


Міністерство освіти і науки України
Український державний університет залізничного транспорту

ШОВКУН ВАДИМ ОЛЕКСАНДРОВИЧ



УДК 629.4.027.11.001.24

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ДОВГОВІЧНОСТІ
БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі вагонів Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор
Мартинів Ігор Ернстович,
Український державний університет залізничного транспорту, кафедра вагонів, завідувач кафедри.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Кельріх Мусій Борисович,
Державний університет інфраструктури та технологій, професор кафедри вагонів та вагонного господарства;

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

Донченко Анатолій Володимирович,
Державне підприємство "Український науково-дослідний інститут вагонобудування", провідний науковий співробітник.

Захист відбудеться "26" *червня* 2019 р. об 13³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Українського державного університету залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий "___" *травня* 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



А. В. Прохорченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Залізниця є головною транспортною артерією України. Саме залізничний транспорт виконує 82,9 % вантажо- та 36,4 % пасажирообігу в Україні, на відміну від країн Європейського Союзу, де частка залізничних перевезень складає близько 8 %.

Безпека перевезень є пріоритетним напрямком діяльності залізниць. Її забезпечення залежить від злагодженої роботи всіх структурних підрозділів, але, з урахуванням масовості парку вантажних вагонів, їх надійна робота є одним з найважливіших чинників, що впливає на ефективність функціонування залізничного транспорту.

Одним з відповідальних елементів конструкції вантажного вагона є буксові вузли з роликівими підшипниками. Як свідчить багаторічний досвід експлуатації парку вантажних вагонів, саме буксові вузли через надмірний нагрів за період 1995-2017 рр. спричинили 3066 випадків відчеплень вагонів на шляху прямування. При цьому додатково приладами дистанційного контролю технічного стану колісних пар та оглядачами вагонів за зовнішніми ознаками виявлено значну кількість буксових вузлів у передвідмовному стані, які створювали загрозу безпеці руху (2014 р. – 1109, 2015 р. – 1538, 2016 р. – 1571, 2017 р. – 1542 випадки відповідно).

На українських залізницях в буксових вузлах вагонів вже понад 60 років використовуються циліндричні роликіві підшипники. Визначення їх довговічності виконувались за методиками, запропонованими ще у першій половині ХХ сторіччя. Недосконалість існуючих методів розрахунку призвела до суттєвих похибок при визначенні показників надійності буксових вузлів і розбіжності з результатами експлуатації. Це унеможливило збільшення терміну служби буксових підшипників для інноваційних вагонів до 1 млн. км, як того вимагає "Комплексна програма оновлення залізничного рухомого складу України на 2008-2020 роки".

Останніми роками широкого розповсюдження у рухомому складі на залізницях США, Австралії, Південно-Східної Азії та деяких країн Європейського Союзу набули буксові підшипникові вузли касетного типу. Вони можуть бути обладнані дворядними конічними підшипниками (ТВU) або здвоєними циліндричними (СВU). Перевагою таких підшипникових вузлів є збільшений ресурс (не менше 800 тис. км пробігу). Крім того, вони мають меншу масу, підвищену вантажопідйомність та не потребують під час експлуатації проведення проміжних або повних ревізій.

Але при розрахунку довговічності таких буксових підшипників використовуються загальні пересічні навантаження. Причому припускається, що навантаження мають детермінований характер, хоча процес навантаження являє собою випадковий процес, характеристики якого залежать від багатьох чинників та змінюються в часі.

Тому тема дисертації, що спрямована на розв'язання науково-прикладного завдання вдосконалення методів оцінки довговічності буксових

підшипників вантажних вагонів, є важливою й актуальною та має вагоме значення для підвищення ефективності роботи залізниць України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана згідно з "Комплексною програмою оновлення залізничного рухомого складу України на 2008 – 2020 роки" (затверджена Наказом Міністра транспорту та зв'язку України від 14 жовтня 2008 р. № 1259), науково-дослідними роботами "Проведення експлуатаційних випробувань буксових вузлів колісних пар, обладнаних циліндричними підшипниками касетного типу СВУ (здвоєний), аналіз результатів випробувань та надання рекомендацій щодо подальшого використання" (ДР № 0112U007564), "Дослідження технічного стану циліндричних підшипників букс вантажних вагонів, в яких використовується мастило ЗУМ, після нагріву в експлуатації, встановлення причин можливого надмірного нагріву та розробка рекомендацій щодо подальшої експлуатації" (ДР № 0116U005700), "Розробка програми-методики проведення експлуатаційних випробувань та нормативно-технічної документації з монтажу та технічного обслуговування буксових вузлів колісних пар вантажних вагонів, обладнаних підшипниками СВУ" (ДР № 0112U0075643580).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є удосконалення методів оцінки довговічності буксових вузлів вантажних вагонів шляхом урахування їх фактичної завантаженості в залежності від імовірнісного характеру діючих навантажень та швидкостей руху.

Поставлена мета визначила такі основні задачі досліджень:

- провести аналіз наукових публікацій, присвячених теоретичним та експериментальним дослідженням експлуатаційних характеристик буксових вузлів вантажних вагонів, визначенню причин їх недостатньої надійності;
- сформулювати методи визначення показників безвідмовності буксових вузлів вантажних вагонів на стадії проектування з урахуванням імовірнісного характеру діючих навантажень;
- запропонувати наукові підходи визначення вимірності простору допустимих станів для буксових вузлів вантажних вагонів;
- побудувати скінченноелементні розрахункові моделі буксових вузлів вантажних вагонів різних типів та визначити "простір допустимих станів";
- сформулювати імітаційну модель "вагон-залізнична колія" та виконати моделювання динамічного процесу навантаження буксового вузла напіввагона в різних режимах експлуатації;
- провести імовірнісний аналіз двовимірного випадкового процесу навантаження буксового вузла напіввагона, визначити його основні характеристики та перевірити адекватність отриманих результатів шляхом порівняння з результатами ходових динамічних випробувань існуючих напіввагонів;
- визначити показники надійності буксових вузлів та обґрунтувати можливість подовження ресурсу буксових підшипників з урахуванням імовірнісного характеру діючих навантажень.

Об'єкт дослідження – процес функціонування буксових підшипникових

вузлів вантажних вагонів.

Предмет дослідження – методи оцінки ресурсу буксових підшипників вантажних вагонів.

Методи дослідження. Поставлені в дисертаційній роботі задачі вирішувались із застосуванням сучасних наукових методів теорії ймовірностей, теорії надійності та математичної статистики. При побудові розрахункових моделей міцності буксових вузлів використовувались методи теоретичної та будівельної механіки. Дослідження напружено-деформованого стану елементів буксових підшипникових вузлів проводилось за допомогою теорії пружності та методу скінченних елементів (МСЕ). При створенні імітаційної моделі використовувався програмний комплекс "УМ Универсальный механизм". Показники безвідмовності підшипникових вузлів обчислювались за результатами експлуатаційних випробувань вагонів у дослідному маршруті ДП "Укрзалізниця" Роковата – Ужгород.

Наукова новизна одержаних результатів. У дисертаційній роботі вирішено наукове завдання удосконалення методів оцінки довговічності буксових вузлів вантажних вагонів шляхом урахування їх фактичної завантаженості в залежності від імовірнісного характеру діючих навантажень та швидкостей руху. Це дозволило з більшою точністю вже на стадії проектування вантажних вагонів прогнозувати ресурс буксових вузлів та забезпечити підвищення ефективності використання вагонного парку.

Вперше:

- запропоновано наукові підходи визначення вимірності простору допустимих станів буксових підшипників шляхом визначення чинників, що мають найбільш важливе значення для визначення " простору допустимих станів";
- визначено межі критичних навантажень буксового вузла вантажного вагона за умови сумісної дії радіальних та осьових сил, в результаті дії яких буде відбуватися руйнування буксових підшипників;
- науково обґрунтовано можливість подовження ресурсу буксових підшипників з урахуванням імовірнісного характеру діючих навантажень.

Удосконалено:

- розрахункова модель для оцінки показників безвідмовності буксових підшипникових вузлів вантажних вагонів, яка, на відміну від існуючих, враховує імовірнісний характер радіальних та осьових сил, діючих на буксові підшипники.

Отримали подальший розвиток:

- імітаційна модель "напіввагон-залізнична колія", яка дозволяє формувати динамічні процеси навантаження елементів конструкції напіввагона з урахуванням характеристик колії та вагона з метою визначення рівня завантаженості буксових вузлів у довільний момент часу;
- методи оцінки довговічності елементів буксових вузлів з урахуванням імовірнісного характеру діючих навантажень;
- процедура визначення імовірності безвідмовності буксових підшипникових вузлів вантажних вагонів на стадії проектування з урахуванням

імовірнісного характеру діючих навантажень.

Практичне значення одержаних результатів. Практичні результати роботи полягають у тому, що вирішення питання удосконалення методів оцінки довговічності буксового вузла дозволить збільшити міжремонтний пробіг вантажних вагонів.

Результати роботи впроваджені на АТ "Крюківський вагонобудівний завод" при проектуванні ходових частин інноваційних вагонів, а також у навчальному процесі підготовки бакалаврів та магістрів спеціальності "Залізничний транспорт" освітньої програми "Вагони та вагонне господарство" Українського державного університету залізничного транспорту при вивченні дисциплін "Вагони (конструювання та розрахунки)", "Надійність та технічна діагностика залізничного рухомого складу", "Актуальні проблеми динаміки, проектування та розрахунку нових конструкцій вагонів".

Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами впровадження, які наведені в додатках до дисертаційної роботи.

Особистий внесок здобувача. Наукові положення, результати досліджень, які виносяться на захист, проводились в Українському державному університеті залізничного транспорту. У роботах, які опубліковані у співавторстві, здобувачу належить: [3, 9, 12] – аналіз розрахунку напружено-деформованого стану буксового вузла вантажного вагона; [4] – аналіз перспективних конструкцій буксових вузлів; [5, 6, 10] – розроблення моделі міцності касетного підшипника буксового вузла вантажного вагона; [8] – побудова імітаційної моделі "вагон-залізнична колія"; [16] – аналіз результатів експлуатаційних випробувань буксових вузлів вантажних вагонів; [7, 11] – оцінка показників надійності буксових вузлів вантажних вагонів; [13] – визначення меж простору допустимих станів буксового вузла вантажного вагона.

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися й отримали схвалення на таких конференціях:

- XLIV науково-практичній конференції молодих учених, аспірантів і студентів "Сучасні проблеми залізничного транспорту" (Україна, м. Київ, 2014 р.);
- VI Міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології" (Україна, м. Київ, 2013 р.);
- V Міжнародній науково-практичній конференції "Інноваційні технології на залізничному транспорті" (Англія, м. Лондон, 2014 р.);
- 76-й Міжнародній науково-технічній конференції кафедр УкрДАЗТ і фахівців залізничного транспорту (Україна, м. Харків, 2014 р.);
- III науково-технічному семінарі "Компьютерное моделирование в железнодорожном транспорте: динамика, прочность, износ" (Росія, м. Брянськ, 2016 г.);

- VII Міжнародній науково-технічній конференції "Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті". (Україна, м. Харків, 14-16 листопада 2018 р.).

- VIII Міжнародній науково-практичній конференції "Проблеми безпеки на транспорті" (23-24 листопада 2017 р., Республіка Білорусь, м. Гомель).

Повністю дисертаційна робота доповідалася та була позитивно оцінена:

- на розширеному засіданні кафедри вагонів Українського державного університету залізничного транспорту за участю членів спеціалізованої ради (м. Харків);

- науково-технічній раді Державного підприємства "Український науково-дослідний інститут вагонобудування" (м. Кременчук).

Публікації. Відповідно до теми дисертації опубліковано 16 наукових праць, з яких 8 статей (дві без співавторів) опубліковано у фахових виданнях, затверджених МОН України (дві статті включені до міжнародних наукометричних баз Scopus), 7 праць апробаційного характеру та 1 додаткова.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг тексту дисертації складає 186 сторінок, обсяг основного тексту складає 124 сторінки. Робота ілюстрована 58 рисунками, наведено 1 таблиця, список використаних джерел включає 178 найменувань, 6 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі викладено обґрунтування доцільності обраної теми дослідження, визначені мета та задачі дисертаційної роботи, сформульовані її наукова новизна та практична цінність, показаний зв'язок з науковими програмами та темами, наведена кількість публікацій за темою та окреслений особистий внесок здобувача в публікаціях, які виконані за участю співавторів.

У першому розділі дисертаційної роботи виконано аналіз наукових джерел, пов'язаних з дослідженнями надійності рухомого складу, та обґрунтовано задачу підвищення точності методів розрахунку безвідмовності та довговічності буксових вузлів вантажних вагонів з роликowymi підшипниками.

Вагомий внесок у підвищення ефективності функціонування залізничного транспорту зробили С. В. Панченко, Т. В. Бутько, Д. І. Ломотько та ін. Створенню наукових основ розрахунків та проектування вантажних вагонів присвячені фундаментальні дослідження С. В. Вершинського, В. А. Лазаряна, В. М. Котуранова, Л. А. Шадура та ін. Над удосконаленням системи технічного обслуговування та ремонту рухомого складу активно працюють Ю. Є. Калабухін, В. І. Мороз, В. П. Ткаченко, О. В. Устенко, А. П. Фалендиш та ін. Суттєвий внесок у збільшення надійності сучасних вантажних та пасажирських вагонів зробили П. С. Анісімов, Ю. П. Бороненко, В. М. Бубнов, Е. Д. Тартаковський, М. Б. Кельріх та ін. Результати численних досліджень зі збільшення надійності ходових частин сучасних вагонів викладені в дослідженнях А. В. Донченка, Ю. В. Дьоміна, І. Е. Мартинова, В. Г. Маслієва,

С. В. Мямліна, В. Ф. Ушкалова та ін. Питання підвищення надійності елементів буксових вузлів вагонів висвітлені в роботах І. Д. Борзилова, А. В. Гайдамаки, М. І. Горбунова, І. М. Єгорової, В. М. Петухова, А. І. Полякова, О. М. Савчука, А. В. Труфановой, В. М. Цюренка, А. Д. Шавшишвілі та ін.

Науково-дослідні роботи з удосконалення конструкцій буксових вузлів вагонів проводяться у Державному підприємстві "УкрНДІВ", ОАО "ВНИИЖТ", Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна, Українському державному університеті залізничного транспорту. В цьому ж напрямку активно працюють фахівці АТ "Крюківський вагонобудівний завод". Дослідження, спрямовані на підвищення надійності буксових підшипників, проводять відомі виробники підшипників АТ "ХарП" (Україна), "Timken" (США), SKF (Швеція), Brelco (США), ЕПК (Росія) та ін.

У буксових вузлах вагонів України та країн СНД ще з 60-х років минулого сторіччя використовуються циліндричні роликові підшипники. Вони працюють в складних умовах комбінованого навантаження, коли водночас діють радіальні та осьові сили, Це обумовлено конструктивними особливостями вантажних візків моделі 18-100, в яких значна необресорена маса бокової рами спирається на корпус буксового вузла. Це викликає підвищені навантаження як у радіальному, так і осьовому напрямках та сприяє виникненню спрацювання торців роликів і робочих поверхонь бортиків кілець типу "ялинка", відколам та тріщинам напрямних бортів, раковинам від втоми на доріжках кочення. Багаторічний досвід експлуатації показав, що надійність циліндричних буксових підшипників недостатня для забезпечення безпеки руху протягом усього нормативного строку служби вагона.

Дослідження технічного стану циліндричних роликових підшипників, проведені фахівцями кафедри вагонів УкрДУЗТ, свідчать, що їх фактичний ресурс суттєво поступається розрахунковому. Такі розбіжності між теоретичними розрахунками та результатами експлуатації свідчать про недосконалість існуючих методів оцінки надійності буксових підшипникових вузлів відповідно до реальних умов експлуатації.

Теоретичні основи визначення довговічності підшипників кочення були запропоновані ще у першій половині ХХ сторіччя шведськими фахівцями А. Лундгреном та Г. Пальмгреном. Але у своїх розрахунках вони використовували спрощені схеми, які не враховують природу дії багатьох навантажень. Особливо це стосується підшипникових вузлів вантажних вагонів. Крім того, оцінку надійності буксових вузлів вантажних вагонів слід виконувати з урахуванням того, що процес навантаження як вагона в цілому, так і безпосередньо буксових вузлів є випадковим процесом, на який впливають різні за походженням чинники.

Викладене вище дозволило сформулювати мету та задачі дисертаційної роботи.

У другому розділі запропонований удосконалений метод оцінки довговічності буксових вузлів вантажних вагонів.

Буксовий підшипниковий вузол вантажного вагона являє собою складну механічну систему. Вона складається з корпусу букси (або адаптера), в якому

розташовані зовнішні та внутрішні кільця підшипників, тіла кочення, сепаратор та ущільнювальні пристрої, які запобігають потраплянню бруду та вологи у внутрішню порожнину вузла.

Випадковий характер впливу на буксовий вузол визначається випадковими значеннями параметрів навантаження, випадковим розподілом навантажень в часі та в різних точках системи, випадковим поєднанням різних навантажень і багатьма іншими факторами (перевантаження вантажу, різний стан колії, кліматичні умови, динамічні характеристики ходових частин, якість ремонту та технічного обслуговування).

В процесі експлуатації буксового вузла відбувається зміна у часі параметрів, що визначають механічні властивості системи. Ці зміни пов'язані зі старінням матеріалу, з погіршенням характеристик міцності, з накопиченням втомних та корозійних ушкоджень, фрикційним зносом, а також зі зміною властивостей в процесі відновлення і ремонту окремих елементів.

На буксовий вузол від кузова вагона при проходженні колісною парою нерівностей колії діють зовнішні навантаження q . Вони можуть бути різні за походженням та набувають випадкових значень з деякого простору можливих зовнішніх навантажень Q . Зміна цих навантажень у часі є випадковим процесом. Стохастичну поведінку буксового вузла будемо характеризувати елементами u , які є координатами відповідного простору U можливих станів, який обирається таким чином, щоб за його допомогою в рамках обраної розрахункової схеми повністю був описаний стан буксового вузла.

Оператор L пов'язує між собою кожен реалізацію елементів з області навантажень Q з реалізацією елементів у просторі можливих станів U

$$Lu = q. \quad (1)$$

Випадковий характер поведінки буксового вузла обумовлений розкидом як його власних властивостей, так і діючих навантажень. При нормальній експлуатації параметри, що характеризують функціональний стан елементів буксового вузла повинні знаходитися у встановлених межах протягом всього нормативного строку служби. Математично це відповідає знаходженню елементів u у допустимій області Ω простору допустимих станів V . Вихід випадкового процесу $v(t)$ функціонування буксового вузла за межі допустимої області Ω призводить до його відмови.

У вихідний момент часу (момент початку руху вагона) випадковий процес функціонування буксового вузла з імовірністю, яка дорівнює 1, буде знаходитися у допустимій області Ω , тобто $P(0) = 1$. Викиди з цієї області на відрізок часу $[0, t]$ малоймовірні.

$$P(t) = P\{v(\tau) \in \Omega; \tau \in [0, t]\}. \quad (2)$$

Процедура оцінки довговічності буксового підшипника, що пропонується, буде складатися з таких етапів:

- визначення вимірності простору допустимих станів;

- створення розрахункової моделі та визначення межі простору допустимих станів;
- побудова моделі динамічного впливу різних за походженням навантажень на підшипниковий вузол, дослідження характеристик отриманих випадкових процесів навантажень та перевірка їх адекватності;
- визначення ймовірності перетину випадковим процесом навантаження межі простору допустимих станів;
- обчислення характеристик безвідмовності буксового підшипникового вузла з подальшим визначенням ресурсу.

Для забезпечення належної оцінки працездатності буксового вузла простір допустимих станів повинен враховувати деякий набір найбільш важливих навантажень. У загальному випадку на буксовий підшипниковий вузол діє радіальне навантаження від ваги кузова та вантажу, осьові зусилля, перевантаження під час коливань вагона у русі, перекис колісної пари в плані внаслідок конструктивних особливостей трьохелементних вантажних візків, додаткові навантаження при гальмуванні та розпуску вагонів на сортувальних гірках. Бажано також враховувати стан колії, характер вантажу (сипкий, наливний або штучний), вплив навколишнього середовища (температура, вологість зовнішнього повітря) і т. п. Тобто у загальному випадку кількість навантажень наближається до нескінченності ($i \rightarrow \infty$).

Але не всі із зазначених чинників мають однаковий вплив на надійність буксового вузла вагона: деякі впливають лише на ефективність його роботи або контролепридатність під час руху.

Дія навантажень на буксові підшипники викликає появу контактних напружень в зоні між роликами та доріжками кочення з подальшим руйнуванням підшипника. Область допустимих станів буде задана обмеженням максимально допустимих контактних напружень $\sigma(t)$, що можуть виникати між тілами кочення в підшипниковому вузлі, та залежить від межі міцності підшипникової сталі

$$\sigma(t) < \sigma_{ст}, \quad (3)$$

де $\sigma_{ст}$ – межа контактної міцності на стиснення підшипникової сталі.

Враховуючи це, приймаємо чинником, який визначає межу граничного стану, виникнення контактних напружень, що перевищують на 5 % максимально допустимі.

В рамках реалізації зазначеної процедури для здійснення оцінки працездатності буксового підшипникового вузла на першому етапі була визначена вимірність простору допустимих станів за допомогою алгоритму, наведеного на рис. 1. Він складається з блоку введення даних, в якому пропонується задати допустимий рівень навантажень U_g , кількість навантажень N_{max} , що сумісно діють на буксовий вузол, перше з можливих навантажень (радіальне) $P_{рад}$. Загальна кількість навантажень, які впливають на рівень напружень, може знаходитися в межах від 1 до ∞ .

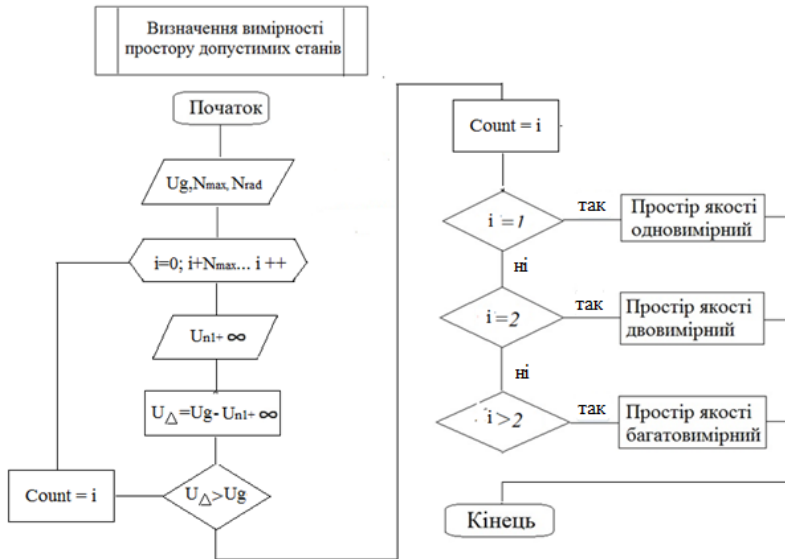


Рисунок 1 – Алгоритм визначення вимірності простору допустимих станів

У другому блоці алгоритму вводиться блок лічильника навантажень “*count i*” з наступним визначенням різниці між величиною допустимого (при якому напруження не перевищують допустимих) та введеного навантаження.

Після виконання всього циклу дій, алгоритмом була підрахована кількість навантажень, що задовольняють заданим умовам ($U_{\Delta} < U_g$).

На останньому етапі виконано порівняння лічильника навантажень та визначено вимірність простору допустимих станів.

Алгоритм дозволяє враховувати кількість навантажень, діючих на буксовий вузол порівнюючи кількість навантажень, підрахованих лічильником за умовою розмірності простору. Якщо $I = 1$, тоді простір допустимих станів одинвимірний, в іншому випадку $I = 2$ – двовимірний, $I > 2$ – багатовимірний.

Застосування запропонованого алгоритму для визначення вимірності простору допустимих станів буксових підшипникових вузлів вантажних вагонів показало, що простір двовимірний і визначається сумісною дією радіальних та осьових зусиль.

Максимальні напруження $\sigma(t)$ залежать від величини вертикальних і горизонтальних навантажень, які сумісно діють на буксовий підшипник. Згідно з теорією випадкових процесів основні статистичні характеристики випадкового процесу сумісної дії радіальних та осьових навантажень $P_{рад}$ і $P_{ос}$:

$$\bar{P} = \bar{P}_{рад} + \bar{P}_{ос}, \quad (4)$$

$$D_P = D(P_{рад}) + D(P_{ос}) + 2k_r \sqrt{D(P_{рад}) \cdot D(P_{ос})}, \quad (5)$$

$$R_{(P)} = R(P_{рад}) + R(P_{ос}) + 2R[(P_{рад})(P_{ос})], \quad (6)$$

$$\bar{N} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{-\frac{\ddot{R}_{(P)} \tau=0}{R_{(P)} \tau=0}}. \quad (7)$$

де $\bar{P}, \bar{P}_{рад}, \bar{P}_{ос}$ – математичні очікування відповідно випадкових процесів сумарного P , радіального $P_{рад}$ та осьового навантаження $P_{ос}$;

$D(P), D(P_{рад}), D(P_{ос})$ – дисперсії відповідних процесів навантаження;

$R_{(P)}, R(P_{рад}), R(P_{ос})$ – кореляційні функції відповідних процесів навантаження;

k_r – коефіцієнт кореляції відповідних процесів навантаження;

$R[(P_{\text{рад}})(P_{\text{ос}})]$ – взаємно кореляційна функція процесів $P_{\text{рад}}$ та $P_{\text{ос}}$;
 \bar{N} – середня кількість перетинів випадковим процесом P рівня \bar{P} .

Складові вектора $P_{\text{рад}}$ і $P_{\text{ос}}$ є випадковими нормальними статистично залежними процесами. Розподілення вектора навантажень являє собою поверхню, що має вигляд пагорбу. В перерізі поверхні розподілу площинами, паралельними площині $P_{\text{рад}}OP_{\text{ос}}$, виходять еліпси. Рівняння проекції еліпса на площину $P_{\text{рад}}OP_{\text{ос}}$ має вигляд

$$\frac{(P_{\text{рад}} - P_{\text{ос}})^2}{D_{P_{\text{рад}}}} - \frac{2(P_{\text{рад}} - \bar{P}_{\text{рад}})(P_{\text{ос}} - \bar{P}_{\text{ос}})}{\sqrt{D_{P_{\text{рад}}} \cdot D_{P_{\text{ос}}}}} + \frac{(P_{\text{ос}} - \bar{P}_{\text{ос}})^2}{D_{P_{\text{ос}}}} = \text{const.} \quad (8)$$

Для визначення щільності розподілу ймовірностей було використано положення, що для стаціонарного процесу навантаження кореляція з його першою похідною дорівнює нулю. Тоді відповідний вираз для щільності матиме вигляд

$$f(P'_{\text{рад}}, P'_{\text{ос}}, \dot{P}'_{\text{рад}}, \dot{P}'_{\text{ос}}) = \frac{1}{2\pi \sqrt{DP'_{\text{рад}} \cdot DP'_{\text{ос}} \cdot D\dot{P}'_{\text{рад}} \cdot D\dot{P}'_{\text{ос}}}} \times \quad (9)$$

$$\times \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{P'^2_{\text{рад}}}{DP'_{\text{рад}}} + \frac{P'^2_{\text{ос}}}{DP'_{\text{ос}}} + \frac{\dot{P}'^2_{\text{рад}}}{D\dot{P}'_{\text{рад}}} + \frac{\dot{P}'^2_{\text{ос}}}{D\dot{P}'_{\text{ос}}} \right) \right].$$

Для встановлення радіусу простору допустимих станів в цьому ж розділі викладено результати дослідження напружено-деформованого стану елементів буксового вузла вантажного вагона, які обладнані підшипниками різних типів.

Для визначення величини контактних напружень був використаний метод скінченних елементів. На першому етапі методами 3D моделювання у програмному середовищі "ANSYS Mechanical APDL" була розроблена геометрична модель колісної пари РУ1Ш-957, на шийках осі якої розташовані буксові вузли з підшипниками (рис. 2).

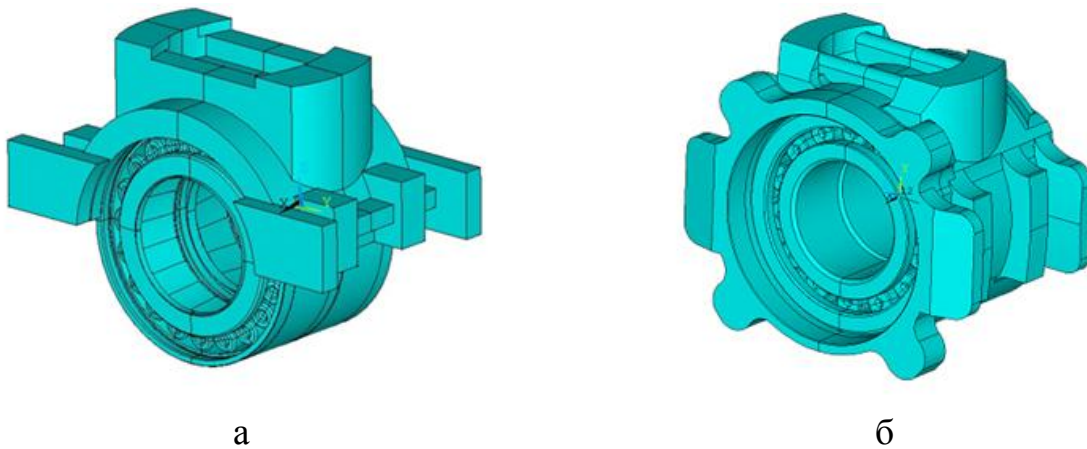


Рисунок 2 – Геометрична модель буксового вузла: а – з дворядним конічним підшипником касетного типу; б – зі здвоєним циліндричним підшипником

Побудова моделі виконувалась згідно з альбомними кресленнями з

нульовими допусками. Враховуючи симетричність конструкції колісної пари вагона, діючих навантажень та, враховуючи велику масу і жорсткість місця з'єднання "колесо-підматочинна частина осі", розглядалася лише консольна частина осі (шийка) з встановленими підшипниками. Така модель враховує не лише внутрішню геометрію підшипників, але й особливості передачі навантаження на них.

Побудовані моделі дозволили імітувати різні варіанти навантаження з оцінкою напружено-деформованого стану як самого підшипника, так і інших елементів буксового вузла.

В результаті досліджень отримані контактні напруження, що виникають в зоні контакту ролика і доріжок кілець підшипника під дією радіальних та осьових навантажень, а також епюри розподілу радіальних зусиль на ролику в процесі обертання.

Розрахунки показали, що напруження, які виникають уздовж твірної ролика, розподілені нерівномірно (рис. 3). При навантаженні 230 кН на вісь вони досягали максимальних значень 1321 МПа в зоні переходу від твірної ролика до його торця (має місце так званий "крайковий" ефект).

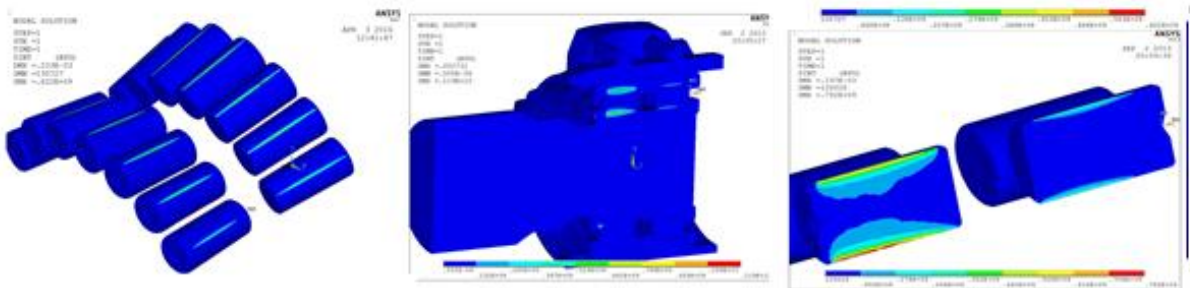


Рисунок 3 – Напруження, які виникають уздовж твірної ролика

Розподіл контактних напружень вздовж твірної ролика в контакті з внутрішнім і зовнішнім кільцем (радіальне навантаження 230 кН) подано на рис. 4.

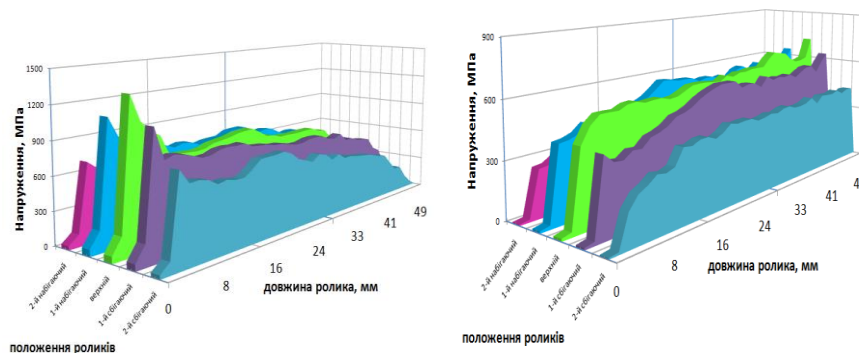


Рисунок 4 – Графік розподілу максимальних контактних напружень

Аналізуючи розподілення максимальних контактних напружень, що виникають в зоні контакту роликів та доріжок кочення кілець, а також розподілення еквівалентного навантаження між роликами, можна побачити, що максимальні значення навантажень досягаються не на центральному ролику, а відповідно на останньому та передостанньому. Це призводить до того, що ролик

проходить декілька максимумів навантажень, що негативно позначається на надійності підшипникового вузла.

Використання при розрахунку складної геометричної моделі, яка включає частину осі колісної пари, дозволило виявити різницю радіальних зусиль, що діють на задній та передній підшипники буксового вузла. Максимальні напруження, викликані осьовим навантаженням, зосереджені в зоні контакту торців ролика та бортів зовнішнього та внутрішнього кілець підшипника. Найбільших значень вони досягають на роликах, які проходять нижній сектор підшипника.

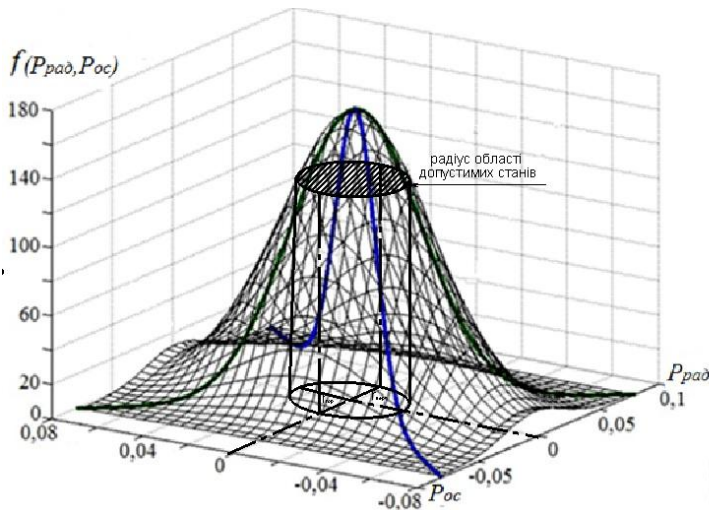


Рисунок 5 – Область якості буксових підшипників на швидкості 100 км/год

Моделювання та розрахунки показали, що з появою та збільшенням осьового навантаження, зростає інтенсивність еквівалентного навантаження, що діє на ролики підшипника.

Отримані результати дали змогу визначити межі області якості для різних типів буксових вузлів вантажного вагона (рис. 5).

В третьому розділі роботи розглянуто питання визначення імовірнісних навантажень, що діють на елементи візків вантажних вагонів.

Для моделювання динамічного процесу навантаження буксового вузла використовувався комплекс "УМ Универсальный механизм". Розроблена імітаційна модель "вагон-залізнична колія" включає в себе два основних підмодулі: напіввагон та залізнична колія. Напіввагон складався з кузова на візках моделі 18-100.

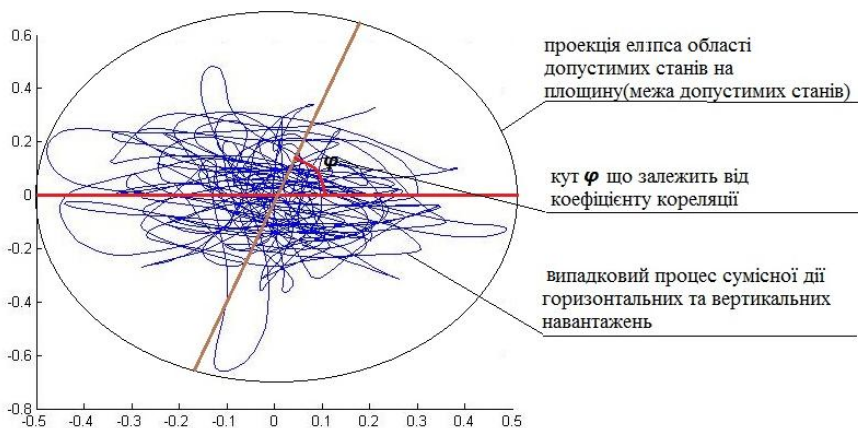


Рисунок 6 – Область допустимих станів буксових підшипників для швидкості 100 км/год

Модель залізничної колії складається з набору підмодулів: колії та пружного баластного шару. Модель дозволяє імітувати мікрогеометрію колії, характеристики нерівностей, пружність основи під колією.

Для отримання динамічних характеристик, діючих на буксові вузли

напіввагона, був обраний відрізок колії, що включав пряму довжиною 9 км, стрілочний перевід, S-подібну криву радіусом 450 м. Можливості моделі дозволили, крім імітації різного ступеня завантаженості кузова та швидкості руху вагона, також змінювати ходові параметри візка, жорсткість ресорного комплексу, спрацювання коліс, та інші параметри.

Деякі з отриманих реалізацій, які характеризують зміну коефіцієнтів вертикальної та горизонтальної динаміки для набігаючої колісної пари у завантаженому режимі при швидкості руху 100 км/год, наведено на рис. 7.

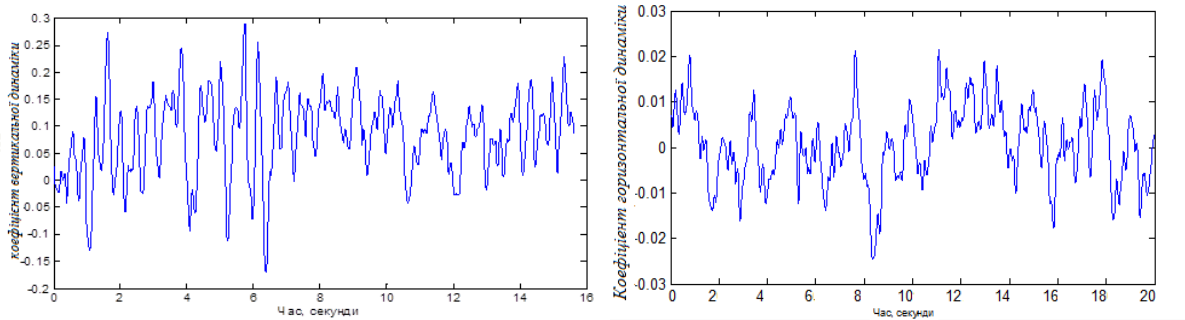


Рисунок 7 – Осцилограми зміни коефіцієнту вертикальної та горизонтальної динаміки при швидкості 100 км/год на прямій ділянці колії

Аналогічні реалізації були отримані для коефіцієнтів вертикальної та горизонтальної динаміки в діапазоні швидкостей руху від 40 до 120 км/год як на прямих, так і на кривих ділянках колії. Очевидно, що вони являють собою випадковий процес.

На наступному етапі роботи проводилась математична обробка даних методами математичної статистики. При цьому визначались наступні параметри: величина математичного очікування, дисперсія, а також мінімальні та максимальні значення зусиль. Результати досліджень свідчать, що випадкові процеси, які характеризують зміну коефіцієнтів вертикальної та горизонтальної динаміки, розподілені за нормальним законом. Отримано параметри, що характеризують цей закон.

Залежності, що характеризують зміну математичного очікування та максимальних значень коефіцієнту вертикальної та горизонтальної динаміки від швидкості руху, наведено на рис. 8.

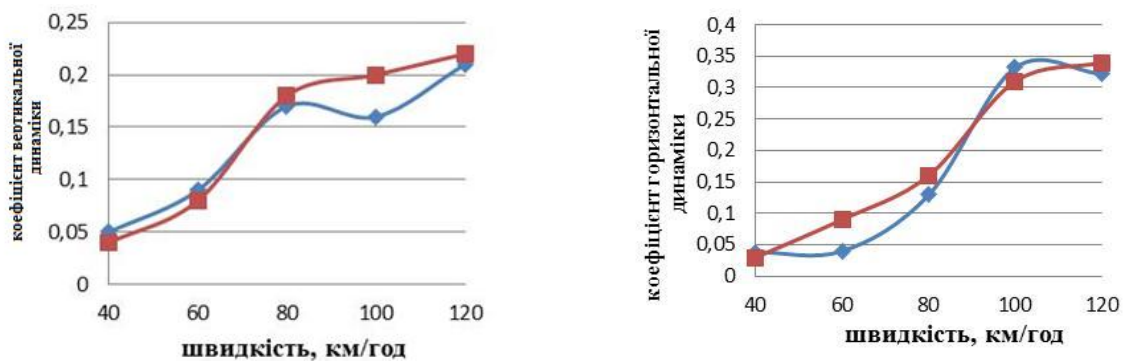


Рисунок 8 – Зміна математичного очікування та максимальних значень випадкового процесу від швидкості руху на прямих та кривих ділянках колії
Для порівняння отриманих даних використовувалися результати ходових

динамічних випробувань напіввагона моделі 12-7023, які проведені фахівцями ДП УкрНДІВ. Збіжність експериментальних та теоретичних даних склала близько 90 %, що є цілком задовільним.

Моделювання динамічних навантажень, що діють на ходові частини вантажних вагонів, показало достатню збіжність з результатами ходових випробувань. Тому запропонована модель використовувалась для оцінки збурюючих навантажень при розрахунках надійності буксових вузлів вантажних вагонів.

За результатами досліджень для кожного з отриманих випадкових процесів навантаження буксових вузлів були побудовані відповідні кореляційні функції.

В подальшому були обчислені імовірності безвідмовної роботи буксового вузла з циліндричним підшипником та конічним підшипником. При розрахунках згідно з ДСТУ 7598:2014 "Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)", враховувався час знаходження вагона у завантаженому та порожньому стані з рекомендованими швидкостями. В результаті отримані залежності, які характеризують імовірність безвідмовної роботи буксового вузла в залежності від швидкості та режиму руху (рис. 9).

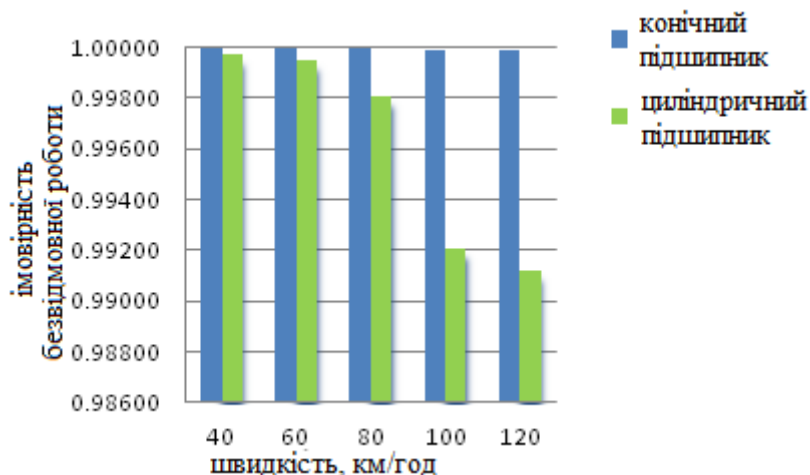


Рисунок 9 – Зміна залежностей імовірності безвідмовної роботи від швидкості руху на прямих та кривих ділянках колії

Використовуючи отримані ймовірності безвідмовної роботи буксового вузла були перераховані в ресурс буксових підшипників в тисячах кілометрів пробігу. За розрахунками, враховуючи режими експлуатації рухомого складу, ресурс касетного циліндричного підшипника становитиме 1484 тис. км, касетного конічного – 2989 тис. км.

У четвертому розділі для експериментальної перевірки отриманих результатів на замовлення Головного управління вагонного господарства ДП "Укрзалізниця" були проведені експлуатаційні випробування у дослідному маршруті Роковата-Ужгород. Згідно з "Програмою-методикою ..." проведені експлуатаційні випробування двох напіввагонів. У експлуатаційних випробуваннях брали участь здвоєні касетні підшипники СВУ виробництва

"Саратовский подшипниковый завод" (Росія). При цьому навантаження на вісь становило 230 кН.

Метою випробувань була оцінка працездатності букс, обладнаних дослідними роликотпідшипниками, у реальних умовах експлуатації. Програмою-методикою випробувань передбачалося здійснення нагляду за підшипниками до пробігу 75 тис. км.

Під час випробувань не були виявлені пошкодження буксових вузлів, що викликали нагрів букс та відчеплення вагона від поїзда на шляху прямування.

За результатами порівняльних експлуатаційних випробувань вагонів, які обладнано буксовими підшипниковими вузлами зі здвоєними циліндричними підшипниками, в дослідному маршруті Укрзалізниці Роковата-Ужгород визначено показники надійності буксових вузлів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання удосконалення методів оцінки довговічності буксових вузлів вантажних вагонів. Результати проведених теоретичних досліджень та їх експериментальна перевірка дали змогу зробити нижченаведені висновки.

1. Аналіз наукових досліджень та технічного стану елементів буксових підшипникових вузлів вантажних вагонів показав, що фактична довговічність буксових підшипників суттєво менше за розрахункову. Це свідчить, що існуючі методи розрахунку показників надійності буксових підшипників недосконалі. В них використовуються спрощені розрахункові схеми, де не враховується як ряд діючих навантажень, так і випадковий характер їх дії;

2. Сформовано метод визначення показників безвідмовності буксових підшипникових вузлів вантажних вагонів, особливістю якої є врахування ймовірнісного характеру діючих навантажень, а відмова трактується як вихід випадкового процесу комбінованого навантаження букси за межі "простору допустимих станів".

3. Запропоновано науковий підхід, на підставі якого розроблений алгоритм визначення вимірності простору допустимих станів буксових підшипників та визначено, що для буксових підшипників вагонів простір допустимих станів є двомірним.

4. Доопрацьовані 3-D моделі для різних типів буксових підшипникових вузлів вантажних вагонів та визначено межі критичних навантажень буксового вузла вантажного вагона за умови сумісної дії вертикальних та горизонтальних сил, в результаті дії яких буде відбуватися руйнування буксових підшипників; Визначено місця локалізації максимальних контактних напружень. На підставі проведених розрахунків визначено межі "області допустимих станів".

5. Запропонована імітаційна модель "напіввагон-залізнична колія" дозволяє моделювання динамічного процесу навантаження буксового вузла напіввагона в різних режимах експлуатації з урахуванням характеристик колії та вагона.

6. Проведено аналіз двовимірною випадкового процесу навантаження у вигляді еквівалентних змін навантаження на вагон. В результаті отримані

залежності розподілу коефіцієнтів вертикальних і горизонтальних динамічних навантажень, що діють на буксові вузли при різних режимах руху та доведено, що зазначені коефіцієнти мають імовірнісний характер і розподілені по нормальному закону. Визначено параметри нормального розподілу для різних швидкостей руху і ділянок колії.

7. Виконано моделювання та встановлені показники довговічності різних типів буксових підшипників для різних режимів руху вагонів. Доведено, що ресурс касетного циліндричного підшипника становитиме 1484 тис. км., касетного конічного – 2989 тис. км.

8. Отримані теоретичні результати підтверджені в ході порівняльних експлуатаційних випробувань вагонів, обладнаних буксовими підшипниковими вузлами з дворядними конічними і циліндричними підшипниками в дослідному маршруті Укрзалізниці Роковата-Ужгород.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Основні наукові праці:

1. Шовкун В. О. Аналіз динамічних навантажень, діючих на ходові частини вагонів. *Зб. наук. праць Укр. держ. ун-ту залізнич. трансп.* – Харків: УкрДУЗТ, 2016. № 160. С. 124.
2. Шовкун В. О. Розробка імітаційної моделі вантажного вагона з метою отримання оцінки динамічних показників. *Вісник національного технічного університету "Нові рішення в сучасних технологіях"*. Харків: НТУ ХПІ, 2017. Вип. № 23 (1245). С. 62-67.
3. Мартинов І. Е., Шовкун В. О. Дослідження напружено-деформованого стану елементів буксових підшипникових вузлів. *Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп.* Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 139. С. 226-229.
4. Труфанова А. В., Шовкун В. О. Аналіз перспективних конструкцій буксових вузлів вагонів. *Зб. наук. праць Укр. держ. акад. залізнич. трансп.* Харків: УкрДАЗТ, 2014. Вип. 147. С. 50-53.
5. Мартинов І. Е., Ільчишин В. М., Труфанова А. В., Шовкун В. О. Аналіз напружено-деформованого стану здвоєного касетного циліндричного підшипника буксового вузла вантажного вагона. *Вісник Східноукраїнського державного університету: науковий журнал*. Луганськ; 2014. № 18 (207). Ч. 2. С. 156 –159.
6. Мартинов І. Е. Шовкун В. О. Дослідження напружено-деформованого стану буксового підшипникового вузла. *Вісник Східноукраїнського державного університету: науковий журнал*. Луганськ; 2013. – № 3 (210). Ч. 1. С. 101 –105.

Публікації у виданнях України, що включені до міжнародних наукометричних баз:

7. Мартинов І. Е., Ільчишин В. М., Можейко Є. Р., Труфанова А. В., Шовкун В. О. Результати експлуатаційних випробувань здвоєних касетних циліндричних підшипників в буксах вантажних вагонів. *Восточно-*

Европейский журнал передовых технологий 2015. №1/7 (73). С. 8-13.

8. Martinov I., Trufanova A., Shovkun V. Construction of the simulation model "car-railway track" for modeling the dynamic loading process of the boot node. *MATEC Web of Conferences, 7th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings"* 2018. № 230. P. 5. doi:10.1051/matecconf/201823001008.

Праці апробаційного характеру:

9. Мартинов І. Е., Ільчишин В. М., Шовкун В. О. Дослідження напружено-деформованого стану елементів буксових підшипникових вузлів. *Проблеми та перспективи розвитку транспортних систем в умовах реформування залізничного транспорту: управління, економіка і технології: Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції. – Серія "Техніка, технології".* К.ДЕТУТ, 2013. С. 56.

10. Мартинов І. Е., Ільчишин В. М., Труфанова А. В., Шовкун В. О. Аналіз напружено-деформованого стану зведеного касетного циліндричного підшипника буксового вузла вантажного вагона. *Інноваційні технології на залізничному транспорті. V міжнародна науково-практична конференція // Зб. наук. праць конференції.* 31 березня – 7 квітня 2014 р., м. Лондон (Англія): – Луганськ, 2014. С. 52–53.

11. Шовкун В. О. Аналіз результатів експлуатаційних випробувань зведених касетних підшипників СБУ буксових вузлів вантажних вагонів. *Тези доповідей. Збірник тез XLIV науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів. – Сучасні проблеми залізничного транспорту: Ч 1.* Київ 2014. С. 43–44.

12. Мартинов І. Е. Шовкун В. О. Дослідження напружено-деформованого стану елементів буксових підшипникових вузлів. *Тези доповідей. Зб. наук. праць.* Харків: УкрДАЗТ, 2013. Вип. 139. С. 295.

13. Мартинов И. Э., Труфанова А. В., Шовкун В. А. Построение пространства качества буксового узла грузового вагона. *Компьютерное моделирование в железнодорожном транспорте: динамика, прочность, износ. III научно-технический семинар: 6-7 апреля 2016 г. Брянск (Россия). Сборник тезисов.* С. 57.

14. Мартынов И. Э., Труфанова А. В., Шовкун В. О. Оценка динамических показателей вагона полученных с использованием модели «вагон железнодорожный путь». *"Проблемы безопасности на транспорте" VIII Міжнародна науково-практична конференція 23-24 ноября 2017 г., Республика Беларусь, г. Гомель.* С. 126-127.

15. Мартинов І. Е., Труфанова А. В., Шовкун В. О. Побудова імітаційної моделі «вагон-залізнична колія» для моделювання динамічного процесу навантаження буксового вузла. *"Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті". VII Міжнародна науково-технічна конференція. Тези доповідей.* 14-16 листопада 2018 р. Харків: УкрДУЗТ 2018. С 47-48.

Праці, що додатково відображають результати дисертації:

16. Мартынов И. Э., Труфанова А. В., Шовкун В. О. Анализ надежности буксовых подшипниковых узлов грузовых вагонов. *"Мир транспорта": научно-практический журнал* 2015. Т. 13. № 3 (58). С. 226-232.

АНОТАЦІЯ

Шовкун В. О. Удосконалення методів оцінки довговічності буксових вузлів вантажних вагонів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.07 "Рухомий склад залізниць та тяга поїздів". – Український державний університет залізничного транспорту, МОН України, Харків, 2019.

Дисертація присвячена удосконаленню методів оцінки довговічності буксових вузлів вантажних вагонів. Сформовано метод визначення показників безвідмовності буксових вузлів вантажних вагонів, особливістю якої є врахування ймовірного характеру діючих навантажень, а відмова трактується як вихід випадкового процесу комбінованого навантаження буксового вузла за межу "області допустимих станів". Запропоновано науковий підхід, на підставі якого розроблений алгоритм визначення вимірності простору допустимих станів буксових підшипників та визначено, що для буксових підшипників вагонів він є двовірним.

Визначено межі критичних навантажень буксового вузла вантажного вагона за умови сумісної дії вертикальних та горизонтальних сил, в результаті дії яких буде відбуватися руйнування буксових підшипників; Визначено місця локалізації максимальних контактних напружень і отримані аналітичні залежності останніх від величини зовнішнього навантаження. На підставі проведених розрахунків визначено межі "області допустимих станів"

Запропонована імітаційна модель "напіввагон-залізнична колія", дозволяє виконувати моделювання динамічного процесу навантаження буксового вузла напіввагона в різних режимах експлуатації з урахуванням характеристик колії та вагона. Проведено аналіз двовимірного випадкового процесу навантаження у вигляді еквівалентних змін навантаження на вагон. В результаті отримані залежності розподілу коефіцієнтів вертикальних і горизонтальних динамічних навантажень, що діють на буксові вузли при різних режимах руху

Виконано моделювання та встановлені показники безвідмовності різних типів буксових підшипників для різних режимів руху вагонів. Отримані результати підтверджені в ході порівняльних експлуатаційних випробувань вагонів.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в АТ "Крюківський вагонобудівний завод", у навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту.

Ключові слова: вантажний вагон, буксовий вузол, безвідмовність, довговічність, розрахункова модель, контактні напруження, експлуатаційні випробування, коефіцієнт вертикальної динаміки.

АННОТАЦИЯ

Шовкун В. А. Совершенствование методов оценки долговечности буксовых узлов грузовых вагонов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.07 подвижной состав железных дорог и тяга поездов. - Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, МОН Украины, Харьков, 2019.

Диссертация посвящена совершенствованию методов оценки долговечности буксовых узлов грузовых вагонов.

Сформирован метод определения показателей безотказности буксовых подшипниковых узлов грузовых вагонов, особенностью которого является учет вероятностного характера действующих нагрузок, а отказ трактуется как выход случайного процесса комбинированного процесса нагрузки за границу "области качества".

Предложено научный подход, на основании которого разработан алгоритм определения размерности пространства допустимых состояний буксовых подшипников и определено, что для буксовых подшипников вагонов пространство качества является двухмерным.

Доработаны 3-D модели для разных типов буксовых подшипниковых узлов грузовых вагонов и определены границы критических нагрузок буксового узла грузового вагона при совместном действии вертикальных и горизонтальных сил, в результате чего будет происходить разрушение буксовых подшипников. Моделирование и расчеты показали, что с появлением и увеличением осевой нагрузки возрастает интенсивность эквивалентной нагрузки действующей на ролики подшипника. Определены места локализации максимальных контактных напряжений и получены аналитические зависимости последних от величины внешней нагрузки. На основании проведенных расчетов определены границы "области качества".

Предложена имитационная модель "полувагон-железнодорожный путь", которая позволяет выполнять анализ динамических процессов нагружения элементов конструкции полувагона с учетом характеристик пути и вагона. Проведен анализ двумерного случайного процесса нагрузки в виде эквивалентных изменений нагрузки на вагон. В результате полученные зависимости распределения коэффициентов вертикальных и горизонтальных динамических нагрузок, действующих на буксовые узлы при различных режимах движения

Выполнено моделирование и установлены показатели безотказности различных типов буксовых подшипников для различных режимов движения вагонов. Проведен анализ двумерного случайного процесса нагрузки в виде эквивалентных изменений нагрузки на вагон. В результате получены зависимости распределения коэффициентов вертикальных и горизонтальных динамических нагрузок, действующих на буксовые узлы при различных режимах движения, и доказано, что указанные коэффициенты имеют вероятностный характер и распределены по нормальному закону. Определены

параметры нормального распределения для различных скоростей движения и участков пути.

Полученные результаты подтверждены в ходе сравнительных эксплуатационных испытаний вагонов, оборудованных буксовыми подшипниковыми узлами с двухрядными коническими и цилиндрическими подшипниками.

Результаты диссертационной работы внедрены в АО "Крюковский вагоностроительный завод", в учебный процесс Украинского государственного университета железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: грузовой вагон, буксовый узел, безотказность, долговечность, расчетная модель, контактные напряжения, эксплуатационные испытания, коэффициент вертикальной динамики.

ABSTRACT

Shovkun V.O. Improvement of methods for assessing the durability of axle boxes of freight cars. – Manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of technical science candidate on the specialty 05.22.07 railway rolling stock and train traction. - Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The dissertation is devoted to the improvement of methods for assessing the durability of axle boxes of freight cars. The method of determining the reliability indicators of axle box bearing units of freight cars has been formed, the peculiarity of which is taking into account the probabilistic nature of the existing loads, and the failure is interpreted as the output of the random process of the combined axle load beyond the "quality area". Based on the proposed scientific approach, an algorithm for determining the dimension of the space of allowable states of axle box bearings has been developed and it has been determined that for axle box bearings of cars, the quality space is two-dimensional.

The proposed "gondola-railroad" simulation model allows to carry the load of gondola car design elements, taking into account the characteristics of the track and the car in the analysis of dynamic processes. The analysis of a two-dimensional random load process in the form of equivalent changes in the load on the car. As a result, we obtained dependences of coefficient distribution of the vertical and horizontal dynamic loads acting on the axlebox under various motion conditions.

The simulation was carried out and the reliability indices of various types of box bearings for various modes of car movement were set. The results are confirmed during comparative operational tests of cars.

The results of the dissertation work were implemented at JSC "Kryukovsky Carriage Works" in the educational process of the Ukrainian State University of Railway Transport.

Key words: freight car, axle box, reliability, durability, design model, contact stresses, operational tests, coefficient of vertical dynamics.

ШОВКУН ВАДИМ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 629.4.027.11.001.24

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНКИ ДОВГОВІЧНОСТІ
БУКСОВИХ ВУЗЛІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Відповідальний за випуск



Калмиков О. С.

Надруковано згідно з оригіналом автора

Підписано до друку 22.05.2019 р.
Формат 60×84 1/16 Папір офсетний
Умовн.-друк. арк. 1,9 Обл. – вид. арк. 2,0
Замовлення № 1/22.05. Тираж 120 прим.

Надруковано у копі-центрі «Panda Print» (ФО-П Панарін В.С.), 61050, м.
Харків, майдан Фейєрбаха, 11-б