

Український державний університет залізничного транспорту  
Міністерства освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту  
Міністерства освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова праця  
на правах рукопису

ШОВКУН ВАДИМ ОЛЕКСАНДРОВИЧ

УДК 629.4.027.11.001.24

***ДИСЕРТАЦІЯ***

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

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело



В. О. Шовкун

Науковий керівник

Мартинов Ігор Ернстович,  
доктор технічних наук, професор

Харків – 2019

## ***АНОТАЦІЯ***

Шовкун В. О. Удосконалення методів оцінки довговічності буксових вузлів вантажних вагонів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.22.07 – "Рухомий склад залізниць та тяга поїздів" (273 – Залізничний транспорт). – Український державний університет залізничного транспорту, МОН України, Харків, 2019.

Дисертацію присвячено питанню удосконалення методів оцінки довговічності буксових вузлів вантажних вагонів шляхом урахування їх фактичної завантаженості в залежності від імовірнісного характеру діючих навантажень та швидкостей руху.

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у

*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.

Практична значимість роботи полягають у тому, що вирішення питання удосконалення методів оцінки довговічності буксового вузла дозволить збільшити міжремонтний пробіг вантажних вагонів.

Методи оцінки напружено-деформованого стану буксових вузлів вагонів та методи прогнозування безвідмовності буксових вузлів вантажних вагонів впроваджені на АТ "Крюківський вагонобудівний завод" при проектуванні ходових частин інноваційних вагонів. Це дозволило підвищити надійність буксових вузлів вантажних вагонів, збільшити технічний рівень і конкурентоспроможність вантажних вагонів

Удосконалений метод оцінки довговічності буксових підшипників використовується 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".

За темою 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.

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, подано загальну характеристику роботи.

У буксових вузлах вагонів України та країн СНД ще з 60-х років минулого сторіччя використовуються циліндричні роликові підшипники. Багаторічний досвід експлуатації показав, що надійність циліндричних буксових підшипників недостатня для забезпечення безпеки руху протягом усього нормативного строку служби вагона. 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.

В розрахунках використовували спрощені схеми, які не враховують природу дії багатьох навантажень. 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.

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

Буксовий підшипниковий вузол вантажного вагона являє собою складну механічну систему, на яку впливають різні чинники. 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 буксового вузла у просторі допустимих станів

Для здійснення оцінки працездатності буксового підшипникового вузла за допомогою запропонованого алгоритму була визначена вимірність простору допустимих станів.

Доопрацьовані 3-D моделі для різних типів буксових підшипникових вузлів вантажних вагонів. 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.

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.

Визначено межі критичних навантажень 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 "простору допустимих станів".

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

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.

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.

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

У подальшому визначались основні параметри, що характеризують випадкові процеси: величина математичного очікування, дисперсія, а також мінімальні та максимальні значення зусиль. Результати свідчать, що випадкові процеси розподілені за нормальним законом.

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 кореля-

ційні функції та побудований простір "допустимих станів" для різних режимів експлуатації.

В четвертому розділі обчислені імовірності безвідмовної роботи буксового вузла з циліндричним підшипником та конічним підшипником. При розрахунках 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. Використовуючи отримані ймовірності безвідмовної роботи буксового вузла були перераховані в ресурс буксових підшипників в тисячах кілометрів пробігу.

Для експериментальної перевірки отриманих результатів були проведені експлуатаційні випробування у дослідному маршруті Роковата-Ужгород. Метою випробувань була оцінка працездатності букс, обладнаних дослідними роликотпідшипниками, у реальних умовах експлуатації.

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.

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

#### Список публікацій здобувача

##### ***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 ХП, 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, що включені до міжнародних науко-метричних 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-технічної 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 здвоєного 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 здвоєних касетних підшипників СВУ 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.

**ABSTRACT**

V. O. Shovkun. The improvement of axle boxes of freight cars durability estimation methods. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences (doctor of philosophy) on specialty 05.22.07 – “Rolling stock of railways and traction of trains” (273 – Railway transport). – Ukrainian State University of Railway

Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The dissertation is devoted to the issue of the improvement of axle boxes of freight cars durability estimation methods by taking into account their actual load depending on the probabilistic nature of operating loads and speeds.

The scientific novelty of the dissertation is based on

*For the first time:*

- the scientific approaches were proposed to determine the dimensionality of the space of box bearings permissible states by identifying the factors that are most important for determining the "space of admissible states";

- limits of the critical loads of the axle box of the freight wagon are determined, providing combined action of radial and axial forces, as a result of which the collapse of the box bearings will take place;

- the possibility of lengthening the box bearings life, taking into account the probabilistic nature of operating loads, was scientifically substantiated.

*Were improved:*

The calculation model for infallibility performance evaluation of box bearing units of freight cars, which, in contrast to the existing ones, takes into account the probabilistic nature of the radial and axial forces acting on the box bearings.

*Get further development:*

- a simulation model "gondola-railroad", which allows to form dynamic processes of loading of elements of the design of the gondola car taking into account the characteristics of the track and the car in order to determine the level of loading of the boot knots at an arbitrary time;

- methods of evaluating the durability of the elements of the axle boxes taking into account the probabilistic nature of the operating loads;

- procedure for determining the probability of failure of box bearing units of freight cars at the design stage, taking into account the probabilistic nature of the existing loads.

The practical significance of the work lies in the fact that solving the problem of the methods of assessing the axle box durability improving will increase the inter-repair run of freight cars.

Methods of estimation of the stressed-deformed state of the axle boxes of cars and the methods of forecasting failure of the axle boxes of the freight cars were implemented at “Kryukov Railway Car Building Works” PJSC when designing the running gears of innovative cars. This allowed increase the reliability of the axle boxes of freight cars and increase the technical level and competitiveness of freight cars.

The improved method for assessing the durability of box bearings is also used in the studying process for bachelors and masters of the specialty "Railway Transport" of the educational program "Cars and carriage economy" of the Ukrainian State University of Railway Transport in the study of disciplines "Cars (design and calculations)", "Reliability and technical diagnostics of railway rolling stock", "Actual problems of dynamics, design and calculation of new structures of wagons".

On the theme of the dissertation, 16 scientific works were published, of which 8 articles (two without co-authors) were published in the specialized editions approved by the Ministry of Education and Science of Ukraine (two articles included in the international scientific base of Scopus), 7 papers of approbatory character and 1 additional.

In the introduction the justification of the expediency of the chosen topic is stated, the purpose and tasks of the dissertation work are defined, its scientific novelty and practical value are formulated, the connection with scientific programs and themes is shown, the number of publications on the topic is added, and the personal contribution of the applicant in the publications, implemented for participation of co-authors, is outlined.

In the first section of the dissertation, an analysis of scientific sources related to the research of the reliability of rolling stock was conducted, and the prob-

lem of increasing the accuracy of the calculation methods of reliability and durability of the axle boxes of freight cars with roller bearings was substantiated, the general characteristic of the work was given.

In the freight boxes of cars in Ukraine and CIS countries cylindrical roller bearings have been used since the 1960's. The long-term experience has shown that the reliability of cylindrical box bearings is insufficient to ensure the safety of the traffic throughout the standard period of service of the car. Their actual resource is significantly inferior to the calculation. Such discrepancies between the theoretical calculations and the results of operation testify to the imperfection of existing methods for assessing the reliability of the box bearing units in accordance with the actual operating conditions.

The calculations used simplified schemes that do not take into account the nature of various loads. In addition, the assessment of the reliability of the axle boxes of freight cars should be made taking into account that the process of loading both the car as a whole and directly axle boxes is a random process, which is influenced by factors of different origin.

In the second section an improved method of assessing the durability of the axle boxes of freight cars is proposed.

The box bearing unit of the freight car is a complex mechanical system, which is influenced by various factors. The random action system of the axle box is caused by the spread of both its own properties and operating loads.

Under normal operation, the parameters characterizing the functional state of the components of the axle box should be within the prescribed limits throughout the standard service life. Mathematically, this corresponds to the placement of the axle box elements in the space of admissible states.

In order to evaluate the performance of the box bearing unit with the help of the proposed algorithm, the dimensionality of the space of the admissible states was determined.

3-D models for different types of box bearing units of freight cars have

been refined. Taking into account the symmetry of the design of the wheel coupling of the car, the operating loads and, taking into account the large mass and stiffness of the place of connection, the wheel-submersible part of the axis, considered only the console part of the axle (neck) with the installed bearings.

The constructed models allowed to simulate different loading variants with the evaluation of the stress-strain state of the bearings itself and other elements of the axle box.

As a result of the research, the contact stresses arising in the contact area of the roller and tracks of the bearing rings under the influence of radial and axial loads, as well as the distribution of radial forces on the roller diagram during the rotation are obtained.

The boundaries of critical loads are determined on the condition of the joint action of vertical and horizontal forces, as a result of which the collapse of the roller bearings will occur; The places of localization of maximum contact stresses are determined. On the basis of made calculations, the limits of the "space of admissible states" are determined.

In the third section, the question of determining the probabilistic loads affecting the elements of trolley carriages is considered.

The developed simulation model "carriage-railroad" includes two main sub-modules: gondola and railroad track. The gondola consisted of a body on a carriage model of 18-100.

The railroad model consists of a set of submodules: track and elastic ballast layer. The model allows simulate the microgeometry of the track, the characteristics of the inequalities, and the elasticity of the base under the track.

In order to obtain dynamic characteristics, acting on the axle boxes of the gondola, a section of the track, including a straight length of 9 km, a turning, a S-shaped curve with a radius of 450 m, was selected. Opportunities of the model allowed, besides imitating different degrees of body load and speed of the car, to change the running parameters of the trolley, the rigidity of the spring kit,

wheels, and other parameters.

Dependences of the coefficients of the vertical and horizontal dynamics were obtained in the range of speeds from 40 to 120 km / h in both the straight and curved sections of the track. They represent a random process.

Subsequently, the main parameters characterizing random processes were determined: the magnitude of the mathematical expectation, the variance, as well as the minimum and maximum values of the effort. The results indicate that random processes are distributed according to normal law.

Modeling of dynamic loads acting on the running gears of freight cars showed a sufficient convergence with the results of running tests. Therefore, the proposed model was used to estimate disturbing loads when calculating the reliability of the axle boxes of freight cars.

According to the results of the research, for each of the random loading processes of the axle boxes, appropriate correlation functions were constructed and the space of "admissible states" for different operating modes was constructed.

In the fourth section, the probability of a fail-safe operation of an axle box with a cylindrical bearing and a tapered bearing is calculated. The calculations took into account the time of finding the car in the loaded and empty state with the recommended speeds. As a result, we obtained dependencies that characterize the probability of fail-safe operation of the axle box, depending on the speed and mode of movement. The probabilities of the fail-safe operation of the axle box were listed in the life of the box bearings in thousands of kilometers of run.

For experimental verification of the results, operational tests were carried out in the research route Rokovata-Uzhhorod. The purpose of the tests in service was to evaluate the efficiency of the boeze, equipped with research roller bearings, in real conditions of operation.

According to the results of comparative operational tests of cars equipped with box bearing units with dual cylindrical bearings, the reliability parameters of

the axle boxes have been determined in the experimental route Rokovata-Uzhgorod of the "Ukrzaliznytsia".

Key words: freight car, axle box, fail-safe operation, durability, calculation model, contact stresses, test in service, coefficient of vertical dynamics.

Basic scientific works:

1. Shovkun V. O. Analiz dinamichnih navantazhen, diyuchih na hodovi chastini vagoniv. *Zb. nauk. prac Ukr. derzh. un-tu zaliznich. transp.* – Harkiv: UkrDUZT, 2016. № 160. S. 124.
2. Shovkun V. O. Rozrobka imitacijnoyi modeli vantazhnogo vagona z me-toyu otrimannya ocinki dinamichnih pokaznikov. *Visnik nacionalnogo tehnicnogo universitetu "Novi rishennya v suchasni tehnologiyah"*. Harkiv: NTU HPI, 2017. Vip. № 23 (1245). S. 62-67.
3. Martinov I. E., Shovkun V. O. Doslidzhennya napruzhenno-deformovanogo stanu elementiv buksovih pidshipnikovih vuzliv. *Zb. nauk. prac Ukr. derzh. akad. zaliznich. transp.* Harkiv: UkrDAZT, 2013. Vip. 139.C. 226-229.
4. Trufanova A. V., Shovkun V. O. Analiz perspektivnih konstrukcij buksovih vuzliv vagoniv. *Zb. nauk. prac Ukr. derzh. akad. zaliznich. transp.* Harkiv: UkrDAZT, 2014. Vip. 147. S. 50-53.
5. Martinov I. E., Ilchishin V. M., Trufanova A. V., Shovkun V. O. Analiz napruzhenno-deformovanogo stanu zdvoynogo kasetnogo cilindrichnogo pidshipnika buksovogo vuzla vantazhnogo vagona. *Visnik Shidnoukrayinskogo derzhavnogo universitetu: naukovij zhurnal. Lugansk*; 2014. № 3 (210). Ch. 2. S. 156–159.
6. Martinov I. E. Shovkun V. O. Doslidzhennya napruzhenno-deformovanogo stanu buksovogo pidshipnikovogo vuzla. *Visnik Shidnoukrayinskogo derzhavnogo universitetu: naukovij zhurnal. Lugansk*; 2013. – № 18 (207). Ch. 1. S. 101–105.



Publications in the publications included in the  
international scientific-metric bases:

7. Martinov I. E., Ilchishin V. M., Mozhejko Ye. R., Trufanova A. V., Shovkun V. O. Rezultati ekspluatacijnih viprobuvan zdvojenih kasetnih cilindrichnih pidshipnikiv v buksah vantazhnih vagoniv. *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij* 2015. №1/7 (73). S. 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.

Probationary work:

9. Martinov I. E., Ilchishin V. M., Shovkun V.O. Doslidzhennya napruzhenodeformovanogo stanu elementiv buksovih pidshipnikovih vuzliv. *Problemi ta perspektivi rozvitku transportnih sistem v umovah reformuvannya zaliznichnogo transportu: upravlinnya, ekonomika i tehnologiyi: Materiali VI mizhnarodnoyi naukovo-tehnichnoyi konferenciyi. – Seriya "Tehnika, tehnologiyi".* K.DETUT, 2013. S. 56.
10. Martinov I. E., Ilchishin V. M., Trufanova A. V., Shovkun V. O. Analiz napruzhenodeformovanogo stanu zdvojenogo kasetnogo cilindrichnogo pidshipnika buksovogo vuzla vantazhnogo vagona. Innovacijni tehnologiyi na zaliznichnomu transporti. *V mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya // Zb. nauk. prac konferenciyi. 31 bereznya – 7 kvitnya 2014 r., m. London (Angliya): –* Lugansk, 2014. S. 52–53.
11. Shovkun V. O. Analiz rezultativ ekspluatacijnih viprobuvan zdvojenih kasetnih pidshipnikiv CBU buksovih vuzliv vantazhnih vagoniv. *Tezi dopovidej. Zbirnik tez XLIV naukovo-praktichnoyi konferenciyi molodih uchenih, aspirantiv i studentiv. – Suchasni problemi zaliznichnogo transportu: Ch 1.* Kiyiv 2014. S.

43–44.

12. Martinov I. E., Shovkun V.O. Doslidzhennya napruzhenno-deformovanogo stanu elementiv buksovih pidshipnikovih vuzliv. *Tezi dopovidej. Zb. nauk. prac.* Harkiv: UkrDAZT, 2013. Vip. 139. S. 295.

13. Martinov I. E., Trufanova A. V., Shovkun V. A. Postroenie prostranstva kachestva buksovogo uzla gruzovogo vagona. *Kompyuternoe modelirovanie v zheleznodorozhnom transporte: dinamika, prochnost, iznos. III nauchno-tehnicheskij seminar: 6-7 aprelya 2016 g. Bryansk (Rossiya). Sbornik tezisov.* S. 57.

14. Martynov I. E., Trufanova A. V., Shovkun V. O. Ocenka dinamicheskikh pokazatelej vagona poluchennyh s ispolzovaniem modeli «vagon zheleznodorozhnyj put». *"Problemy bezopasnosti na transporte"VIII Mizhnarodna naukovo-praktichna konferenciya 23-24 noyabrya 2017 g., Respublika Belarus, g. Gomel.* S. 126-127.

15. Martinov I. E., Trufanova A. V., Shovkun V. O. Pobudova imitacijnoyi modeli «vagon-zaliznichna koliya» dlya modelyuvannya dinamichnogo procesu navantazhennya buksovogo vuzla. *"Problemi nadijnosti ta dovgovichnosti inzhenernih sporud i budivel na zaliznichnomu transporti".VII Mizhnarodna naukovo-tehnichna konferenciya. Tezi dopovidej.* 14-16 listopada 2018 r. Harkiv: UkrDUZT 2018. S 47-48.

Works that additionally reflect the results of the dissertation:

16. Martynov I. E., Trufanova A. V, Shovkun V. O. Analiz nadezhnosti buksovych podshipnikovych uzlov gruzovyh vagonov. *"Mir transporta": nauchno-prakticheskij zhurnal* 2015. T. 13. № 3 (58). S. 226-232.

## *ЗМІСТ*

СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ .....	21
ВСТУП.....	23
РОЗДІЛ 1            АНАЛІЗ ВИКОНАНИХ РОБІТ ТА ЗАДАЧІ	
ДОСЛІДЖЕННЯ .....	31
1.1     Аналіз технічного стану елементів буксових вузлів вантажних вагонів .....	31
1.2     Аналіз досліджень, присвячених підвищенню працездатності буксових підшипникових вузлів вагонів.....	37
Висновки за розділом 1 .....	58
РОЗДІЛ 2    УДОСКОНАЛЕННЯ            МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ	
ПОКАЗНИКІВ НАДІЙНОСТІ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ .....	60
2.1     Обґрунтування можливості використання теорії випадкових процесів для аналізу надійності буксових вузлів .....	60
2.2     Визначення вимірності простору допустимих станів буксового вузла вантажного вагону .....	62
2.3     Обґрунтування вибору методу для побудови простору допустимих станів буксового вузла вантажного вагона .....	68
2.4     Побудова геометричної моделі буксових підшипникових вузлів з конічним та циліндричними підшипниками .....	73
2.5     Аналіз отриманих результатів розрахунку напружено-деформованого стану буксових підшипників .....	77
2.6     Висновки за розділом 2 .....	88
РОЗДІЛ 3            ВИЗНАЧЕННЯ    ХАРАКТЕРСТИК ДИНАМІЧНИХ	
ПРОЦЕСІВ ЗАВАНТАЖЕННЯ БУКСОВИХ ВУЗЛІВ.....	90
3.1     Динамічні сили, що діють на рухомий склад в процесі експлуатації .....	90
3.2     Побудова імітаційної моделі "вагон-залізнична колія" .....	91
3.3     Характеристики імітаційної моделі "вагон-залізнична колія" ...	95

3.4	Визначення імовірнісних характеристик процесів навантаження, отриманих за результатів моделювання.....	99
3.5	Перевірка адекватності результатів, отриманих у процесі моделювання.....	101
3.5	Побудова простору допустимих станів .....	104
3.6	Висновки за розділом 3 .....	110
<b>РОЗДІЛ 4 ВИЗНАЧЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ДОВГОВІЧНОСТІ</b>		
<b>БУКСОВИХ ВУЗЛІВ .....</b>		
4.1	Визначення показників безвідмовності буксових підшипників за запропонованою теоретичною моделлю.....	112
4.2	Визначення ресурсу буксових підшипників.....	114
4.3	Експериментальні дослідження надійності буксових підшипників різних типів.....	116
4.3.1	Планування випробувань на надійність .....	116
4.3.2	Основні результати випробувань.....	125
4.4	Розрахунок економічного ефекту .....	131
	Висновки за розділом 4 .....	140
<b>ВИСНОВКИ .....</b>		
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>		
Додаток А	Основні конструкції вантажних візків .....	167
Додаток Б	Розподілення напружень у підшипниках.....	171
Додаток В	Основні результати моделювання динамічних процесів навантаження .....	175
Додаток Г	.....	178
Додаток Д	Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації .....	180
Додаток Е	Акти впровадження результатів дисертації.....	184

## **СПИСОК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ**

БВ	Буксовий вузол
ВНДІЗТ	Всеросійський науково-дослідний інститут залізничного транспорту (м. Москва, Росія)
ВНДПП	Всеросійський науково-дослідний конструкторсько-технологічний інститут підшипникової промисловості (м. Москва, Росія)
ВЧД	Вагонне депо
ДержНДІВ	Державний науково-дослідний інститут вагонобудування (м. Москва, Росія)
ДНУЗТ	Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна
ЄПК	Європейська підшипникова корпорація
ІБР	Імовірність безвідмовної роботи
ЛЗ-ЦНП	Мастило буксове літнє - зимове
НДС	Напружено-деформований стан
МДУ ШС	Московський державний університет шляхів сполучення
МСЕ	Метод скінчених елементів
МШС	Міністерство шляхів сполучення
ПАТ ХарП	Публічне акціонерне товариство "Харківський підшипниковий завод"
ПОНАБ	Прилад виявлення нагріву букс
РВУ ШС	Російський відкритий університет шляхів сполучення (м. Москва, Росія)
ПТО	Пункт технічного обслуговування вагонів
РС	Рухомий склад
УЗ	Акціонерне товариство "Українська залізниця"
УкрНДІВ	Державне підприємство "Український науково-дослідний інститут вагонобудування"
УкрДУЗТ	Український державний університет залізничного транспорту

ТВУ	Підшипниковий вузол, обладнаний дворядним конічним підшипником касетного типу
СВУ	Підшипниковий вузол, обладнаний здвоєним циліндричним підшипником касетного типу

## ***ВСТУП***

***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 роликовими 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 роликові 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 унеможливорює 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 вагомим 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 СВU (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 СБУ" (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 двовимірною 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 "UM 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.** Результати дисертаційної 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 ЗРС".

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. Праці [163, 164] написані здобувачем одноосібно. У роботах, які опубліковані у співавторстві, здобувачу належить: [165, 171, 174] – аналіз результатів розрахунку напружено-деформованого стану буксового вузла вантажного вагону; [166] – аналіз перспективних конструкцій буксових вузлів; [167, 6, 172] – розроблення моделі міцності касетного підшипника буксового вузла вантажного вагона; [178] – аналіз результатів експлуатаційних випробувань буксових вузлів вантажних вагонів; [169, 173] – оцінка показників надійності буксових вузлів вантажних вагонів; [175] – визначення меж простору допустимих станів буксового вузла вантажного вагону.

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 вагобудування" (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.*** Повний обсяг тексту дисертації складає 186 сторінок, обсяг основного тексту складає 124 сторінки. Робота ілюстрована 58 рисунками, наведена 1 таблиця, список використаних джерел включає 178 найменувань, 6 додатків.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Абашкин В. В., Девятков В. Ф., Амелина А. А. и др. Опыт эксплуатации вагонов с буксовым узлом на роликовых подшипниках. *абота вагонных букс с роликовыми подшипниками при высокоскоростном движении. Труды ВНИИЖТ.* –М.: Транспорт, 1970. Вып. 405. С. 4-9.
2. Абашкин В. В., Девятков В. Ф. Буксовый узел с упругими элементами. *Повышение надежности и долговечности роликовых подшипников в буксах вагонов. Труды ВНИИЖТ.* – Москва: Транспорт, 1978. Вып. 583. С. 13-23.
3. Амелина А. А. Устройство и ремонт вагонных букс с роликовыми подшипниками. – Москва: Транспорт, 1975. 286 с.
4. Андриевский В. Г., Гайдамака А. В., Иванов С. Г. и др. Роликоподшипники буксовых узлов вагонов с сепарирующими полиамидными элементами взамен латунного сепаратора. *Харьковский институт инженеров железнодорожного транспорта. Межвуз. сб. науч. тр.* - Харьков, 1987. Вып. 3. С. 3-9.
5. Беляев Ю. К. Статистические методы обработки результатов испытаний на надежность. –Москва: Знание, 1982. 100 с.
6. Беляев Ю. К. Непараметрические методы в задачах обработки результатов испытаний и эксплуатации.– Москва: Знание, 1984. 116 с.
7. Беляев Ю. К. Статистические методы обработки неполных данных о надежности изделий. – Москва: Знание, 1987. 112 с.
8. Бережинский В. М. Влияние перекоса колец бомбинированного конического роликоподшипника на характер контакта торца ролика с опорным бортом. *Совершенствование методов расчета и экспериментальных исследований подшипников качения. Труды*

*ВНИИПП.* – Москва: 1981. № 2. С. 28-34.

9. Бережинский В. М. Повышение долговечности конических подшипников, применяемых в ступицах передних колес грузовых автомобилей *Исследование и разработка прогрессивных конструкций подшипников. Труды ВНИИПП.* – М.: 1982. №3. С. 54-73.

10. Болотин В. В. Применение методов теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений – Москва: Стройиздат, 1971. 256 с.

11. Болотин В. В. Статистические методы в строительной механике. – Москва: Стройиздат, 1961. 202 с.

12. Борзилов И. Д., Гайдамака А. В., Федорец Е. В. О возможности повышения эксплуатационной надежности торцового крепления букс с роликовыми подшипниками. *остовский институт инженеров железнодорожного транспорта. Межвуз. темат. сб.* - Ростов-на-Дону, 1982. Вып. 167. С. 66-69.

13. Борзилов И. Д., Гапий В. З., Алексеев Ю. А. Распределение нагрузки по виткам резьбовых соединений осевого крепления букс вагонов. *Харьковский институт инженеров железнодорожного транспорта. Межвуз. сб. науч. тр.* – Харьков, 1987. Вып. 3. С. 15-17.

14. Буше Н. А., Копытько В. В., Цюренко В. Н. и др. Корпус роликовых букс грузовых вагонов из алюминиевых сплавов. *Пути совершенствования конструкций буксовых узлов вагонов с подшипниками качения. Труды ВНИИЖТ.* – Москва: Транспорт, 1982. Вып. 654. С. 98-102.

15. Варфоломеев В. А., Мотовилов К. В., Мартынов И. Э. и др. Исследование осевых сил, действующих на буксовые узлы грузовых вагонов. *М-во путей сообщения ССС, Моск. ин-т инж. ж.-д. транспорта им. Ф. Э. Дзержинского.* – Москва, 1990. 13 с.



16. Венцель Е. С. Теория вероятностей. - Москва: Гос. изд-во физ.-мат. лит. 1958. 464 с.
17. Венцель Е.С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. – Москва: Высш. шк., 2000. 480 с.
18. Венцель Е.С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. Учебное пособие. – Москва: Высш. шк., 2000. 383 с.
19. Войнов К. Н. Надежность вагонов. – Москва: Транспорт, 1989. 110 с.
20. Волков Н. Н., Родзевич Н. В. Подшипники качения колесных пар вагонов и локомотивов . – Москва: Машиностроение, 1972. 168 с.
21. Галахов М. А., Флакман Я. Ш. Выбор геометрии контакта ролик-кольцо для подшипников букс подвижного состава. *остовский институт инженеров железнодорожного транспорта. Межвуз. темат. сб.* – Ростов-на-Дону, 1977. Вып. 140. С. 56-60.
22. Галахов М. А., Флакман Я. Ш. Распределение давления в контакте профилированного ролика с кольцом подшипника. *Вестник машиностроения.* – 1978. № 2 С. 34-37.
23. Галахов М. А. Флакман Я. Ш. Метод оптимального выбора формы образующей цилиндрического ролика. *Известия высших учебных заведений.* -Москва: Машиностроение, 1976. № 3. С. 24-27.
24. Галин Л. А. Контактные задачи теории упругости. – М.: Машгиз, 1949. – 236 с.
25. Галлагер Р. Метод конечных элементов / Р. Галлагер – Москва: Мир, 1984. 428 с.
26. Герцбах И. Б., Кордонский Х. Б. Модели отказов. – Москва: Советское радио, 1966. 167 с.
27. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика. *Учебн. пособие для вузов. 8-е изд., стер.* – М.: Высш. шк.,

2002. 479 с.

28. Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К., Соловьев А. Д. Математические методы в теории надежности. – Москва: Наука, 1965. 524 с.

29. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения. [Введ. 90-07-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1990. 24 с.

30. ГОСТ 27.003-90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности. [Введ. 92-01-01]. – М.: Изд-во стандартов, 1991. 33 с

31. ГОСТ 27.201-81. Надежность в технике. Оценка показателей надежности при малом числе наблюдений с использованием дополнительной информации. Общие положения. *Государственный стандарт ССС . Гос. ком. ССС по стандартам.* -М: Издательство стандартов, 1982. 27 с.

32. ГОСТ 27.410-87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. *Государственный стандарт. Гос. ком. ССС по стандартам.* -М: Издательство стандартов, 1988. 109 с.

33. Девяткин В. П., Девятков В. Ф., Мирза А. Н. Вагонные буксовые подшипники из стали регламентируемой прокаливаемости (ШХ4). *Повышение надежности и долговечности роликовых подшипников в буксах вагонов. Труды ВНИИЖТ.* – Москва: Транспорт, 1978. Вып. 583. С. 48-67.

34. Девятков В. Ф. Цюренко В. Н. Некоторые причины разрушений цилиндрических роликовых подшипников в буксах вагонов. *абота вагонных букс с роликовыми подшипниками при высокоскоростном движении. Труды ВНИИЖТ.* - Москва: Транспорт, 1970. Вып. 405. С. 59-67.

35. Девятков В. Ф., Абашкин В. В. Опыт эксплуатации буксовых узлов с роликовыми подшипниками вагонов грузового и пассажирского парка. *Вопросы перевода подвижного состава на роликовые подшипники. Труды ВНИИЖТ.* – Москва: Транспорт, 1961. Вып. 221. С. 16-24.
36. Дмитрюк Г. Н., Песик И. Б. Надежность механических систем. –Москва: "Машиностроение", 1966. 366 с.
37. Дружинин Г. В. Методы оценки и прогнозирования качества – Москва: Радио и связь, 1982. 160 с.
38. ДСТУ 2708-94. Метрологія. Повірка засобів вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення. [Чинний від 95-07-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 1994.–12с. (Національний стандарт України).
39. ДСТУ 3004-95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. [Чинний від 1997-01-01]. К.: Держстандарт. 129 с. – (Національний стандарт України).
40. ДСТУ 3215-95. Метрологія. Метрологічна атестація засобів вимірювальної техніки. Організація і порядок проведення. [Чинний від 96-07-01]. – К.: Вид-во УкрНДІССІ, 1995. 11 с. (Національний стандарт України).
41. ДСТУ 3433-98. Моделі відмов. Основні положення. [Чинний від 99-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 1998. 90с. (Національний стандарт України).
42. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних) [Текст]. – Чинний від 2015-07-01. – К.: Мінекономрозвитку України, 2015. – 249 с.
43. Ершков Н. Д. Некоторые вопросы снижения контактных

давлений в цилиндрических роликовых подшипниках. *Исследование работы подшипников качения в буксах локомотивов. Труды ВНИИЖТ.* – М.: Транспорт, 1965. Вып. 295. С. 104-118.

44. Ершков Н. Д. Техничко-экономическая эффективность перевода грузовых вагонов на роликовые подшипники. *Вопросы перевода подвижного состава на роликовые подшипники. Труды ВНИИЖТ.* – М.: Транспорт, 1961. Вып. 221. С. 46-55.

45. Заикин Г. И. Основные направления совершенствования железнодорожных роликовых подшипников в целях повышения их эксплуатационной надежности и долговечности. *остовский институт инженеров железнодорожного транспорта. Межвуз. темат. сб.* – Ростов-на-Дону, 1982. № 167. С. 3-8.

46. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – Москва: Мир, 1975. 541 с.

47. Исаев Л. К., Чернышов С. Л. Планирование определительных испытаний по информационному критерию в случае малого числа отказов. *Надежность и контроль качества.* – 1976. №2. С. 54-60.

48. Інструкція з експлуатації та ремонту буксових вузлів колісних пар вантажних вагонів.– К.: ТОВ Девалта, 2014. 199 с. (Відомчий нормативний документ Державної адміністрації залізничного транспорту України).

49. Квасов В. И. Исследование деформаций наружных колец подшипников и корпусов букс от контактных усилий. *остовский институт инженеров железнодорожного транспорта. Межвуз. темат. сб.* – Ростов-на-Дону, 1972. Вып. 89. С. 80-91.

50. Квасов В. И. Некоторые вопросы выравнивания контактных давлений вдоль образующих тел качения буксовых цилиндрических роликоподшипников. *остовский институт инженеров*

*железнодорожного транспорта. Межвуз. темат. сб.* – Ростов-на-Дону, 1972. Вып. 89. С. 66-79.

51. Красеньков В. И. О применимости теории Герца к одной пространственной контактной задаче. *Известия вузов. Машиностроение.* – 1958. №1. С. 16-26.

52. Красюков А. П. Эффективность применения полых роликов для букс подвижного состава *остовский институт инженеров железнодорожного транспорта. Межвуз. темат. сб.* – Ростов-на-Дону, 1982. №167. С. 57-66.

53. Лукин В. В., Шадур Л. А., Котуранов В. Н. и др. Конструирование и расчёт вагонов. *Учебник для вузов ж.-д. трансп.* – Москва: УМК МПС России, 2000. 731 с.

54. Мартинов І. Е. Визначення довговічності конічних підшипників для рухомого складу. *Українська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць.* – Харків, 2007. Вип. 86. С. 56-61.

55. Мартинов І. Е. Визначення показників надійності вагонних букс за результатами випробувань. *Українська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць.* – Харків, 2005. Вип. 68. С. 191-198.

56. Мартинов І. Е. До питання оптимізації підшипників букс вантажного рухомого складу. *Українська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць.* – Харків, 2004. Вип. 64. С. 147-153.

57. Мартинов І. Е. Питання розрахунку довговічності буксових роликопідшипників. *Українська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць.* – Харків, 2000. Вип. 44. С. 76-79.

58. Мартинов І. Е. Технічний стан буксових роликопідшипників вантажних вагонів. *Харківська державна академія залізничного*

*транспорту. Зб. наук. праць.* – Харків, 2000. Вип. 41. С. 38-42.

59. Мартинов І. Е. До питання оцінки показників надійності торцевого кріплення букс вантажних вагонів. *Харківська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць.* – Харків, 2001. Вип. 46. С. 76-79.

60. Мартинов І. Е. До питання удосконалення конструкції конічних підшипників транспортних засобів. *Зб. наук. праць Київського університету економіки і технологій транспорту: Серія "Транспортні системи і технології".* – Київ, 2004. Вип. 5. С. 45-48.

61. Мартинов І. Е. Дослідження напруженого стану конічних роликотітшипників. *Українська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць.* – Харків, 2007. Вип. 81. С. 83-86.

62. Мартинов І. Е. Розвиток методів розрахунку та випробувань буксових тітшипникових вузлів вантажних вагонів з урахуванням особливостей їх експлуатації: дис. ... доктора техн. наук: 05.22.07. Харків: 2009. 431 с.

63. Мартынов И. Э. Анализ опыта эксплуатации цилиндрических роликотітшипников букс грузовых вагонов. *Вісник Східноукраїнського державного університету.* – Луганськ, 2000. №5 (27). С. 157-159.

64. Мартинов І. Е. До питання оцінки надійності буксових вузлів критих універсальних вагонів. *Українська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць.* – Харків, 2014. – Вип. 143. С. 69 –74.

65. Мартынов И. Э. Повышение уровня эксплуатационной надежности буксовых узлов железнодорожного подвижного состава: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.07. Москва: 1990. 233 с.

66. Мельниченко Ю. Д. Напряженно-деформированное состояние корпуса буксы из алюминиевого сплава: дис. ... кандидата техн. наук:

05.22.07 / Мельниченко Юрий Дмитриевич. – М., 1984. – 118 с.

67. Методические рекомендации по определению экономической эффективности мероприятий НТП на железнодорожном транспорте.

*ВНИИЖТ.* – М.: Транспорт, 1991. 145 с.

68. Методические указания по определению экономической эффективности новой техники, изобретений и рационализаторских предложений на железнодорожном транспорте. – М.: ВНИИЖТ, 1991. 236 с.

69. Мирза А. А., Девяткин В. П., Девятков В. В. и др. Стальные сепараторы взамен латунных в подшипниках качения. *Вестник ВНИИЖТ.* – 1977. №8. С. 30-32.

70. Морчиладзе И. Г., Соколов А. М. Совершенствование и модернизация буксовых узлов грузовых вагонов. *Железные дороги мира.* – 2006. № 10. С. 59-64.

71. Мотовилов К. В., Перов С. В., Мартынов И. Э. Эксплуатационная надежность буксовых узлов вагонов. *Московский институт инженеров железнодорожного транспорта. Межвуз. сб. науч. тр.* – М., 1988. – Вып. 804. – С. 92-99.

72. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 т. В. С. Авдусевский и др. Т. 2. Математические методы в теории надежности и эффективности; под ред. Б. В. Гнеденко. – Москва: Машиностроение, 1987. 280 с.

73. Надежность технических систем: Справочник / Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.; под ред. И.А. Ушакова. - Москва: Радио и связь, 1985. 608 с.

74. Некрасов Т. И. Техническое обслуживание буксовых узлов / Т. И. Некрасов // М.: Транспорт, 1990. – 47 с.

75. Новиков В. Ф. Исследование распределения нагрузки в подшипниках с полыми роликами и анализ их напряженного состояния /

В. Ф. Новиков, А. П. Красюков // Ростовский институт инженеров железнодорожного транспорта. Межвуз. темат. сб. – Ростов-на-Дону, 1975. – № 112. – С. 63-69.

76. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ. - Москва, 1996 г. 355 с.

77. Перель Л. Я. Подшипники качения. *Справочник*. – Москва: Машиностроение, 1983. – 543 с.

78. Перов С. В. Совершенствование конструкции вагонных букс с подшипниками качения: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.07. – М., 1988. 316 с.

79. Петров В. А. Об оптимальных значениях радиальных зазоров вагонных роликовых подшипников / В. А. Петров, М. И. Эдельштейн, Ю. М. Проскурина [идр.] и др. // Вестник ВНИИЖТ. – 1963. – №7. – С. 44-47.

80. Петров В. А., Амелина А. А. Анализ выбора и пути развития конструкций буксового узла для оборудования вагонов магистральных железных дорог СССР. *Всесоюзный заочный институт инженеров транспорта. Сб. науч. тр.* – М.: 1984. Вып. 122. С. 4-25.

81. Петров В. А., Филатова Е. М., Мартынов В. С. Выбор параметров роликовых подшипников для перспективной нагрузки на ось тепловозов 30 тс и вагонов 25 тс. *Ростовский институт инженеров железнодорожного транспорта. Межвуз. темат. сб.* – Ростов-на-Дону, 1977. Вып. 140. С. 61-65.

82. Пиковский В. А. Некоторые вопросы расчета и применения роликоподшипников с полыми телами качения / В. А. Пиковский // Пермский политехнический институт. Сб. науч. тр. – Пермь, 1970. – Вып. 82. – С. 39-45.



83. Подшипники качения. Динамическая расчетная грузоподъемность и расчетный ресурс: ГОСТ 18855-94 (ИСО 281-89). – [Введ. 97-01-01.] – М.: Из-во стандартов, 1996. – 33 с. – (Межгосударственный стандарт).

84. Подшипники качения. *Справочник-каталог*. – Москва: "Машиностроение", 1984. 612 с.

85. Подшипниковые узлы современных машин и приборов: *Энциклопедический справочник*/ В. Б. Носов В. Б., И. М. Карпухин, Н. Н. Федотов и др.; под общ. ред. В. Б. Носова. – М.: Машиностроение, 1997. 640 с.

86. Покровский Б. Н. К вопросу  $\gamma$ -процентного ресурса подшипников качения с учетом предыстории их дефектовки. *Всесоюзный заочный институт инженеров транспорта. Сб. науч. тр.* - Москва, 1979. Вып.122. С. 48-51.

87. Покровский Б. Н. К вопросу оценки надежности подшипников качения букс вагонов. *Всесоюзный заочный институт инженеров транспорта. Сб. науч. тр.* - Москва, 1979. Вып.101. С. 5-8.

88. Покровский Б. Н. К постановке вопроса об оценке надежности подшипников качения букс вагонов. *Всесоюзный заочный институт инженеров транспорта. Сб. науч. тр.* - Москва, 1978. Вып. 97. С. 41-49.

89. Половко А. М. Основы теории надежности. –Москва: "Наука", 1964. 233 с.

90. Поляков А. И. Определение оптимальных значений радиальных зазоров роликовых подшипников. *Вестник ВНИИЖТ*. – 1966. №6. С. 34-38.

91. Поляков А. И. Определение перепада температур между роликами и наружным кольцом подшипника. *абота вагонных букс с роликовыми подшипниками при высокоскоростном движении. Труды*

*ВНИИЖТ.* – Москва: Транспорт, 1970. Вып. 405. С.97-102.

92. Поляков А. И. Результаты испытаний подшипников повышенной прочности и долговечности из стали ШХ4. *Пути совершенствования конструкций буксовых узлов вагонов с подшипниками качения. Труды ВНИИЖТ.* –М.: Транспорт, 1982. Вып. 654. С. 31-37.

93. Поляков А. И. Эксплуатационные испытания буксовых роликоподшипников из стали регламентируемой прокаливаемости ШХ4. *остовский институт инженеров железнодорожного транспорта. Межвуз. темат. сб.* - Ростов-на-Дону, 1982. Вып. 167. С. 38-42.

94. ГОСТ 24555-81. Порядок аттестации испытательного оборудования. Основные положения. [Введ.01.01.82]. - М.: Изд-во стандартов, 1981. 9 с.

95. Прилепов Н. Н. Выравнивание нагрузки по спаренным подшипникам букс подвижного состава. *Всесоюзный заочный институт инженеров транспорта. Сб. науч. тр.* – Москва, 1978. – Вып. 97. – С. 57-71.

96. Прилепов Н. Н., Петров В. А. Что показал анализ отказов подшипников качения. *Железнодорожный транспорт.* – 1976. №4. С. 55-57.

97. РД 24.050.37-90. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. [Введен в действие 91-01-01]. Москва: ГосНИИВ, 1990 г. 49 с. (Ведомственный нормативный документ).

98. РД 24.050.37-95. Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества: [Введен в действие 96-01-07]. Москва: ГосНИИВ, 1995 г. 101 с. (Ведомственный нормативный документ).

99. РД 50-690-89. Надежность в технике. Методы оценки

показателей надежности по экспериментальным данным. // Методические указания / Гос. ком. СССР по управлению качеством продукции и стандартам. -М: Издательство стандартов, 1990. – 132 с.

100. Результаты ресурсных испытаний буксовых узлов конструкции МИИТ / К. В. Мотовилов [и др.]; М-во путей сообщения СССР, Моск. ин-т инж. ж.-д. транспорта им. Ф. Э. Дзержинского. – М., 1989. – 9 с. – Деп. В ЦНИИ ТЭИ МПС 05.12.1989, № 5028 ж.-д.

101. Рипс Я. А. Информационный аспект статистических оценок надежности. *Автоматика и телемеханика*. – 1967. N 7. С. 140

102. Родзевич Н. В. Выбор и расчет оптимальной формы роликов для подшипников. *Вестник машиностроения*. – 1970. № 7. С. 29-33.

103. Родзевич Н. В. Обеспечение работоспособности спаренных цилиндрических роликоподшипников. *Машиноведение*. – 1964. №7. С. 37-38.

104. Родзевич Н. В. Устранение концентрации контактных давлений в подшипниках. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. – 1960. № 7. С. 67-76.

105. Родзевич Н. В. Экспериментальное исследование деформаций и напряжений по длине контактирующих цилиндров. *Машиноведение*. – 1966. № 1. С. 69-75.

106. Розанов Ю. А. Случайные процессы / Ю. А. Розанов. – М.: Наука, 1971. – 443 с.

107. Савчук О. М. Теоретическое исследование нагруженности роликов в подшипниках буксовых узлов подвижного состава. *Проблемы механики железнодорожного транспорта: тезисы докладов международной всесоюзной конференции*. –Днепропетровск, 1980. С. 127.

108. Свешников А. А. Прикладные методы теории случайных

функций. – М.: Наука, 1968. – 458 с.

109. Слушкин И. В. Разработка рациональных конструкций корпусов букс подвижного состава на роликовых подшипниках. *Вопросы перевода подвижного состава на роликовые подшипники. Труды ВНИИЖТ.* – М.: Транспорт, 1961. Вып. 221. С. 110-136.

110. Спектор А. А. Решение некоторых классов пространственных задач с неизвестной границей / А. А. Спектор, В. Л. Рабинович // Известия Академии наук СССР. Механика твердого тела. – 1986. – №2. – С.87-94.

111. Спектор А. А. Оптимизация внутренней геометрии и расчет характеристик контактного взаимодействия деталей цилиндрических роликовых подшипников / А. А. Спектор // Труды ВНИИПП. – М., 1963. - №1 (33). – С. 60-74.

112. Тартаковський Е. Д., Мартинов І. Е., Устич П. А. До питання створення моделі відмов буксових роликотішипників. Українська державна академія залізничного транспорту. Зб. наук. праць. – Харків, 2008. Вип. 96. С. 154-158.

113. Тихонов В. И. Выбросы случайных процессов. – Москва: Наука, 1970. – 392 с.

114. Тихонов В. И. Нелинейные преобразования случайных процессов. – Москва: Радио и связь, 1986. 296 с.

115. Тихонов В. И., Хищенко В. И. Выбросы траекторий случайных процессов. – Москва: Радио и связь, 1986. – 274 с.

116. Топольский М. В. Методы максимального использования эксплуатационной информации о надежности. *Вопросы экспериментальной оценки показателей надежности.* – Москва: Знание, 1979. 87 с.

117. Устич П. А., Карпычев В. А., Овечников М. Н. Надежность

рельсового нетягового подвижного состава. – Москва: ИГ "Вариант", 1999. 416 с.

118. Устич П. А., Карпычев В. А., Овечников М. Н. Надежность вагона. *Учебное пособие*. – Москва: МИИТ, 1997. 212 с.

119. Ушаков И. А. Анализ надежности сложных систем. – Москва: Знание, 1979. 100 с.

120. Ушаков И. А., Фишбейн Ф. И. Методы оценки надежности по результатам испытаний. – Москва: Знание. 1973. 46 с

121. Фано Р. Передача информации. Статистическая теория связи. – Москва: "Мир", 1965. 438 с.

122. Федоров Д. И., Бондарович Б. А. Надежность рабочего оборудования землеройных машин. – Москва: Машиностроение, 1981. 280 с.

123. Филатова Е. М., Битюцкий Ю. И., Матюшин С. И. К вопросу о новых методах расчета буксовых подшипников. *Всесоюзный заочный институт инженеров транспорта. Сб. науч. тр.* – Москва, 1984. Вып. 122. С. 26-38.

124. Филатова Е. М., Битюцкий Ю. И., Матюшин С. И. К расчетам оптимальных буксовых подшипников для перспективных условий эксплуатации железнодорожного подвижного состава. *Всесоюзный заочный институт инженеров транспорта. Сб. науч. тр.* – 1981. Вып. 114. С. 4-18/

125. Филатова Е. М., Мартынов В. С. Момент сопротивления вращению цилиндрического роликового подшипника при комбинированной нагрузке. *остовский институт инженеров железнодорожного транспорта. Межвуз. темат. сб.* – Ростов-на-Дону, 1977. Вып. 140. С. 66-74.

126. Филатова Е. М., Мартынов В. С. Сравнительная оценка

сопротивления вращению цилиндрического роликового подшипника при плоском и выпуклом контактах "ролик-борт". *Всесоюзный заочный институт инженеров транспорта. Сб. науч. тр.* - М., 1978. Вып. 97. С. 72-84.

127. Филатова Е. М., Матюшин С. И. Усовершенствование и разработка новых методов расчета буксовых подшипников. *остовский институт инженеров железнодорожного транспорта. Межвуз. темат. сб.* – Ростов-на-Дону, 1982. Вып. 167. С. 50-56.

128. Фишбейн Ф. И. Методы оценки надежности по результатам испытаний. – Москва: Знание, 1973. 73 с.

129. Фишбейн Ф. И. Методы планирования испытаний для контроля показателей надежности. – Москва: Знание, 1976. 51 с.

130. Хазов Б. Ф. Справочник по расчету надежности машин на стадии проектирования. – Москва: Машиностроение, 1986. 224 с.

131. Хевиленд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность. – Москва: Изд-во "Энергия", 1966. 487 с.

132. Хенди Э. Дж., Кумамото Х. Надежность технических систем и оценка риска. – Москва: Машиностроение, 1984. 528 с.

133. Цюренко В. Н. Повышение эксплуатационной надежности буксовых узлов вагонов с цилиндрическими роликовыми подшипниками: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.07. Москва, 1969. 225 с

134. Цюренко В. Н., Петров В. А. Надежность роликовых подшипников в буксах вагонов – Москва: Транспорт, 1982. 96 с.

135. Цюренко В. Н. О повышении эксплуатационной надежности торцового крепления буксы. *Вестник ВНИИЖТ.* – 1987. №2. С. 13-15.

136. Цюренко В. Н., Шавшишвили А. Д., Иванов С. Г. Повышение осевой грузоподъемности цилиндрических роликовых подшипников. *Вестник ВНИИЖТ.* – 1976. №4. С. 38-41.

137. Цюренко В. Н., Цуркан И. Г., Мирза А. Н. Особенности работы крупногабаритных цилиндрических роликоподшипников под действием осевых сил. *Вестник машиностроения*. – 1974. №11 С. 52-55.

138. Цюренко В. Н., Костеева Т. Н. Анализ эксплуатационного опыта работы роликовых подшипников в буксах вагонов. *Повышение надежности и долговечности роликовых подшипников в буксах вагонов. Труды ВНИИЖТ*. – Москва: Транспорт, 1978. Вып. 583. С. 4-13..

139. Цюренко В. Н. К определению минимального осевого зазора подшипника. *Повышение надежности и долговечности роликовых подшипников в буксах вагонов. Труды ВНИИЖТ*. – М.: Транспорт, 1978. Вып. 583. С. 97-102.

140. Цюренко В. Н., Шавшишвили А. Д. Определение оптимальной формы торцов очертания торцов роликов цилиндрических подшипников. *Повышение надежности и долговечности роликовых подшипников в буксах вагонов. Труды ВНИИЖТ*. – Москва: Транспорт, 1978. Вып. 583. С. 41-48.

141. Цюренко В. Н. Опыт эксплуатации вагонов с буксовыми узлами на подшипниках качения. *Пути совершенствования конструкций буксовых узлов вагонов с подшипниками качения. Труды ВНИИЖТ*. – М.: Транспорт, 1982. Вып. 654. С. 4-26.

142. Цюренко В. Н., Жданов И. П., Иванов С. Г. Полиамидный сепаратор для буксовых узлов вагонов. *Железнодорожный транспорт*. – 1995. №3. С. 34-37.

143. Цюренко В. Н. Причины возникновения трещин в бортах колец цилиндрических роликовых подшипников. *Повышение надежности и долговечности роликовых подшипников в буксах вагонов. Труды ВНИИЖТ*. – Москва: Транспорт, 1978. Вып. 583. С. 36-41.

144. Чебаненко В. М. К вопросу выбора рациональной конструкции

вагонной роликовой буксы. *Техника железнодорожных дорог*, 1952. №7. С. 11-16.

145. Шавшишвили А. Д. Исследование работоспособности подшипников качения букс вагонов, предназначенных для эксплуатации со скоростями движения до 200 км/ч: дисс. ... канд. техн. наук: 05.22.07. – Москва, 1981. – 142 с.

146. Шавшишвили А. Д. Анализ опыта эксплуатации вагонных букс с роликовыми подшипниками. *остовский институт инженеров железнодорожного транспорта. Межвуз. темат. сб.* – Ростов-на-Дону, 1982. №167. С. 13-18.

147. Шаронин В. С. Буксовый узел с подшипниками качения для пассажирских вагонов высокоскоростных поездов. *абота вагонных букс с роликовыми подшипниками при высокоскоростном движении. Труды ВНИИЖТ.* – М.: Транспорт, 1970. Вып. 405. С. 10-45.

148. Шаронин В. С., Проскурина Ю. М., Пини В. Е. Исследование сопротивления движению грузовых и пассажирских вагонов на роликовых подшипниках. *Вопросы перевода подвижного состава на роликовые подшипники. Труды ВНИИЖТ.* – Москва: Транспорт, 1961. Вып. 221. С. 25-45

149. Шевченко В. В., Борзилов И. Д., Кулик Л. М. Исследования по улучшению конструкции торцевого крепления букс вагонов. *Днепропетровский институт инженеров железнодорожного транспорта. Вопросы улучшения ходовых частей и обслуживания вагонов. Сб. науч. тр.* – Днепропетровск, 1987. С. 20-24.

150. Эггольм К. Ф. Вагонные роликовые буксы: устройство, эксплуатация и ремонт [Текст] / К. Ф. Эггольм, В. Н. Малиженовский / М.: Трансжелдориздат, 1940. – 194 с.

151. Эггольм К. Ф., Девятков В. Ф. Вагонные буксы с роликовыми



подшипниками - М.: Трансжелдориздат, 1953. 240 с.

152. Harris T. A. Rolling Bearing Analyses. N.-Y. Wiley. 1966.

153. Harris T. A. The Effect of Misalignment on the Fatigue Life of Cylindrical Roller Bearings, Having Crowned Members. – Papers of ASME, № 68, – Lub. 3. - 1968.

154. Hertz H. Veber die Berührung fester elastischer Körper . "Gesamelte Werke" , Leipzig, 1895.

155. Lju J. Y. Analyses of Tapered roller Bearings Considering High Speed and Combined Loading. - Transaction of ASME. – Ser. F. - Vol. 98, №4. – 1976.

156. Lundberg G. Cylinder Compressed Between Two Plane Bodies. – SKF, Goteburg, Aug. 1949.

157. Lundberg G., Palmgren A. Dynamic Capacity of Rolling Bearings. – Acta Politechnica, Mechanical Engineering Series. – Vol. 1, №3. -1947.

158. Lundberg G., Palmgren A. Dynamic Capacity of Rolling Bearings. – Acta Politechnica, Mechanical Engineering Series. – Vol. 2, №4. -1952.

159. lundberg G., Palmgren A., Bratt E. Statische Tragfähigkeit von Walzlagern // Die Kugellagerzeitschrift. – 1943. - №3.

160. Rise S. O. Mathematical analysis of random noise. – BSTG, 1945, v. 24, № 1, p. 46-159.

161. Weibull W., "A Statistical Theory of the Strength of Materials" Acta Polytechnica, Mechanical Engineering Series, Proc. Royal Swedish Academy of Engineering Sciences, No. 151, Stockholm, (1939).

162. Witte D. C. Operating Torque of Tapered Roller Bearings // ASLE Transaction, Vol. 16, №1, Jan. 1973, p. 61-67

### ***РОБОТИ ЗА УЧАСТЮ АВТОРА***

163. 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.

164. 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 ХП, 2017. Вип. № 23 (1245). С. 62-67.

165. 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.

166. 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.

167. 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.

168. 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.

169. Мартинов І. Е., Ільчишин В. М., Можейко Є. Р., Труфанова А. В., Шовкун В. О. Результати експлуатаційних випробувань здвоєних касетних циліндричних підшипників в брусах вантажних вагонів. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий* 2015. №1/7 (73). С. 8-13.

170. 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.

171. 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-технічної конференції. – Серія "Техніка, технології".* К.ДЕТУТ, 2013. С. 56.

172. Мартинов І. Е., Ільчишин В. М., Труфанова А. В., Шовкун В. О. Аналіз напружено-деформованого стану здвоєного 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.

173. Шовкун В. О. Аналіз результатів експлуатаційних випробувань здвоєних касетних підшипників СВУ 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.

174. 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.

175. 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.

176. 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.

177. 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.

178. 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.

