frac{m}{m_{заг}} \sum_{i=1}^n \frac{P_{oi} \mu_{oi}^2 t_{oi} - P_{обкi} t_{обкi} (\mu_{обкi} \lambda_{обкi} - \mu_{кри} \lambda_{обкi} + \lambda_{обкi} \lambda_{кри} + \mu_{кри} - \lambda_{кри} + \lambda_{обкi} \lambda_{кри} - \mu_{кри} \lambda_{обкi} + \mu_{кри} - \lambda_{кри}) -}{2t_{pi} - \mu_{обкi}^2 t_{обкi} - \mu_{кри} t_{кри} (\mu_{кри} - \lambda_{кри}) -} \\ & \frac{-\mu_{кри} \lambda_{обкi} + \mu_{кри} - \lambda_{кри}) - P_{ТОi} \lambda_{ТОi} t_{ТОi} (\mu_{ТОi} - \lambda_{ТОi}) - P_{ТО_{\delta-1}i} \lambda_{ТО_{\delta-1}i} t_{ТО_{\delta-1}i} (\mu_{ТО_{\delta-1}i} - \lambda_{ТО_{\delta-1}i}) - P_{ТО_{\delta-2}i} \times}{-\mu_{кри} t_{кри} (\mu_{кри} - \lambda_{кри}) - \mu_{ТОi} t_{pi} (\mu_{ТОi} - \lambda_{ТОi}) - \mu_{ТО_{\delta-1}i} t_{pi} (\mu_{ТО_{\delta-1}i} - \lambda_{ТО_{\delta-1}i}) -} \\ & \frac{\times \lambda_{ТО_{\delta-2}i} t_{ТО_{\delta-2}i} (\mu_{ТО_{\delta-2}i} - \lambda_{ТО_{\delta-2}i}) - P_{ДРi} \lambda_{ДРi} t_{ДРi} (\mu_{ДРi} - \lambda_{ДРi}) - P_{збi} \lambda_{збi} t_{збi} (\mu_{збi} - \lambda_{збi}) - P_{ni} \lambda_{ni} t_{ni} (\mu_{ni} - \lambda_{ni})}{-\mu_{ТО_{\delta-2}i} t_{pi} (\mu_{ТО_{\delta-2}i} - \lambda_{ТО_{\delta-2}i}) - \mu_{ДРi} t_{pi} (\mu_{ДРi} - \lambda_{ДРi}) - \mu_{збi} t_{pi} (\mu_{збi} - \lambda_{збi}) - \mu_{ni} t_{pi} (\mu_{ni} - \lambda_{ni})} \end{aligned} \quad (13)$$

де m – кількість вантажних вагонів, що перебувають у справному технічному стані;

i – відповідний вантажний вагон;

$m_{\text{заг}}$ – загальна кількість вагонів вантажного парку.

Відображення перебування вантажного вагона в різних станах, що впливає на робочий стан, наведемо на графіках (рис. 3). Для парку універсальних піввагонів побудовано залежність для коефіцієнта готовності вагона на відповідному пробігу (рис. 4).



1 – перебування у початковій стадії; 2 – на стадії підконтрольної експлуатації; 3 – при проведенні ТОВ-1; 4 – при проведенні ТОВ-2; 5 – при проведенні ДР

Рисунок 3 – Залежності ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані від пробігу

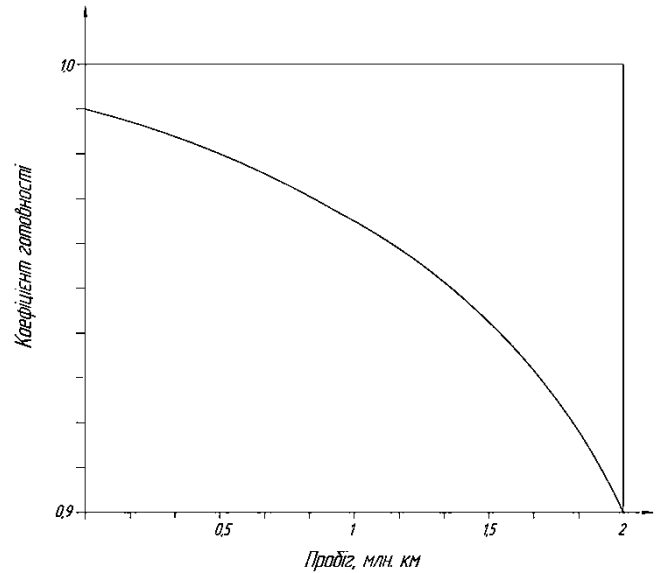


Рисунок 4 – Коефіцієнт технічної готовності парку універсальних піввагонів на відповідному пробігу

Технічний стан вантажного вагона при отриманні інформації при виконанні технічного обслуговування та ремонту. Для окремого елемента вантажного вагона сукупність інформації, отриманої оглядачем чи слюсарем, може бути подана у вигляді вектора окремих параметрів, а для групи елементів вантажного вагона – у вигляді матриці контрольованих параметрів. Кожному контрольованому параметру властива випадкова величина, яка буде змінюватися з часом чи пробігом вантажного вагона, тобто вся сукупність контрольованих параметрів може бути розглянута у вигляді сукупності реалізацій й у вигляді сукупності випадкових функцій, які змінюються з часом. Під час отримання інформації про технічний стан вантажного вагона існує функція розподілу контрольованого параметра у відповідному часовому інтервалі. Для встановлення ваги контрольованого параметра технічного стану вантажного вагона при індикаторному контролі граничних станів його вузлів можна використати залежність:

$$\xi_i = \frac{\varphi_i}{\sum_{i=1}^n \varphi_n}, \quad (14)$$

де φ_i – значущість контрольованого параметра, що отриманий за допомогою певного методу індикаторного контролю граничних станів вузлів вантажних вагонів.

Загальна вага всіх контрольованих параметрів технічного стану вантажних вагонів, що отримані методом індикаторного контролю граничних станів його вузлів та можуть бути взяті до уваги й будуть враховані, дорівнює $\sum \xi_i = 1$.

Оскільки технічний стан вантажного вагона буде постійно змінюватися, тобто буде необхідне проведення технічного обслуговування чи ремонту, то такий стан можна розділити на кілька рівнів, які будуть включати: рівень необхідності проведення технічного обслуговування; рівень необхідності проведення деповського ремонту; рівень необхідності проведення капітального ремонту.

Вирази для ймовірності безвідмовної роботи вантажного вагона в загальному вигляді будуть мати вигляд ($P_{\text{безв}_{ji}} \leq 1$):

$$P_{\text{безв}_{ji}} \leq \prod_{i=1}^n P_{ji} \xi_{ji} + \Delta P_{ji} \xi_{ji}, \quad (15)$$

де P_{ji} – ймовірність безвідмовної роботи вантажного вагона, виявлена на j -му рівні i -м способом індикаторного контролю граничних станів його вузлів;

ΔP_{ji} – вплив непрогнозованих факторів на ймовірність безвідмовної роботи вантажного вагона в межах отриманої інформації на j -му рівні.

Ймовірність безвідмовної роботи вантажного вагона:

$$P(t) = \exp \left(-k_e \int_{t_0}^t D \left[\sum_{i=1}^n z_i \right] dt \right), \quad (16)$$

де z_i – сукупність контрольованих параметрів, що найбільше впливають на технічний стан вантажного вагона на відповідному рівні;

n – кількість контрольованих параметрів;

i – відповідний інформаційний рівень технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів;

k_e – коефіцієнт, що враховує умови роботи вантажних вагонів;

D – вектор або матриця контрольованих параметрів вантажного вагона.

Отримано вирази для ймовірності безвідмовної роботи вантажного вагона:

$$\begin{cases} P_{I\text{безв}} = \prod_{i=1}^{n_i} \exp \left(-k_e \int_{t_0}^t D \left[\sum_{i=1}^n z_{Ii} \right] dt \right) \xi_{Ii} + \Delta P_{Ii} \xi_{Ii}; \\ P_{II\text{безв}} = \prod_{i=1}^{n_i} \exp \left(-k_e \int_{t_0}^t D \left[\sum_{i=1}^n z_{IIi} \right] dt \right) \xi_{IIi} + \Delta P_{IIi} \xi_{IIi}; \\ P_{III\text{безв}} = \prod_{i=1}^{n_i} \exp \left(-k_e \int_{t_0}^t D \left[\sum_{i=1}^n z_{IIIi} \right] dt \right) \xi_{IIIi} + \Delta P_{IIIi} \xi_{IIIi}. \end{cases} \quad (17)$$

де $P_{I\text{безв}}$, $P_{II\text{безв}}$, $P_{III\text{безв}}$ – величина ймовірності безвідмовної роботи вантажного вагона на відповідному рівні.

Основним показником надійності роботи в системі «людина – вантажний вагон» при виконанні технічного обслуговування та ремонту є ймовірність того, що напрацювання на відмову не перевищить заданого тимчасового обмеження.

$$P(T \leq t) = \{P_{\text{ВВ}}(T \leq t) \cdot P_{\text{П}}(T \leq t)\}, \quad (18)$$

де $P_{\text{ВВ}}$ и $P_{\text{П}}$ – значення ймовірностей відмов, які зумовлені надійністю вантажного вагона і впливом помилок оглядачів вагонів відповідно;

T – час роботи вантажного вагона до першої відмови;

t – відрізок часу, протягом якого встановлюють ймовірність відмов вантажного вагона.

Величину ймовірності технологічних помилок (пов'язаних з якістю виготовлення і виконання планових і непланових ремонтів вантажних вагонів у депо, на ВРЗ і ВБЗ, а також якістю підготовки вагона до перевезень на ПТО) $P_{\text{П}}$ можна подати як певну частку загальної ймовірності відмов системи «людина – вантажний вагон» у такому вигляді:

$$P_{\text{П}} = \sum k_{\text{П}} P_p, \quad (19)$$

де $k_{\text{П}}$ – коефіцієнт впливу технічного обслуговування на надійність вантажного вагона.

Зони якісної оцінки ризиків на процеси проведення технічного обслуговування вантажних вагонів можуть бути прийняті за інтерпретацією узагальненою функцією бажаності Харрінгтона для випадку її застосування до вантажних вагонів.

Максимальний усереднений економічний збиток може бути визначено:

$$C_i = \sum_{j=1}^n P_{ij} C_{ij}, \quad (20)$$

де i – певний тип вантажного вагона, $i = 1, 2, 3 \dots$;

P_{ij} – ймовірність виникнення j -го номеру потенційного ризику для i -го вантажного вагона;

j – номер виду ризиків, $j = 1, 2, 3 \dots$;

C_{ij} – економічний збиток від j -го номера виду ризиків для i -го вантажного вагона.

Якість показника безпеки руху поїздів (коефіцієнт зниження показника безпеки руху) оцінюємо у вигляді поправного коефіцієнта $K_{\text{ЗБР}}$, який визначатимемо за відношенням ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані P_p (вираз (12)) і проектної ймовірності безвідмовної роботи вантажного вагона P_0 на відповідному перерізі часу:

$$K_{\text{ЗБР}} = \frac{P_p}{P_0}. \quad (21)$$

Показник, що характеризує дотримання технології проведення робіт з технічного обслуговування вантажних вагонів:

$$T_{\text{ТО}} = \frac{P_{\text{П}}}{n} \sum_{i=1}^n \left(1 - \frac{t_i}{t_{ki}}\right), \quad (22)$$

де t_i – кількість порушень технології робіт i -го технічного обслуговування вантажного вагона;

t_{ki} – кількість параметрів і режимів технологій, яка контролюється при проведенні робіт i -го технічного обслуговування вантажного вагона;

n – кількість технічних обслуговувань вантажного вагона.

Тоді для порівняння проведення технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів за існуючою технологією і за технічним станом, можна отримати оцінку в такому вигляді (індексами існ та тс позначено показники для існуючої

системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів за існуючою технологією та технічним станом):

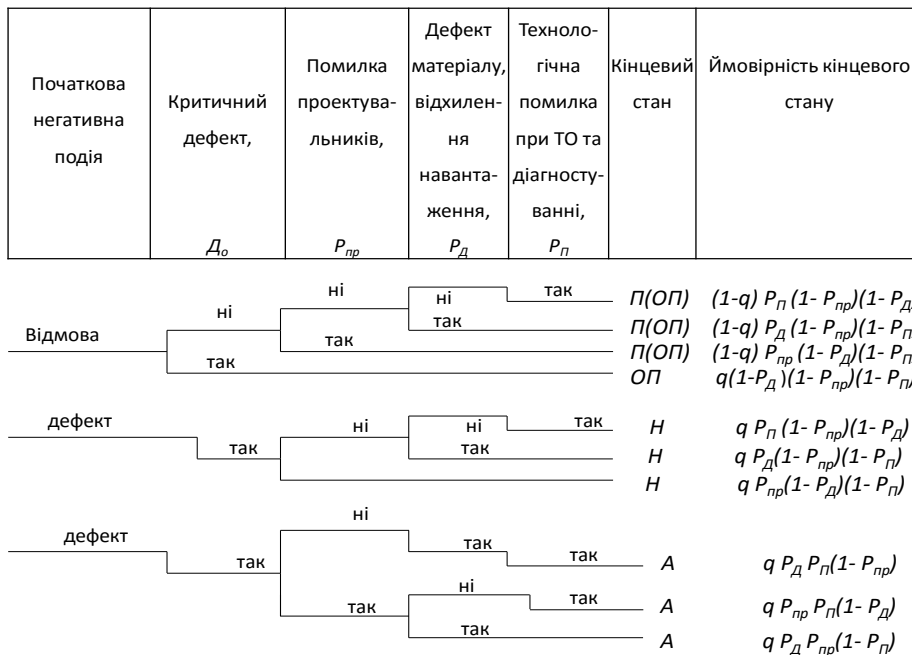
$$O_{TO} = \frac{P_{Пісн}}{P_{Птс}} \sum_{i=1}^n \frac{\left(1 - \frac{t_{iісн}}{t_{kіісн}}\right)}{\left(1 - \frac{t_{iтс}}{t_{kітс}}\right)} \quad (23)$$

Тоді поправний коефіцієнт (21) з урахуванням переходу на систему технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів за технічним станом з урахуванням виразу (23) буде мати такий вигляд:

$$K_{ЗБР} = \frac{P_p P_{Пісн}}{P_0 P_{Птс}} \sum_{i=1}^n \frac{\left(1 - \frac{t_{iісн}}{t_{kіісн}}\right)}{\left(1 - \frac{t_{iтс}}{t_{kітс}}\right)} \quad (24)$$

Отриманий вираз дозволяє здійснити оцінку рівня безпеки руху при переході з існуючої системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів до системи за технічним станом.

Ймовірнісна модель виконання технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів за технічним станом. Використання дерева ймовірностей передбачає деяку умовну ймовірність, що пов'язана з успішним або помилковим виконанням певної технологічної операції з технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів, або ймовірність, яка пов'язана з появою відповідної події. У цьому випадку результат будь-якої події буде зображуватися гілками чи зв'язками дерева ймовірностей. Обчислити повну ймовірність за успішним виконанням певного завдання можна підсумовуванням певних ймовірностей, які будуть відомі для кінцевої точки шляху (у разі успішного результату) на дереві ймовірностей. На рис. 5 представлена модель розвитку ситуації для випадку критичного дефекту вузла вантажного вагона з урахуванням помилок оглядачів та слюсарів вагонів.



Види технічних станів вантажних вагонів такі:
 П – працездатний;
 ОП – обмежено працездатний;
 Н – непрацездатний;
 А – аварійний;
 $P_{пр}, P_D, P_{п}$ – ймовірності відповідних подій.

Рисунок 5 – Модель розвитку ситуації для випадку критичного дефекту вузла вантажного вагона

У розробленій моделі показано три можливі стани: працездатний та обмежено працездатний, непрацездатний і аварійний. Для кожного вихідного стану

характерний розвиток подій, що пов'язаний з помилками проектувальників, з дефектами при виготовленні деталей та вузлів і технологічними помилками при технічному обслуговуванні вагона. Граничний рівень дефектності вузла вантажного вагона з урахуванням технологічних помилок з обмеженням ризику аварії чи транспортної події на залізниці буде визначатися виразом:

$$q_0 = \frac{P_r(A)}{P_D P_{\Pi}(1-P_{\text{пр}}) + P_{\text{пр}} P_{\Pi}(1-P_D) + P_{\text{пр}} P_D(1-P_{\Pi})}, \quad (25)$$

де $P_r(A)$ – ймовірність переходу конструкції, вузла вантажного вагона чи технології та інше в несправний стан різної градації.

При цьому ймовірність відмов через технологічні помилки оглядача при неправильних діях з технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів буде визначатися виразом

$$P_{\text{ТП}} = P_i \prod_{j=1}^n (1 - P_j), \quad i = 1, n; \quad j = 1, m; \quad j \neq i. \quad (26)$$

Значення граничного рівня дефектності дозволяє на різних стадіях життєвого циклу вагона оцінити можливі прояви зниження ймовірності безвідмовної роботи в процесі експлуатації. За результатом розрахунку обирають ті значення граничного рівня дефектності які не виходять за границі встановлених значень та приймають відповідну модель життєвого циклу. На прикладі буксового вузла вантажного вагона значення граничного рівня дефектності рекомендується приймати в межах 2-3 одиниць.

Оцінка міжремонтного ресурсу при переході до системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів за станом. Вираз для оцінки міжремонтного ресурсу вантажних вагонів отримано використовуючи експоненціальний закон розподілу та, урахуваючи перехід до системи технічного обслуговування та ремонту за станом (вираз (23)):

$$\bar{M} = \frac{t e^{-\lambda t} P_{\text{Пісн}}}{\lambda P_{\text{Птс}}} \sum_{i=1}^n \frac{\left(1 - \frac{t_{i\text{існ}}}{t_{k i\text{існ}}}\right)}{\left(1 - \frac{t_{i\text{тс}}}{t_{k i\text{тс}}}\right)}. \quad (27)$$

Побудовано залежності міжремонтного ресурсу універсального піввагона при переході до системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів за станом (рис. 6).

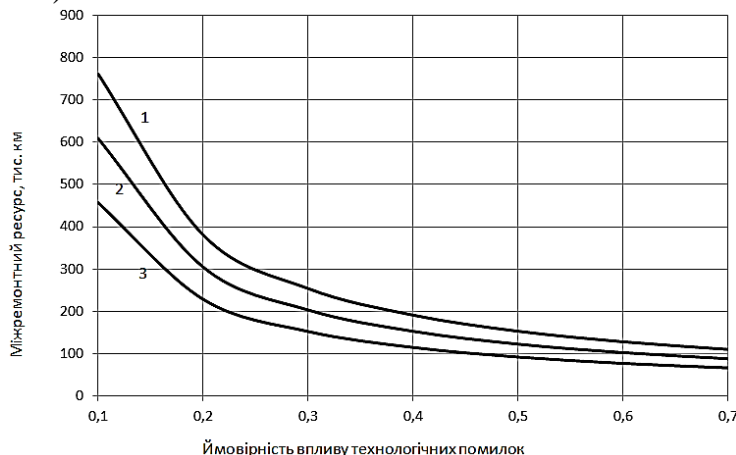


Рисунок 6 – Залежності міжремонтного ресурсу універсального піввагона при переході до системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів за станом від ймовірності впливу технологічних помилок оглядача вагонів

Наведені залежності підтверджують збільшення міжремонтного ресурсу універсального піввагона при переході до системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів за станом у 1,2...2,3 рази.

У п'ятому розділі наведено результати експериментальних досліджень при переході на систему технічного обслуговування та ремонту за технічним станом із застосуванням індикаторного контролю граничних станів вузлів вантажних вагонів.

На дослідній ділянці експлуатації піввагонів було зібрано інформацію про відмови та тривалість відновлення працездатного технічного стану і виконано її статистичну обробку. Експлуатаційні випробування піввагонів проведені на дослідному маршруті «Кривий Ріг – Ужгород – Кошице». Обміри виконувалися під час планових комісійних оглядів. Після огляду вагона на певному пробігу встановлювався відсоток виконання технічного обслуговування. Після обслуговування вагони мають певний пробіг до відмови. Після виникнення будь-якої відмови встановлюється її причина. Залежності ймовірності відмов піввагонів від пробігу наведено на рис. 7.

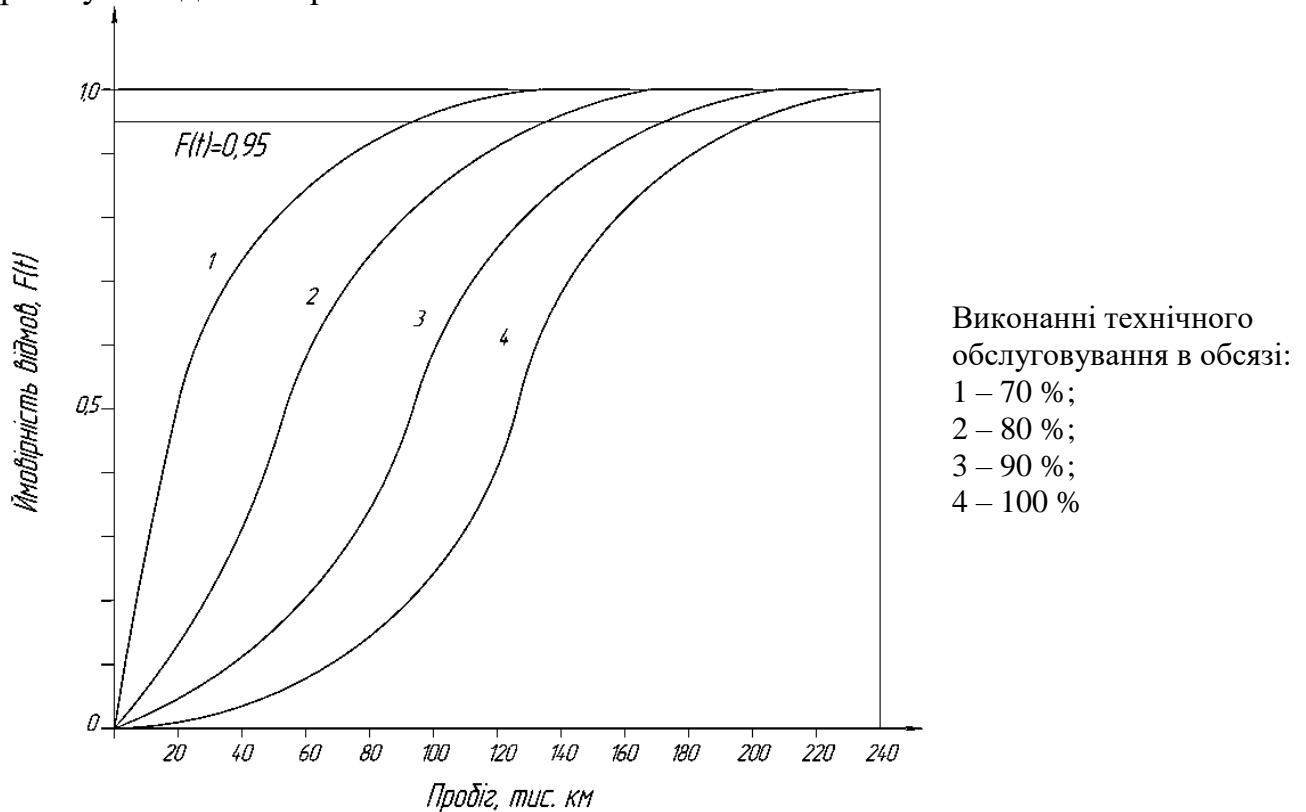


Рисунок 7 – Залежності ймовірності відмов піввагонів від пробігу при виконанні технічного обслуговування

Графічні залежності підтверджують вплив технологічних помилок під час виконання технічного обслуговування та ремонту піввагонів, тобто видно, що обсяг виконаного технічного обслуговування впливає на подальшу експлуатацію піввагонів (пробіг без відмов).

На рис. 8 наведено залежності тривалості відновлення працездатного стану піввагонів при відповідній кількості відмов. Статистичні дані щодо причини відмов були розділені на 2 групи: фізичний знос і технологічні помилки.

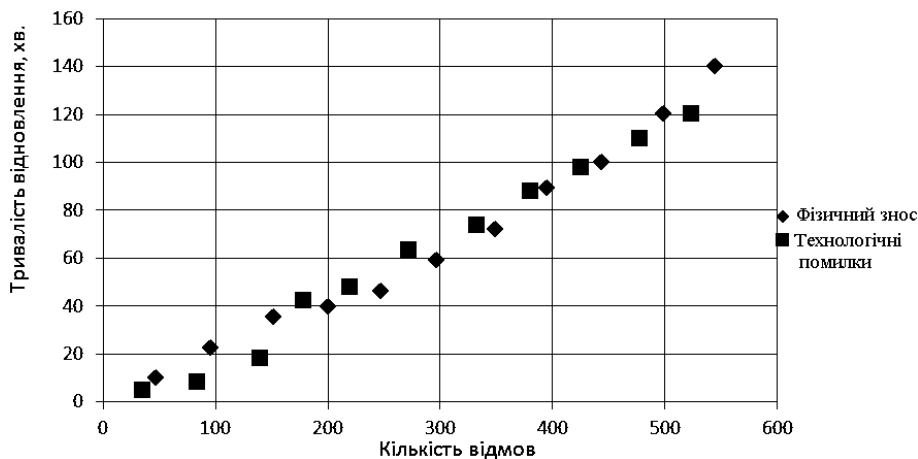
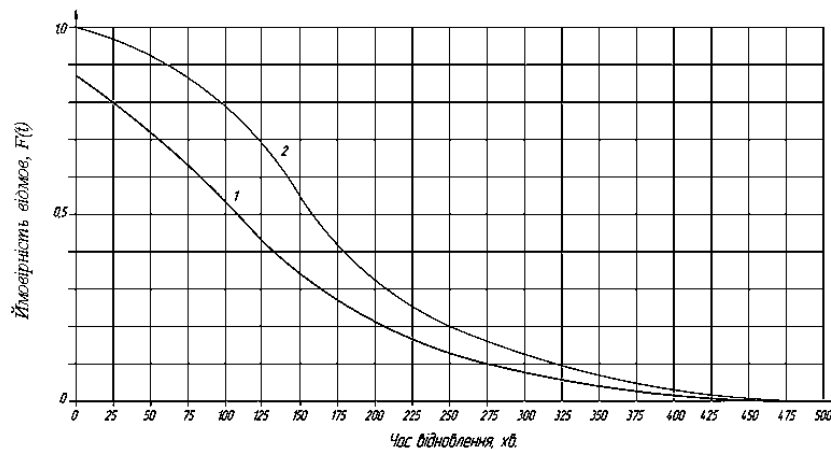


Рисунок 8 – Відмови та тривалість відновлення працездатного технічного стану піввагонів

Отримано залежності ймовірності відмов від часу відновлення працездатного стану піввагонів при виконанні ремонту (рис. 9), що підтверджує значний вплив технологічних помилок оглядачів вагонів при виконанні ремонту піввагонів для відновлення їх працездатного стану, значення яких відрізняються до 38,6 %.



1 – фізичний знос; 2 – технологічні помилки

Рисунок 9 – Залежності ймовірності відмов піввагонів від часу відновлення працездатного стану піввагонів при виконанні ремонту

При проведенні технічного обслуговування із застосуванням індикаторного контролю граничних станів вузлів піввагонів відбувається зниження впливу технологічних помилок на технічний стан, а також знижується трудомісткість робіт. Для випадку мінімального зниження впливу технологічних помилок при виконанні технічного обслуговування піввагонів із застосуванням індикаторного контролю граничних станів вузлів отримано зниження трудомісткості на 25 %.

Розглянуто яким чином при існуючій стратегії технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів розподіляється вантажний парк АТ «Укрзалізниці» (вагони, введені в експлуатацію з 2007 року). Дані з розподілом за рівнями наведено на діаграмі (рис. 10, а). Комісійна оцінка технічного стану піввагонів різних виробників: КВБЗ, Азовмаш та інших, з метою визначення можливості продовження їх терміну експлуатації проводилася при надходженні вагонів до планового ремонту. До складу комісії входили представники ДНУЗТ, заводу-виробника та

АТ «Укрзалізниця». Огляд вагонів проводився на Дарницькому ВРЗ, депо Слов'янськ, депо П'ятихатки та МВРП Вечірній Кут. Наведено діаграму розподілу технічного стану вантажних вагонів при переході до системи технічного обслуговування та ремонту за технічним станом із застосуванням індикаторного контролю граничних станів вузлів (рис. 10, б).

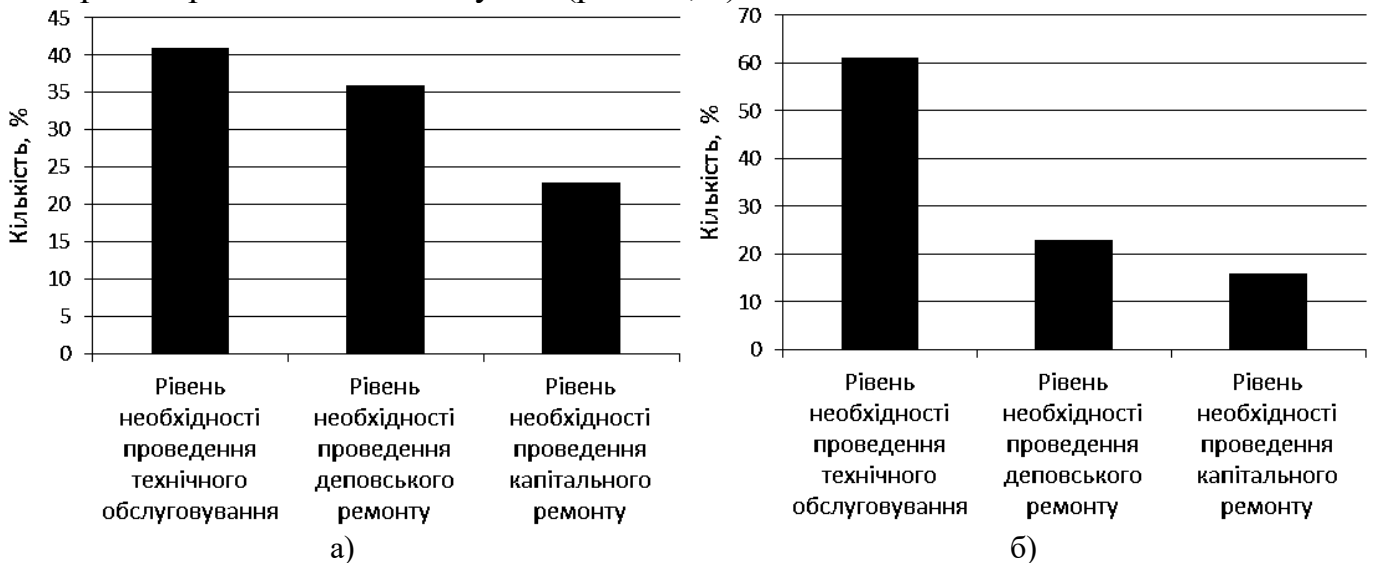
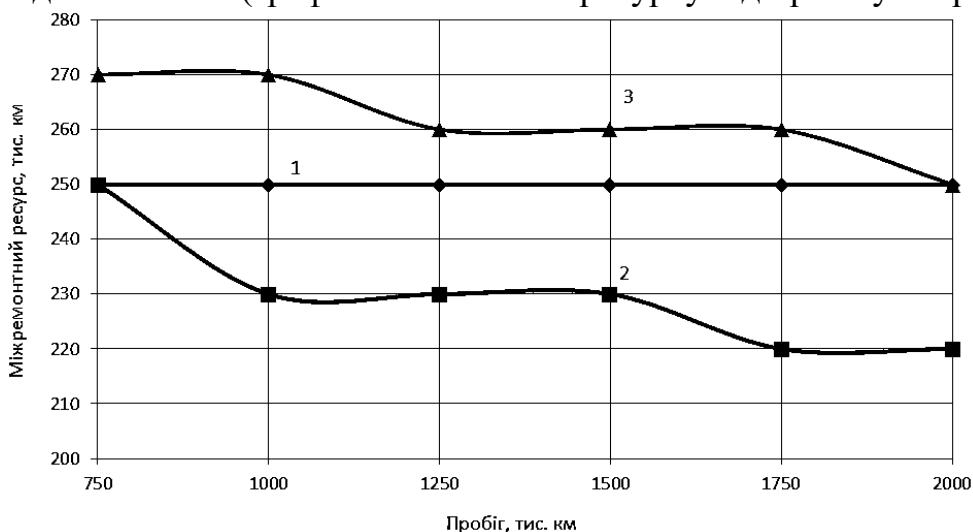


Рисунок 10 – Технічний стан вагонів вантажного парку АТ «Укрзалізниця»

Порівнюючи діаграми, наведені на рис. 10, а та б, можна зробити висновок про перерозподіл технічних дій за рівнями. Так, при переході до системи технічного обслуговування та ремонту за технічним станом із застосуванням індикаторного контролю граничних станів вузлів підвищується загальна потреба у виконанні технічного обслуговування вантажних вагонів на 33 %, при цьому відбувається одночасне зниження загальної потреби у деповському (на 36 %) та у капітальному (на 30 %) ремонті.

Порівняння міжремонтного ресурсу вантажних вагонів при переході до системи технічного обслуговування та ремонту за технічним станом із застосуванням індикаторного контролю граничних станів вузлів, наведемо на прикладі піввагона моделі 12-7023 (графічні залежності ресурсу від пробігу зображені на рис. 11).



1 – нормативно встановлені значення при існуючій системі технічного обслуговування та ремонту; 2 – експлуатаційні дані в існуючій системі технічного обслуговування та ремонту; 3 – при переході до системи технічного обслуговування та ремонту за технічним станом із застосуванням індикаторного контролю граничних станів вузлів

Рисунок 11 – Міжремонтний ресурс піввагона моделі 12-7023 залежно від пробігу

Міжремонтний ресурс піввагона моделі 12-7023 залежно від пробігу в реальних експлуатаційних умовах виявляється нижче до 12 % порівняно з нормативно встановленими значеннями при існуючій системі технічного обслуговування та ремонту. У випадку переходу до системи технічного обслуговування та ремонту за технічним станом із застосуванням індикаторного контролю граничних станів вузлів значення міжремонтного ресурсу для піввагона моделі 12-7023 вище до 7,4 % порівняно з нормативно встановленими значеннями при існуючій системі технічного обслуговування та ремонту та на 7,4...15,4 % порівняно з міжремонтним ресурсом піввагона для реальних експлуатаційних умов.

Техніко-економічне обґрунтування економічної ефективності запропонованих рішень базується на концепції вартості життєвого циклу вагона та визначається для піввагона моделі 12-7023. При переході до системи технічного обслуговування та ремонту за технічним станом із застосуванням індикаторного контролю граничних станів вузлів вантажних вагонів можна досягти зменшення вартості життєвого циклу піввагона моделі 12-7023 на 13,2 тис. грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є закінченою науковою працею, яка містить отримані автором науково обґрунтовані результати. У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання з підвищення ефективності системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів. Загалом по роботі можна зробити такі висновки:

- виконаний аналіз технічного стану вантажних вагонів та системи технічного обслуговування та ремонту показав, що питання оцінки надійності та вдосконалення системи ТОіР вантажних вагонів є актуальним, а його вирішення складним і таким, що вимагає комплексного підходу;

- методологічні засади забезпечення експлуатаційних характеристик вантажних вагонів пов'язані з науковим обґрунтуванням вибору стратегії технічного обслуговування та ремонту, яка враховує фактичний стан вагона, повинна ґрунтуватись на його конструктивних особливостях з підтримуванням показників надійності вагона у встановлених межах та бути економічно вигідною;

- розроблено критерії оцінки технічного стану при переході до системи технічного обслуговування та ремонту за технічним станом із застосуванням індикаторного контролю граничних станів вузлів вантажних вагонів. Заміна інструментального контролю на індикаторний дозволяє скоротити час технічного обслуговування вагонів.

У результаті теоретичних та експериментальних досліджень процесу зміни технічного стану вантажних вагонів у експлуатації:

- запропоновано метод оцінки дефектності вузлів вантажних вагонів на основі моделі розвитку ситуації для випадку критичного дефекту, що дозволяє підвищити їх надійність та безпеку руху. У розробленій моделі показано три можливі стани: працездатний та обмежено працездатний, непрацездатний і аварійний. Для кожного вихідного стану характерний розвиток подій, що пов'язаний з помилками проектувальників, з дефектами при виготовленні деталей та вузлів і технологічними помилками при технічному обслуговуванні вагона. Значення граничного рівня

дефектності дозволяє на різних стадіях життєвого циклу вагона оцінити можливі прояви зниження ймовірності безвідмовної роботи в процесі експлуатації.

– розроблено математичну модель оцінки міжремонтного ресурсу вантажного вагона, що дозволяє визначити його ресурс з урахуванням дотримання технології технічного обслуговування вагона в експлуатації. Ймовірність перебування вантажного вагона на відповідній стадії життєвого циклу визначається його попереднім технічним станом, а загальна величина сукупності всіх можливих станів складається з ланцюга Маркова для випадкових процесів з випадковими станами і безперервним потоком часу. Використавши вираз для знаходження ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані отриманого на основі розміченого графу технічного стану вантажного вагона, уточнено вираз для коефіцієнта технічної готовності вагонного парку.

– набув подальшого розвитку метод порівняння систем технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів за існуючою технологією і за технічним станом, що, на відміну від існуючого, містить параметри, режими й враховує порушення технології виконання робіт з технічного обслуговування вантажного вагона;

– набув подальшого розвитку метод оцінки якості показника безпеки руху, що містить поправний коефіцієнт, який визначається відношенням ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані й проектної ймовірності безвідмовної роботи вантажного вагона на відповідному відрізку часу, що, на відміну від існуючого, дозволяє виконати оцінку рівня безпеки руху при переході від існуючої системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів до системи за технічним станом.

– виконані експериментальні дослідження процесу зміни технічного стану вантажних вагонів у експлуатації показали, що при переході до системи технічного обслуговування та ремонту за технічним станом із застосуванням індикаторного контролю граничних станів вузлів на 33 % зростає загальна потреба у виконанні технічного обслуговування вантажних вагонів з одночасним зниженням загальної потреби у деповському (на 36 %) та капітальному (на 30 %) ремонті. Виявлено, що міжремонтний ресурс піввагона моделі 12-7023 залежно від пробігу в реальних експлуатаційних умовах виявився нижчим до 12 % порівняно з нормативно встановленими значеннями при існуючій системі технічного обслуговування та ремонту. В разі переходу до системи технічного обслуговування та ремонту за технічним станом із застосуванням індикаторного контролю граничних станів вузлів значення міжремонтного ресурсу для піввагона моделі 12-7023 вище до 7,4 % порівняно з нормативно встановленими значеннями при існуючій системі технічного обслуговування та ремонту й на 7,4...15,4 % порівняно з міжремонтним ресурсом піввагона для реальних експлуатаційних умов.

– виконане техніко-економічне обґрунтування переходу до системи технічного обслуговування та ремонту за технічним станом із застосуванням індикаторного контролю граничних станів вузлів вантажних вагонів показало доцільність такого переходу, що підтверджується зменшенням вартості життєвого циклу піввагона моделі 12-7023 на 13,2 тис. грн.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ І РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНО
У наукових фахових виданнях, затверджених МОН України, що входять до наукометричних баз даних

1. Бабаєв А. М., Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю. Удосконалення вузла передачі стоянкового гальма вантажного вагона // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2013. Вип. 139. С. 94-98.
2. Бубнов В. М., Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Манкевич М. Б. Особливості технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів з підвищеними показниками надійності // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2016. Вип. 160. С.11-17.
3. Мурадян Л. А., Бабаєв А. М., Шапошник В. Ю., Мищенко А. А. Об опыте применения профиля ДИИТ-УЗ в модернизированных тележках грузовых вагонов // Збірник наукових праць / Держ. ун-т інфраструктури та технологій. - Київ : Вид. ДУІТ, 2018. - Вип. 32. Т 1: Транспортні системи і технології. - С. 45-54.
4. Мурадян Л. А., Подосьонов Д. О., Шапошник В. Ю. Залежність величини зносу пари тертя «п'ятник – підп'ятник» від пробігу вантажного вагона // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2017. № 6(72). С. 61-69.
5. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю. Автоматична ідентифікація окремих частин транспортного засобу при впровадженні нових концепцій системи технічного обслуговування та ремонту // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2017. №4. С. 44-50.
6. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Мищенко А. А. Методологические основы определения эксплуатационных характеристик несамоходного подвижного состава // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2016. № 1(61). С. 169-179.
7. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Подосенев Д. О. Повышение надежности грузовых вагонов с применением новых технологий изготовления и восстановления рабочих поверхностей // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті : науково-технічний журнал. 2016. № 11. С. 49-54.
8. Шапошник В. Ю. Результати експериментальних досліджень процесу зміни технічного стану вантажних вагонів в експлуатації // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті : науково-технічний журнал. 2018. Ном. 15. С. 105–109.
9. Шапошник В. Ю. Нові стратегії технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів // Електромагнітна сумісність та безпека на залізничному транспорті : науково-технічний журнал. 2017. Ном. 13. С. 88–94.
10. Shaposhnyk V. Y. Theoretical studies on the process of change of the technical condition of freight cars in operation // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2018. № 4 (76). С. 134–141.
11. Shaposhnyk V. Y. Human factor influence on performing technical maintenance and repair of freight cars // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського

національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2018. № 6 (78). С. 165–175.

У наукових фахових виданнях, затверджених МОН України

12. Испытания перспективных тормозных колодок на железных дорогах Украины / Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Винстрот Б. У., Муковоз С. П. // Локомотив информ. 2015. №7-8.С.20-22.

Праці апробаційного характеру

13. Мурадян Л. А., Шатунов О. В., Міщенко А. А., Шапошник В. Ю. Визначення сили натиснення гальмових колодок та зважування пасажирських вагонів / Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : тези доп. 74 Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 15-16 трав. 2014 р.) // Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - Дніпропетровськ, 2014. С. 59-60.

14. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю. Результаты випробувань гальмової колодки Собга ТГ типу V641-PV виробництва Reps США / Проблемы и перспективы развития железнодорожного транспорта : тез. докл. 75 Междунар. науч.-практ. конф. (Днепропетровск, 14-15 мая 2015 г.) // Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, Восточноукр. науч. центр, Укртранскад. 2015. С. 52-53.

15. Бабаєв А. М., Шапошник В. Ю. Гальмова колодка з маркерами зносу / Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : тези доп. 76 Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 19-20 трав. 2016 р.) // Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - Дніпропетровськ, 2016. С. 26-27.

16. Мямлін С. В., Шапошник В. Ю. Развитие системы ремонта вантажних вагонів на залізницях України / Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : тези доп. 76 Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпропетровськ, 19-20 трав. 2016 р.) // Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. Дніпропетровськ. 2016. С. 40-41.

17. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Міщенко А. А. Дослідження показників надійності піввагонів моделі 12-1905 на візках 18-1711 в експлуатації / Проблеми и перспективы развития железнодорожного транспорта : тез. докл. 77 Междунар. науч.-практ. конф. (Днепр, 11-12 мая 2017 г.) // Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, Восточноукр. науч. центр, Укртранскад. Днепр., 2017. С. 41-43.

18. Шапошник В. Ю. Діагностика вантажних вагонів в експлуатації / Проблеми и перспективы развития железнодорожного транспорта : тез. докл. 78 Междунар. науч.-практ. конф. (Днепр, 17-18 мая 2018 г.) // Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна. Днепр. 2018. С. 54-55.

19. Кирильчук О. А., Шапошник В. Ю. Составний фрикційний клин трьохелементного візка / Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту : тези доп. 79 Міжнар. наук.-практ. конф. (Дніпро, 16-17 трав. 2019 р.) // Дніпровський нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. - Дніпро, 2019. С. 51-52.

20. Мурадян Л. А., Мямлин С. В., Шапошник В. Ю. Определение стратегии технического обслуживания и ремонта вагонной техники // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. Материалы седьмой Всероссийской научно-технической конференции. Иркутск.2016. С. 369-373.

21. Проблеми існуючої системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів в Україні / С. В. Мямлін, та ін./ Проблеми механіки залізничного

транспорту. Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу та енергозбереження : тези доп. XIV Міжнар. конф. // Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. В. Лазаряна, Ін-т техн. мех. НАН України і нац. косміч. агенства України, НВП Укртранскад. – Дніпропетровськ. 2016. С. 89-91.

22. Шапошник В. Ю. Міжремонтний ресурс вантажних вагонів / «Вагони нового покоління: із ХХ в ХХІ сторіччя» : тези доп. II Всеукраїнської конференції (Харків, 23-25 квітня 2019 р.) // Український державний університет залізничного транспорту. - Харків, 2019. С. 23-24.

Додаткові наукові праці які відображають результати дисертації

23. Бабаєв А. М., Шапошник В. Ю. Візуальний контроль граничних зносів вузлів вагонів // Залізничний транспорт України. Науково-практичний журнал. 2017. №2. С. 32-38.

24. Кирильчук О. А., Шапошник В. Ю. Теоретичні дослідження міцнісних якостей модернізованих фрикційних клинів візків вантажних вагонів // Залізничний транспорт України : науково-практичний журнал. - 2019. - № 2. - С. 41-50.

25. 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.

26. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю. К вопросу о планах испытаний надежности механических систем // Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2015. № 157 С. 119-128.

27. 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.

28. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Мищенко А. А. Опытные маршруты ДИИТ-УЗ: «Опытная эксплуатация – научные обоснования – массовое внедрение» // Вагонный парк. 2016. № 5–6 (110-111). С. 57–59.

29. Буксовий вузол з температурним індикатором / А. С. Мацюк, А. А. Міщенко, С. М. Оберняк, В. Ю. Шапошник : пат. 119461 Україна. МПК В61F 15/00, В61К 9/06. № u 2017 03484 ; заявл. 10.04.2017 ; опубл. 25.09.2017, Бюл. № 18.

30. Шток поршня циліндра / В. Ю. Шапошник, А. С. Мацюк, С. М. Оберняк, М. В. Кліменок, А. А. Міщенко, К. В. Козловець: пат. 118741 Україна. МПК В60Т 17/08, F15В 15/00, F15В 15/28. № u 2017 01814 ; заявл. 27.02.2017 ; опубл. 28.08.2017, Бюл. № 16.

31. Гальмова колодка залізничного рухомого складу / А. М. Бабаєв, В. Ю. Шапошник : пат. 102701 Україна. МПК F16D 65/04, В61Н 1/00. № u 2015 05423 ; заявл. 02.06.2015 ; опубл. 10.11.2015, Бюл. № 21.

32. 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.

АНОТАЦІЯ

Шапошник В. Ю. Підвищення ефективності системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 «Рухомий склад залізниць та тяга поїздів». – Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, Дніпро, 2019.

Дисертація присвячена проблемі підвищення ефективності системи технічного обслуговування та ремонту вантажних вагонів шляхом переходу до системи ремонту за технічним станом. Розглянуто доцільність додаткової оцінки технічного стану вузлів і деталей вагона індикаторними засобами діагностування.

Розглянуто зміни технічного стану вантажних вагонів, отримано залежність ймовірності перебування вантажного вагона в робочому стані протягом життєвого циклу.

Встановлено, що при переходу до системи технічного обслуговування та ремонту за технічним станом потреба у виконанні технічного обслуговування вантажних вагонів підвищується на 33 % з одночасним зниженням загальної потреби у деповському ремонті на 36 % та з капітальному ремонті на 30 %.

Досліджено міжремонтний ресурс піввагона моделі 12-7023 який виявляється нижчим до 12 % порівняно з нормативно встановленими значеннями. У випадку переходу до системи технічного обслуговування та ремонту за технічним станом із застосуванням індикаторного контролю значення міжремонтного ресурсу для піввагона моделі 12-7023 вище до 7,4 %.

Використання запропонованих рішень дозволяє зменшити вартість життєвого циклу піввагона моделі 12-7023 на 13,2 тис. грн.

Ключові слова: система технічного обслуговування та ремонту, індикаторні засоби діагностування, міжремонтний ресурс, показники надійності, вантажний вагон

АННОТАЦИЯ

Шапошник В. Ю. Повышение эффективности системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 «Подвижной состав железных дорог и тяга поездов». – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, Днепр, 2019.

Диссертация посвящена проблеме повышения эффективности системы технического обслуживания и ремонта грузовых вагонов путем перехода к системе ремонта по техническому состоянию. Рассмотрена целесообразность дополнительной оценки технического состояния узлов и деталей вагона индикаторными средствами диагностирования.

Рассмотрены изменения технического состояния грузовых вагонов, получена зависимость вероятности пребывания грузового вагона в рабочем состоянии в течение жизненного цикла.

Установлено, что при переходе к системе технического обслуживания и ремонта по техническому состоянию потребность в выполнении технического обслуживания грузовых вагонов повышается на 33 % с одновременным снижением общей потребности в деповском ремонте на 36% и капитальном ремонте на 30 %.

Определено, что межремонтный ресурс полувагона модели 12-7023 оказывается ниже до 12 % по сравнению с нормативно установленными значениями. В случае перехода к системе технического обслуживания и ремонта по техническому состоянию с применением индикаторного контроля значение межремонтного ресурса для полувагона модели 12-7023 выше до 7,4 %.

Использование предложенных решений позволяет уменьшить стоимость жизненного цикла полувагона модели 12-7023 на 13,2 тыс. грн.

Ключевые слова: система технического обслуживания и ремонта, индикаторные средства контроля, межремонтный ресурс, показатели надежности, грузовой вагон

ABSTRACT

Shaposhnyk V. Yu. Improving the efficiency of the system of maintenance and repair of freight wagons. - Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences on the specialty 05.22.07 – Rolling stock of railways and traction of trains - Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, 2019.

The dissertation is devoted to the problem of improving the efficiency of the system of maintenance and repair of freight wagons, by moving from the operating system of planned repairs to the repair system in a condition that allows taking into account the real need for repair of freight cars. The expediency of an additional assessment of the technical condition of the units and parts of the vehicle by means of diagnostic means is considered.

In the first chapter the analysis of the technical condition of the park and the failures of freight cars of Ukraine was conducted. The review and analysis of scientific sources and professional literature concerning the topic of the dissertation research confirms that the issue of improving the system of maintenance and repair of freight wagons (hereinafter - MRFW) is relevant.

Analysis of the development of the system of maintenance and repair system of freight cars on the Ukrainian railways showed that it constantly evolved and varied depending on the conditions of operation and its intensity. The experience of the railways of America and Europe shows that there is no single system of maintenance and repair freight cars, even within the same country, railway companies apply different concepts of systems.

The criteria for assessing the technical condition of freight wagons in operation and during repair is substantiated.

The current direction of evaluation of the technical condition is indicative control. Various performance wear and tear indicators are used in such crucial parts as friction wedge, adapter, slider, wheel, brake pad. The use of indicators minimizes the human factor in determining the wear units and parts of the wagon, shortening the time of technical maintenance of cars at the maintenance park, allows you to get around the car inspectors without the use of measuring instruments and templates.

The probability of finding a freight wagon in the corresponding life cycle will be determined by its previous technical condition, and the total magnitude of the set of all possible states consists of a Markov chain for random processes with random states and a continuous flow of time.

As a result of theoretical studies, the dependence of the probability of finding a freight wagon in working condition during the life cycle was obtained. On the basis of the obtained expression for the probability of finding a freight wagon in working condition, the expression for the coefficient of technical readiness of the car park is specified. Since the technical condition of the freight wagon is constantly changing, that is, maintenance or repair will be necessary, then this state can be divided into several levels, which will include: the level of maintenance required; the level of the need for ongoing repair; the level of the need for major repairs. For the proposed levels, the expressions for the probability of failure-free operation of the freight wagon in general form are taken, which takes into account the probability of failure-free operation of the freight wagon at the appropriate level with the help of indicator control boundary states of nodes.

The interpretation of Harrington's desirability function for the case of application to freight cars is given.

It is proposed to assess the quality of the train safety index in the form of correction factor, which is determined by the ratio of the probability of finding a freight wagon in working condition and the design probability of failure-free operation of the freight wagon at the appropriate time interval.

In addition, theoretically, an estimate was given to the inter-repair resource of freight wagons with the suggestion of an expression for its evaluation.

Presented the results of experimental studies in the transition to the system of maintenance and repair on the technical condition with the use of indicator control of the boundary states of the units of freight cars.

When applying the indicator control of the limiting states of the units of the gondola there is a reduction of the influence of the human factor on the technical condition during conducting the system of maintenance and repair.

In the transition to the system of technical power of the state with the use of indicator control of the boundary states of the nodes, the total volume of work on the maintenance of freight wagons is increased by 33 %, while there is a simultaneous decrease in the total volume of work on depot (by 36 %) and overhaul (by 30 %).

Comparing the inter-repair resource of the semi-trailer 12-7023, depending on the run in real operating conditions, is lower by 12 % compared to the prescribed values under the existing system of maintenance and repair.

In the event of a transition to a system of maintenance and repair on a technical condition with the use of indicator control of the boundary states of nodes, the value of the inter-repair resource for the gondola 12-7023 is higher by 7,4 % compared with the normative values established under the existing system of maintenance and repair.

In the transition to a system of maintenance and repair on a technical condition with the use of indicator control of the boundary states of the units of freight cars, it is possible to achieve a reduction in the cost of the lifecycle of the gondola 12-7023 by 13,2 thousand UAH.

Шапошник Владислав Юрійович

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО
ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Підписано до друку «11» листопада 2019 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Ум. др. арк. 0,9.
Тираж 100 примірників

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.