

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Український державний університет залізничного транспорту
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

РАВЛЮК ВАСИЛЬ ГРИГОРОВИЧ

УДК 629.4.017:629.4.018

ДИСЕРТАЦІЯ

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ З УБЕЗПЕЧЕННЯ РУХУ ПОЇЗДІВ
ШЛЯХОМ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ
ГАЛЬМОВИХ СИСТЕМ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ**

05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів

27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

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

джерело



— В. Г. РАВЛЮК

Науковий консультант

ЛОВСЬКА Альона Олександрівна
доктор технічних наук, професор

Харків – 2024

АНОТАЦІЯ

Равлюк В. Г. Розвиток наукових основ з забезпечення руху поїздів шляхом підвищення ефективності експлуатації гальмових систем вантажних вагонів. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація за здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.22.07 – рухомий склад залізниць та тяга поїздів (273 – залізничний транспорт). – Український державний університет залізничного транспорту, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2024.

Дисертаційна робота присвячена вирішенню актуальної наукової проблеми для залізничного транспорту – розвитку наукових основ з забезпечення руху поїздів шляхом підвищення ефективності експлуатації гальмових систем вантажних вагонів.

Актуальність роботи обумовлена тим, що сучасна конструкція гальмової важільної передачі візка є недосконалою, у результаті її нетривалої роботи виникає відмова пристрою рівномірного зносу колодок, що призводить до виникнення їх клинодуального зносу. Це спричиняє погіршення умов безпеки руху, збільшення опору рухові в поїздах у режимі тяги і вибігу, що призводить до значних перевитрат енергоносіїв на тягу поїздів. У зв'язку з цим виникає необхідність модернізації гальмової важільної передачі для підвищення безпеки руху поїздів.

У вступі наведено загальну характеристику дисертаційної роботи, зазначено її актуальність, зв'язок із науковими темами, сформульовано мету, а також завдання досліджень, подано практичне значення роботи і наукову новизну.

У першому розділі проведено статистичні дослідження несправностей механічних гальмових систем візків вантажних вагонів. Проаналізовано причини та природу їх виникнення.

Проаналізовано дослідження вітчизняних і закордонних учених, присвячені заходам стосовно модернізації гальмових важільних передач і проблемам забезпечення руху поїздів. Виконано аналіз вітчизняних пристроїв із

запобігання виникнення ненормативного зносу гальмових колодок і закордонних різноманітних гальмових систем візків вантажних вагонів типу «JAXON TMB», «AmstedRail» і «Truck Mounted Brake Systems», який дав змогу розглянути особливості їх роботи і виявити основні недоліки.

У другому розділі розроблено класифікацію видів і типів зносу композиційних гальмових колодок і встановлено основні причини їх виникнення. Визначено особливий характер двоплощинного переломного профілю зносу гальмових колодок на робочій площині тертя, за якого введено поняття їх клинодуального фрикційного зносу. Встановлено, що за рахунок клинодуального зносу композиційних гальмових колодок їх робоча площа буде збільшуватися в нижній частині до визначеного зносу.

Запропоновано метод квазістатичного аналізу, який дозволяє ліквідувати клинодуальний знос композиційних гальмових колодок. Використання даного методу дозволяє визначити раціональне місце розташування отвору в розпірці і підвішування тріангеля гальмової важільної передачі візка вантажного вагона моделі 18-100.

На основі системного підходу запропоновано класифікацію факторів, що впливають на працездатність і ефективність роботи гальмових систем візків вантажних вагонів. Це дало змогу визначити негативні наслідки, які впливають на характер і причини фрикційних зносів колодок, порушення умов експлуатації гальмових важільних передач, а також наносять значні збитки залізничній інфраструктурі та погіршують безпеку руху поїздів.

Розроблено графоаналітичний метод для визначення коефіцієнта клинодуальності композиційної гальмової колодки залежно від пробігу вантажного вагона, що дасть можливість належно оцінити ефективність процесу гальмування вантажних поїздів із композиційними гальмовими колодками.

Сформульовано метод для визначення геометричних параметрів корисної площі контакту гальмової колодки з поверхнею кочення колеса за утвореної верхньої шкідливої стертості залежно від величини зазора між колесом і

колодкою. Застосовуючи його, можна оцінити гальмову ефективність вантажного поїзда, обладнаного композиційними гальмовим колодками.

У третьому розділі виконано комплексний тепловий розрахунок для композиційної гальмової колодки з номінальними параметрами, яка мала робочу площу 20000 мм^2 , і колодки з клинодуальним зносом, яка мала робочу площу 15097 мм^2 , що на 25 % менше за номінальну. Результати проведеного розрахунку доводять, що величина натискання на клинодуально зношену колодку є меншою на 25,5 % за ту, яка діє на колодку з номінальними параметрами. Визначено, що зміна величина сили натискання на композиційну гальмову колодку з різними значеннями параметрів зносу під час гальмування призводить до зміни і гальмової сили, яка виникає між колесом і рейкою. Результати отриманих розрахунків доводять, що температура нагрівання під час гальмування, особливо для колодок типу 2TP-11 з клинодуальним зносом, на 16,7 % буде більшою, ніж для колодок з номінальними значеннями параметрів.

Визначено термонапружений стан колеса при взаємодії з композиційною гальмовою колодкою під час гальмування. Результати розрахунку показали, що максимальні напруження, зафіксовані на поверхні кочення колеса і складають $701,9 \text{ МПа}$, що є нижчими за допустимі на 12 %. Визначено допустимий температурний вплив на колесо під час гальмування за умови забезпечення його міцності.

Запропоновано математичний апарат для визначення міцності колодки за умови її нерівномірного навантаження. При цьому колодку розглянуто як стрижневу систему, навантажену зосередженими силами та згинальним моментом. Результати проведених розрахунків показали, що напруження в колодці дорівнюють близько $21,1 \text{ МПа}$, тобто перевищують допустимі на 29 %.

Досліджено термонапружений стан композиційної гальмової колодки з номінальними параметрами і колодки з урахуванням нерівномірного навантаження. Встановлено, що для колодки з номінальними значеннями максимальні напруження виникають у її верхній частині в зоні взаємодії спинки з боковиною, складають $14,9 \text{ МПа}$ і не перевищують допустимі

(15 МПа). А для колодки з урахуванням нерівномірного навантаження максимальні напруження, які виникають у спинці, складають 19 МПа, тобто перевищують допустимі на 21 %. Отже, міцність колодки за дії статичних сил не забезпечується.

У четвертому розділі виявлено основну причину виникнення клинодуального зносу композиційних гальмових колодок вантажних вагонів. За рахунок аналізу дії зусиль, що виникають у гальмовій системі візка, встановлено, що крутний момент, який утворюється на тріангелі руйнує різноманітні пристрої й механізми, які встановлюються на протидію йому.

Розроблено узагальнену схему-модель роботи тріангельних важільних передач. Проведено аналіз їх конструкції. Встановлено, що робота тріангелів гальмової важільної передачі є різною, з силової точки зору, через їхнє різне конструктивне підвішування до деталей візка вантажного вагона.

Запропоновано науковий підхід для оцінки дійсних сил натискання гальмових колодок на колеса. Запропонований підхід дозволяє підвищити точність проектування елементів гальмових важільних передач візків вантажних вагонів.

Теоретично доведено, що шляхом ліквідації шкідливо діючого крутного моменту, в елементах гальмових важільних передач візка досягається нормативний зазор між колодкою і колесом, що дає змогу повністю позбутися клинодуального зносу колодок у гальмових системах візків. Здійснено обґрунтування заходів щодо модернізації елементів гальмових важільних передач візків експлуатаційного парку вантажних вагонів під час виконання планових видів ремонту, які дають змогу підвищити довговічність модернізованих елементів тріангелів до 1,3 раза, а ремонтпридатність до 100 %.

Розроблено і затверджено в установленому порядку технічну, нормативну та конструкторсько-технологічну документацію для виготовлення і встановлення на візки дослідних вантажних вагонів виробництва ПАТ «Крюківський вагонобудівний завод» модернізованих гальмових важільних передач, розроблених за технологією УкрДАЗТ.

Наведено результати експлуатаційних випробувань дослідних вагонів з пробігом 121,3 тис. км з модернізованою гальмовою важільною передачею, розробленою за технологією УкрДАЗТ.

Здійснено обстеження відповідно до розробленої «Програми та методики проведення наукових виробничих досліджень гальмових систем і коліс вантажних вагонів». Під час обстежень у дослідних гальмових важільних передачах пошкоджень не виявлено, огляд пристроїв і колодок доводить їх стійку працездатність, через що забезпечується рівномірний знос колодок в умовах експлуатації та підвищується безпека руху поїздів.

У п'ятому розділі за допомогою методів математичної статистики встановлено, що застосування у вантажних вагонах модернізованої гальмової важільної передачі, розробленої за технологією УкрДАЗТ, дає змогу збільшити ресурс композиційних гальмових колодок у 2,59 раза. Отримано графічну залежність залишкового ресурсу гальмових колодок за товщиною залежно від пробігу вантажних вагонів з використанням регресійної моделі.

Для оцінювання параметрів величин зносу верхньої та нижньої частин колодки вантажних вагонів з модернізованою гальмовою важільною передачею, розробленою за технологією УкрДАЗТ, застосовано методику статистичних оцінок, що дає змогу визначити уточнені геометричні параметри колодки залежно від пробігу вантажного вагона. Застосування ресурсних характеристик дозволяє спрогнозувати основні показники ефективності використання вагонів. Розрахунки показали, що поріг пробігу вагона до повного зносу гальмової колодки у верхній частині становить 331,88 тис. км, а нижній – 343,04 тис. км.

Доведено, що гнучкість методології Бокса-Дженкінса для структурної ідентифікації ARIMA-моделей дає змогу обирати найбільш прийнятний підклас моделей з-поміж AR- та MA-складової. Залишковий ресурс гальмових колодок модернізованої гальмової важільної передачі, розробленої за технологією УкрДАЗТ, розрахований за ARIMA-моделями, дає змогу збільшити пробіг вагона в середньому до 274,95 тис. км, а також збільшити

міжремонтний період до трьох років для деповського ремонту вантажних вагонів.

У шостому розділі запропоновано методологію визначення економічного й екологічного ефекту від застосування модернізованої гальмової важільної передачі, розробленої за технологією УкрДАЗТ, за розрахунковий період, адаптовану до умов експлуатації вантажних вагонів АТ «Укрзалізниця» з урахуванням різного виду локомотивної тяги.

Визначено річну економію витрат на один вантажний вагон робочого парку АТ «Укрзалізниця» для виконання експлуатаційного вантажообігу:

- на електроенергію (електровозна тяга) становить 2778 кВт·год, що у вартісному вираженні за цінами станом на 2023 рік дорівнює 12777 грн;

- паливо (тепловозна тяга) становить 986 кг, що у вартісному вираженні за цінами станом на 2023 рік дорівнює 57595 грн;

- дизельне мастило для роботи тепловозів становить 25 кг, що у вартісному вираженні за цінами станом на 2023 рік дорівнює 2382 грн.

Розраховано економічний ефект від застосування модернізованої гальмової важільної передачі, за розрахунковий період (22 роки), який становить:

- на один вантажний вагон робочого парку – 727725 грн;

- робочий парк вантажних вагонів – 62719 млн грн.

Розраховано екологічний ефект від застосування модернізованої гальмової важільної передачі, за розрахунковий період, який становить:

- на один вантажний вагон робочого парку – 41485 грн;

- робочий парк вантажних вагонів – 2327 млн грн.

Практичне значення отриманих результатів роботи підтверджено відповідними актами впровадження в ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (м. Кременчук) і філію «Панютинський вагоноремонтний завод» АТ «Укрзалізниця» (смт. Панютине). Також результати, отримані в дисертаційній роботі, використовуються в навчальному процесі кафедри інженерії вагонів та якості продукції УкрДУЗТ при підготовці здобувачів вищої освіти (бакалаврів і магістрів) за спеціальністю

273 – Залізничний транспорт, а також для слухачів навчально-наукового центру освіти дорослих.

Keywords: безпека руху, гальмова система, залізничний транспорт, рухомий склад залізниць, транспортна механіка.

ABSTRACT

Ravlyuk V. G. Development of scientific basis for train safety by improving the efficiency of wagon braking systems. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Engineering Sciences in Specialty 05.22.07 Rolling Stock of Railways and Train Traction (273 Railway Transport). – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2024.

The dissertation is devoted to solving an urgent scientific problem for railway transport, that is the development of scientific basis for train traffic safety by improving the efficiency of wagon braking systems.

The relevance of the work is due to the fact that the modern design of the bogie brake lever transmission is imperfect, and even after a short-term operation, the device for the parallel retraction of brake shoes fails, and dual wedge-shaped wear appears on the pads. This jeopardises traffic safety, increases resistance to train movement in both the traction and run modes, thus, this may lead to significant energy consumption. In this regard, there is a need to modernize the brake lever transmission in order to improve the train traffic safety.

The Introduction section provides a general description of the dissertation, indicates its relevance, linkage to scientific topics, purpose, research objectives, practical significance and scientific novelty.

Section One presents statistical research of malfunctions of the mechanical brake system of wagon bogies and an analysis of their causes and nature.

The work includes an analysis of measures to modernize the brake lever transmission, carried out in Ukraine and other countries and related to the problems

of train traffic safety. It also includes an analysis of devices for preventing excessive wear of brake pads manufactured in Ukraine, and an analysis of various brake systems of wagon bogies such as Jaxon TMB, AmstedRail and Truck Mounted Brake Systems. Thus, their performance characteristics are considered and the main shortcomings are identified.

Section Two a classification of wear types for a composite brake pad is developed and the main causes of its wear are identified. A special nature of the two-plane broken profile of the brake pad wear on the working frictional surface is described, and the concept of dual wedge-shaped frictional wear is defined. It is established that due to the dual wedge-shaped wear of composite brake pads, their working area increases in the lower part to a certain value.

A method of quasi-static analysis is proposed to eliminate the dual wedge-shaped wear of composite brake pads. By using this method, it is possible to determine the rational location of the slot in the brake strut and the suspension of the brake beam of the bogie brake lever transmission in the wagon model 18-100.

On the basis of a systematic approach is proposed for a classification of factors influencing the safe operation and efficiency of brake systems of wagon bogies. This makes it possible to identify the negative consequences that affect the nature and causes of frictional wear of pads, violate the operating conditions of the brake lever transmission, cause significant damage to the railway infrastructure, and impair the train traffic safety.

A graphic analytical method is developed for determining the coefficient of dual wedge-shaped wear of a composite brake pad depending on the wagon mileage; this can be used for proper evaluating of braking efficiency of freight trains with composite brake pads.

A method is formulated for determining the geometric parameters of the useful contact area between the brake pad and the wheel rolling surface according to the upper harmful abrasion and depending on the value of gap between the wheel and the pad. This method can be used to evaluate the braking of a freight train equipped with composite brake pads.

Section Three presents a complex thermal calculation for a composite brake

pad with nominal parameters and with a working area of 20,000 mm², and a composite brake pad with dual wedge-shaped wear and a working area of 15,097 mm², which is 25 % lower than the nominal value. The results of the calculation show that the pressure on the pad with dual wedge-shaped wear is 25.5% less than the pressure on the pad with nominal parameters. It is found that a change in the pressing force on a composite brake pad with different values of wear during braking can lead to a change in the braking force occurring between the wheel and the rail. The results of the calculations show that the heating temperature during braking, especially for 2TP-11 pads with dual wedge-shaped wear, is 16.7 % higher than that for pads with nominal parameters.

The thermal stress state of the wheel interacted with the composite brake pad during braking is determined. The results of the calculations show that the maximum stresses recorded on the rolling surface of the wheel are 701.9 MPa, which is 12 % lower than the permissible values. The permissible temperature impact on the wheel during braking is determined, provided that the strength of the wheel is ensured.

A mathematical apparatus for determining the strength of a pad under uneven loading is proposed. The pad is considered as a rod system loaded with concentrated forces and bending moment. The results of the calculations show that the stresses in the pad are about 21.1 MPa, thus, they are 29 % higher than the permissible values.

The thermal stress states of a composite brake pad with nominal parameters and a pad with uneven loading are studied. It is found that for a pad with nominal parameters the maximum stresses occur in its upper part in the area of interaction between the back and the sidewall; they amount to 14.9 MPa and do not exceed the permissible values (15 MPa). However, given uneven loading on a pad, the maximum stresses that occur in the back are 19 MPa, i.e., they exceed the permissible values by 21 %. Therefore, the strength of the pad under static forces is not ensured.

Section Four reveals the major cause of dual wedge-shaped wear of the composite brake pad of a wagon. By analysing the effect of forces arising in the bogie brake system, it is found that the torque moment generated on the brake beam can be harmful for various devices and mechanisms installed to counteract it.

A generalized model diagram of lever transmission operation for the brake beam is developed. The design of brake beams is analysed and it is established that the operation of brake beams of the lever transmission is different in terms of power because their suspension to the parts of the wagon bogie varies for each design.

A scientific approach to evaluating the actual pressing forces from the brake pad to the wheel is proposed. It can be used to improve the design accuracy of brake lever transmission elements of wagon bogies.

As proven theoretically, by eliminating the harmful torque in the brake lever transmission elements of a bogie, the gap between the pad and the wheel can reach its normative value, therefore, it is possible to completely eliminate the dual wedge-shaped wear of the pads in the bogie brake systems. The dissertation substantiates measures to modernize the elements of brake lever transmission of bogies for the operating freight wagon fleet during scheduled repairs, thus the durability of modernized elements of brake beams can be increased by 1.3 times, and their maintainability by 100 %.

The design documentation and standard specifications on manufacturing and installing the modernized brake lever transmission system is properly approved for bogies of experimental wagons manufactured by Kryukovsky Railway Car Building Works. The modernization is based on the technology developed at Ukrainian State University of Railway Transport (UkrSURT).

The dissertation presents the results of operational tests on prototype wagons with a mileage of 121,300 km and the brake lever transmission modernized using the UkrSURT technology.

The inspection was carried out in accordance with *the Programme and Methodology for Conducting Scientific Production Research of Wagon Brake Systems and Wheels*, which was also developed. The inspection identified no damage in the experimental brake lever transmission. Thus, the inspection of the devices and pads conducted proves their stable operation, which can ensure uniform wear of pads in operation and improve the train safety.

By using the methods of mathematical statistics, Section Five reveals that if the brake lever transmission of a wagon is modernised by means of the UkrSURT

technology, the service life of composite brake pads can be extended by 2.59 times. A graphical dependence between the residual service life of a brake pad by thickness and the wagon mileage is obtained by means of a regression model.

In order to evaluate the wear on the upper and lower parts of a pad on the wagon with modernised brake lever transmission developed by the UkrSURT technology, a statistical estimation methodology was applied and the refined geometric parameters of the pad depending on the wagon mileage were determined. By using the resource characteristics, it is possible to forecast the main efficiency factors of a wagon. The calculations show that the wagon mileage threshold before the pad wears out completely is 331,880 km for its upper part and 343,040 km for its lower part.

Thanks to the flexible nature of the Box-Jenkins method for the structural identification of ARIM-models, it is possible to choose the most appropriate subclass of models among the AR- and MA-components. The residual service life of the brake pads of the brake lever transmission modernized with the UkrSURT technology was calculated using ARIMA models. This proves that it is possible to increase the wagon mileage to approximately 274,950 km, and extend the overhaul period to three years for wagons repaired at wagon repair depots.

Section Six proposes a method for determining the economic and environmental effect of using the bogie brake lever transmission modernized with the UkrSURT technology over the calculation period, provided it is adapted to the operating conditions under which the wagons of JSC Ukrzaliznytsia operate according to different types of locomotive traction.

The annual cost savings per wagon of the operating freight wagon fleet of Ukrzaliznytsia for operational cargo turnover are:

– on electricity (electric traction) – 2,778 kWh, which is equal to UAH 12,777 in value terms at prices as of 2023;

– on fuel (diesel locomotive traction) – 986 kg, which is equal to UAH 57,595 in value terms at prices as of 2023; and

– on diesel oil for diesel locomotives – 25 kg, which is UAH 2,382 in value terms at prices as of 2023.

The economic effect of the modernised brake lever transmission for the calculation period (22 years) is:

- UAH 727,725 per wagon of the operating fleet; and
- UAH 62,719 million for the operating freight wagon fleet.

The environmental effect of the modernised brake lever transmission for the calculation period is:

- UAH 41,485 per wagon of the operating fleet; and
- UAH 2,327 million for the operating freight wagon fleet.

The practical significance of the results of the dissertation is confirmed by the certificate of commissioning at Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute (Kremenchug) and Panyutinsky Car Repair Plant, a branch of Ukrzaliznytsia. The results obtained are also included in the Bachelor's and Master's curricula of Speciality 273 Railway Transport at the Department of Wagon Engineering and Product Quality, as well as for students of the Educational and Scientific Centre for Advanced Training of UkrSURT.

Keywords: traffic safety, brake system, railway transport, rolling stock, transport mechanics.

Список публікацій здобувача

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Равлюк В. Г. Аналіз негативних наслідків від ненормативної взаємодії гальмівних колодок з колісними парами у вантажних вагонах. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси*. 2016. Вип. 49 (1221). С. 119 – 123. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vcpimtck_2016_49_23 ISSN 2411-2798
2. Равлюк В. Г. Дослідження кінематики відведення гальмівних колодок від коліс у візках вантажних вагонів. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2017. Вип. 4 (234). С. 195 – 198. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VSUNU_2017_4_40 ISSN 1998-7927
3. Равлюк В. Г. Щодо визначення силових перетворень при клиноподібному зносі гальмових колодок вантажних вагонів. *Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин*. 2017. № 40 (1262). С. 75 – 80. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vcpidmm_2017_40_16 ISSN 2078-9130
4. Равлюк В. Г. Оцінювання факторів утворення дуального фрикційного зносу гальмових колодок. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології»*. 2018. № 31 (2017). С. 109 – 126. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpdetut_tsit_2017_31_13 ISSN 2617-9040
5. Равлюк В. Г. Спрощений кінетостатичний аналіз гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології»*. 2018. № 32. С. 55 – 70. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpdetut_tsit_2018_32%281%29_7 ISSN 2617-9040
6. Равлюк В. Г. Дефініція особливостей дуального зносу гальмових колодок

- вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2019. Вип. 183. С. 46 – 59. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Znpudazt_2019_183_7 ISSN 1994-7852
7. Равлюк В. Г. Дослідження особливостей дуального зносу колодок у гальмовій системі вантажних вагонів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2019. №. 2 (80). С. 111 – 126. <https://doi.org/10.15802/stp2019/166114> ISSN 2307-3489
8. Равлюк В. Г. Модернізація елементів гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2019. Вип. 5 (83). С. 108 – 121. <https://doi.org/10.15802/stp2019/182013> ISSN 2307-3489
9. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Гребенюк В. А., Ткачук М. Р. Визначення факторів, що впливають на надійність роботи гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2019. Вип. 187. С. 63 – 74. <https://doi.org/10.18664/1994-7852.187.2019.196351> ISSN 1994-7852
10. Равлюк В. Г., Афанасенко І. М., Равлюк М. Г. Дослідження геометричних параметрів гальмових колодок вантажних вагонів за шкідливого зносу. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2020. Вип. 1 (85). С. 99 – 118. <https://doi.org/10.15802/stp2020/199515> ISSN 2307-3489
11. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Кириченко І. К. Статистичне опрацювання параметрів зносу гальмових колодок вантажних вагонів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*.

2020. Вип. 2 (86). С. 74 – 91. <https://doi.org/10.15802/stp2020/203103>
ISSN 2307-3489
12. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Кириченко І. К., Ламнауер Н. Ю., Мельничук А. К. Імовірно-статистична модель зносу гальмових колодок вантажних вагонів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2020. Вип. 5 (89). С. 116 – 133. <https://doi.org/10.15802/stp2020/217633> ISSN 2307-3489
13. Равлюк В., Равлюк М., Фісіна Я., Нуруллаєв Р. Уточнені розрахунки 2D схем-моделей гальмових важільних передач для збільшення ресурсу колодок вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології»*. 2020. № 35. С. 24 – 34. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2020-35-3> ISSN 2617-9040
14. Равлюк В. Г., Ламнауер Н. Ю., Елязов І. Ш. огли, Кириченко І. К., Скубак Н. М. Оцінка ресурсу гальмових колодок вантажних вагонів в умовах експлуатації. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2021. Вип. 5 (89). С. 84 – 95. <https://doi.org/10.15802/stp2021/252036> ISSN 2307-3489
15. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Виявлення причин утворення поверхневих дефектів коліс вагонів, обладнаних композиційними колодками. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології»*. 2022. № 40. С. 102 – 120. <https://doi.org/10.32703/2617-9040-2022-40-9> ISSN 2617-9040
16. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Дослідження ненормативного зносу гальмових колодок і його вплив на ефективність гальмування вантажних поїздів. *Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад»*. 2022. № 25. С. 30 – 50. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/reruck_2022_25_5
[doi:10.47675/2304-6309-2022-25-30-50](https://doi.org/10.47675/2304-6309-2022-25-30-50) ISSN 2304-6309

17. Ravlyuk V. H., Mykhalkiv S. V., Rybin A. V., Derevianchuk Ia. V., Plakhtiy O. A. Forecasting of wear of pads of modernized brake system devices of bogies of freight cars using ARIMA models. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. Vol. 6. P. 48 – 54. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-6/048> ISSN 2071-2227 (видання індексується в базі Scopus, Q3).
18. Panchenko S., Lovska A., Ravlyuk V., Babenko A., Derevyanchuk O., Zharova O., Derevianchuk Y. Detecting the influence of uneven loading of the brake shoe in a freight car bogie on its strength. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. № 5/7 (125) P. 6 – 13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287791> ISSN 1729-3774 (видання індексується в базі Scopus, Q3).
19. Пристрій для нормативного зносу колодок механічної частини гальма візків вантажних вагонів: пат. 121003 Україна, МПК В61Н 15/00, В61Н 13/22 (2006.01), В61Н 13/34 (2006.01). а2019 00107; заявл. 03.01.19; опубл. 10.03.20, Бюл. №5. 5 с.
20. Спосіб і пристрій для підвищення довговічності та надійності механічної частини гальмівної системи вантажних вагонів: пат. 118624 Україна, МПК В61Н 15/00, В61Н 13/36 (2006.01), В61Н 13/22 (2006.01). а2017 07650; заявл. 19.07.17; опубл. 11.02.19, Бюл. №3. 8 с.
Публікації у виданнях інших держав:
21. Panchenko S., Vatulia G., Lovska A., Ravlyuk V., Elyazov I., Huseynov I. Influence of structural solutions of an improved brake cylinder of a freight car of railway transport on its load in operation. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2022. Vol. 6. P. 45 – 55. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002638> ISSN 2461-4254 (видання індексується в базі Scopus, Q2).
22. Panchenko S., Gerlici J., Vatulia G., Lovska A., Ravlyuk V., Harusinec J. Studying the load of composite brake pads under high-temperature impact from the rolling surface of wheels. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2023.

- Vol. 4. P. 155 – 167. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002994>
ISSN 2461-4254 (видання індексується в базі Scopus, Q3).
23. Panchenko S., Gerlici J., Lovska A., Ravlyuk V., Dižo J. Stanovenie úspory energetických nákladov na pohon vlaku snížením jazdného odporu. *Technológ. Žilin: Žilinská univerzita v Žiline*. 2023. Ročník 15. Číslo 2/2023. P. 104 – 109. <https://doi.org/10.26552/tech.C.2023.2.19>
ISSN 1337-8996
24. Panchenko S., Gerlici J., Vatulja G., Lovska A., Ravlyuk V., Rybin A. Method for determining the factor of dual wedge-shaped wear of composite brake pads for freight wagons. *Communications. Scientific Letters of the University of Zilina*. 2024. Vol. 26 (1). P. B31 – B40. <https://doi.org/10.26552/com.C.2024.006> ISSN 1335-4205 (видання індексується в базі Scopus, Q3).
25. Panchenko S., Gerlici J., Lovska A., Ravlyuk V., Dižo J., Harušinec J. Study on the Strength of the Brake Pad of a Freight Wagon under Uneven Loading in Operation. *Sensors*. 2024. 24(2). 463. <https://doi.org/10.3390/s24020463>
ISSN 1424-8220 (видання індексується в базі Scopus, Q1, WoS, Q2).

Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

26. Равлюк В. Г. Комп'ютерне моделювання гальмівних механізмів вантажних вагонів. *Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. (Івано-Франківськ, 5 – 7 квітня 2017 р.)*. Івано-Франківськ: Симфонія Форте, 2017. С. 123.
27. Равлюк В. Г. Проблеми з ефективним використанням гальмівних колодок вагонів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 79 міжнародної науково-технічної конференції. (Харків, 25 – 27 квітня, 2017 р.)*. Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 68 – 70.
28. Равлюк В. Г. Про критичний стан із зносом і роботою гальмівних колодок у вантажних вагонах. *Проблеми розвитку транспорту і логістики: тези доповідей VII міжнародної науково-практичної*

- конференції. (Одеса, 26 – 28 квітня, 2017 р.). Одеса: СНУ ім. В. Даля, 2017. С. 106 – 108.
29. Равлюк В. Г. Теоретичні передумови модернізації гальмової важільної передачі у візках вантажних вагонів. *Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика: тези доповідей III Всеукраїнської науково-практичної конференції.* (Маріуполь, 11 – 12 травня, 2017 р.). Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2017. С. 127 – 128.
30. Равлюк В. Г. Інноваційна модернізація гальмівної системи візків вантажних вагонів. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: матеріали 77 міжнародної науково-практичної конференції.* (Дніпро, 11 – 12 травня, 2017 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2017. С. 47 – 49.
31. Равлюк В. Г., Ловська А. О. Підвищення ефективності застосування гальмівних колодок рухомого складу нового покоління. *European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences: proceedings of the 15-th International scientific conference.* (Vienna, July 20, 2017). Vienna: «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2017. С. 57 – 61.
32. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г. Динамічна модель оцінювання робочих напружень у гальмових колодках вантажних вагонів. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: матеріали 78 міжнародної науково-практичної конференції.* (Дніпро, 17 – 18 травня, 2018 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2018. С. 48 – 50.
33. Равлюк В. Г., Ловська А. О. Стендова діагностика й дослідження особливостей зносу гальмівних колодок вантажних вагонів. *Materials of XIV international research and practice conference: Modern scientific potential – 2018. Construction and architecture Mathematics Modern information technology Technical science Physics.* (Sheffield, February 28 – March 7, 2018). Sheffield: Science and education LTD, 2018. Vol. 11. P. 12 – 16.
34. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г. Екологічні збитки довкіллю від застосування

- композиційних гальмівних колодок у вагонах. *Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика: тези доповідей IV Всеукраїнської науково-практичної конференції.* (Маріуполь, 15 – 17 травня, 2018 р.). Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2018. С. 112 – 113.
35. Равлюк В. Г. Дослідження причин виникнення дуального фрикційного зносу гальмівних колодок вантажних вагонів. *Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали II міжнародної науково-практичної конференції* (Івано-Франківськ, 3 – 5 квітня 2018 р.). Івано-Франківськ: Симфонія Форте, 2018. С. 170 – 171.
36. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г. Особливості модернізації гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів для ліквідації ненормативного зносу гальмових колодок. *Логістичне управління та безпека на транспорті: збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених.* (Київ, 16 – 17 листопада, 2018 р.). Київ: СНУ ім. В. Даля, 2018. С. 175 – 179.
37. Ravlyuk V. Research into excessive brake pad wear in freight wagons. *Globalization of scientific and educational space innovations of transport problems, experience, prospects: theses of international scientific and practical conference.* (Italy, May 2018) Italy: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2018. С. 95 – 97.
38. Равлюк В. Г. Дослідження особливостей моністичного і дуального зносу гальмівних колодок вантажних вагонів. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення: збірник наукових праць за матеріалами VIII-ї міжнародної науково-практичної конференції.* (Одеса, 23 – 25 травня, 2018 р.). Одеса: Купрієнко СВ, 2018. С. 115 – 117.
39. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Гребенюк В. А., Бондаренко В. В. Дослідження розрахункової схеми гальмової важільної передачі та побудова моделі навантаження колодок вантажних вагонів. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на*

- залізничному транспорті: тези доповідей 8 міжнародної науково-технічної конференції.* (Харків, 20 – 22 листопада 2019 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2019. С. 74 – 75.
40. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Гребенюк В. А. Формулювання причин утворення верхнього шкідливого ненормативного зносу колодок у механічній частині гальм візків вантажних вагонів. *Логістичне управління та безпека на транспорт: збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених.* (Лиман, 14 – 16 листопада, 2019 р.). Лиман: СНУ ім. В. Даля, 2019. С. 112 – 115.
41. Ravlyuk V., Ravliuk M., Hrebeniuk V., Bondarenko V. Process features and parametric assessment of the emergence of the excessive wear for the brake pads of freight car bogies. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* 2019. Vol. 708. 012025. P. 1 – 8. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/708/1/012025> (видання індексується в базі Scopus).
42. Ravlyuk V., Ravliuk M., Hrebeniuk V., Bondarenko V. Research of the calculation cheme for the brake lever transmission and construction of the load model for the brake pads of freight cars. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering.* 2019. Vol. 708. 012026. P. 1 – 8. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/708/1/012026> (видання індексується в базі Scopus).
43. Равлюк В. Г. Дослідження особливостей виникнення дуального зносу колодок у гальмовій системі візків вантажних вагонів. *Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали III міжнародної науково-практичної конференції.* (Івано-Франківськ, 3 – 5 квітня 2019 р.). Івано-Франківськ: Симфонія Форте, 2019. Т. 1. С. 213 – 217.
44. Ravlyuk V., Elyazov I., Afanasenko I., Ravliuk M. Determination of parameters of abnormal wear of brake pads of freight cars. *E3S Web of Conferences.* 2020. Vol. 166. 07003.

- <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016607003> (видання індексується в базі *Scopus*).
45. Elyazov I., Ravlyuk V., Rybin A., Hrebeniuk V. Determination of forces in the elements of the brake rigging of bogies of freight cars. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 166. 07004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016607004> (видання індексується в базі *Scopus*).
46. Равлюк В. Апробація модернізованої гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів. *Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції*. (Івано-Франківськ, 5 – 7 квітня 2021 р.). Івано-Франківськ: Кушнір Г. М., 2021. С. 381 – 384.
47. Равлюк В. Г. Виробничі дослідження гальмових систем і коліс вантажних вагонів. *Інтелектуальні транспортні технології: тези доповідей 2 міжнародної науково-технічної конференції*. (Харків, 27 – 29 квітня 2021 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2021. С. 164 – 167.
48. Равлюк В. Г., Захарченко В. В. Теоретичні засади проектування та вдосконалення гальмових систем вантажних вагонів. *Прогресивні технології засобів транспорту: тези доповідей 1 міжнародної науково-технічної конференції*. (Харків-Миргород, 23 – 24 вересня 2021 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2021. С. 123 – 125.
49. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Удосконалення конструкції гальмового циліндра вантажного вагона для попередження кутових переміщень штока. *Наука, технології, інновації: світові тенденції та регіональний аспект: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції*. (Одеса, 23 – 24 вересня 2022 р.). Одеса: ГО «Інститут інноваційної освіти», 2022. С. 112 – 113.
50. Ловська А., Равлюк В., Рибін А. Аналіз причин виникнення пошкоджень коліс вантажних візків, обладнаних композиційними гальмовими колодками. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали*

- III Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції. (Рівне, 19 – 20 жовтня 2022 р.). Рівне: НУВГП, 2022. С. 208 – 209.
51. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Особливості модернізації елементів гальмових важільних передач візків вантажних вагонів. *XI наукова конференція «Наукові підсумки 2022 року»: Збірка наукових праць.* (Харків, 20 грудня 2022 р.). Харків: Технологічний центр, 2022. С. 45.
52. Ловська А. О., Равлюк В. Г., Elyazov I. S. Визначення міцності удосконаленої конструкції гальмової важільної передачі візка вантажного вагона. *Технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку: матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції.* (Київ, 17 – 18 листопада 2022 р.). Київ: КІЗТ ДУІТ, 2022. С. 179 – 181.
53. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Дослідження технічного стану елементів гальмових важільних передач візків вантажних вагонів. *Інтелектуальні транспортні технології: тези доповідей 3 міжнародної науково-технічної конференції.* (Харків, 22 – 23 листопада 2022 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2022. С. 185 – 188.
54. Lovska A., Ravlyuk V., Elyazov I. Determination of the load of a composite brake pad of a wagon with wedge-dual wear. *Technology Transfer: Fundamental Principles and Innovative Technical Solutions: Proceedings of the 6 th Annual Conferences.* (Tallin, November 28, 2022). Tallin: Scientific Route, 2022. P. 32 – 34.
55. Lovska A., Ravlyuk V., Babenko A. Study of the stress-strain state of the brake lever transmission of the 18-100 carriage model. *ScienceRise.* 2022. Vol. 6. P. 3 – 9. <https://doi.org/10.21303/2313-8416.2022.002796> ISSN 2313-6286
56. Панченко С. В., Ватуля Г. Л., Ловська А. О., Равлюк В. Г. Дослідження термонапруженого стану клинодуально зношеної колодки вагона при експлуатаційних навантаженнях. *Сучасна наука: інновації та перспективи: матеріали міжнародної мультидисциплінарної науково-практичної інтернет-конференції молодих дослідників, здобувачів вищої*

- освіти та науковців. (Київ, 6 – 7 квітня 2023 р.). Київ: КІЗТ ДУІТ, 2023. С. 330 – 333.
57. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Дослідження технічного стану гальмових систем візків вантажних вагонів в умовах експлуатації. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: матеріали 82 міжнародної науково-практичної конференції. (Дніпро, 20-21 квітня 2023 р.)*. Дніпро: УДУНТ, 2023. С. 318 – 320.
58. Панченко С. В., Герлиці Ю., Ватуля Г. Л., Ловська А. О., Равлюк В. Г., Гарушинец Й. Дослідження термонапруженого стану композиційних гальмових колодок візків вантажних вагонів. *Транспорт: наука та практика: матеріали II-ї міжнародної науково-практичної конференції. (Київ – Одеса, 25 – 26 травня 2023 р.)*. Київ: СНУ ім. В. Даля, 2023. С. 164 – 166.
59. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Дослідження термонапруженого стану композиційної гальмової колодки з клинодувальним зносом під час гальмування. *XXVI міжнародній науково-технічній конференції „Технологія-2023”*. (Київ, 26 травня 2023 р.). Київ: СНУ ім. В. Даля, 2023. С. 97 – 99.
60. Panchenko S. V., Vatulia G. L., Lovska A. O., Ravlyuk V. G. Determination of the thermal stress state for the composite brake pad of a wagon at operational loads. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science (ICSF-2023)*. 2023. Vol. 1254. 012141. P. 1 – 12. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1254/1/012141> (видання індексується в базі Scopus).
61. Panchenko S., Vatulia G., Gerlici J., Lovska A., Ravlyuk V. Study of the Strength of the Upgraded Brake Leverage of a Wagon Bogie. In: Arsenyeva O., Romanova T., Sukhonos M., Biletskyi I., Tsegelnyk Y. (eds) *Smart Technologies in Urban Engineering (STUE 2023). Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023. Vol 807. P. 243 – 254. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46874-2_22 (видання індексується в базі Scopus).

62. Панченко С. В., Ловська А. О., Равлюк В. Г. Інноваційна механічна гальмова система візка – шлях до забезпечення руху поїздів. «*Рухомий склад нового покоління: із ХХ в ХХІ сторіччя*»: тези доповідей ІІІ міжнародної науково-практичної конференції. (Харків, 22 – 23 листопада 2023 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2023. С. 39 – 41.
63. Розробка конструкторсько-технологічної документації на проведення модернізації гальмових важільних передач візків вантажних вагонів: звіт про НДКР (заключий): Українська державна академія залізничного транспорту. № ДР 0111U008972. Харків: 2012. 53 с.
64. Panchenko S., Gerlici J., Lovska A., Ravlyuk V. Substantiation of the environmental efficiency of the device for parallel retraction of brake shoes for freight wagons. *Current problems in rail vehicles - PRORAIL 2023*. 2023. P. 109 – 118. <https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.13>
65. Підсилюючий пристрій до паралельного відведення колодок від коліс у гальмівній системі візків вантажних вагонів: пат. 121889 Україна, МПК51 В60Т 1/02 (2006.01), В61Н 15/00, В61Н 13/00. u2017 04009; заявл. 24.04.17; опубл. 26.12.17, Бюл. №24. 5 с.
66. Пристрій для запобігання ненормативного зносу колодок механічної частини гальма візків вантажних вагонів: пат. 153753 Україна, МПК (2023.01). В60Т 1/02 (2006.01), В61Н 15/00, В61Н 13/00; заявл. 19.12.22; опубл. 23.08.23, Бюл. №34. 4 с.
67. Гальмова важільна передача візка вантажного вагона з пристроєм рівномірного відведення гальмових колодок від коліс: пат. 154619 Україна, МПК51 (2023.01). В61Н 15/00, В61Н 13/26 (2006.01), В60Т 1/02 (2006.01). u2022 04848; заявл. 19.12.22; опубл. 29.11.23, Бюл. №48. 4 с.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	31
ВСТУП	32
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ З ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ГАЛЬМОВИХ СИСТЕМ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ ДЛЯ УБЕЗПЕЧЕННЯ ЇХ РУХУ	43
1.1 Дослідження причин відмов основних вузлів вантажних вагонів у вагонному господарстві	43
1.2 Аналіз основних науково-технічних публікацій з питань досліджень гальмових систем візків вантажних вагонів	50
1.3 Дослідження пристроїв для запобігання виникненню ненормативного зносу колодок у гальмовій системі візків	69
1.4 Висновки до розділу 1	80
РОЗДІЛ 2 ФОРМУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЗНОСІВ КОЛОДОК ГАЛЬМОВИХ СИСТЕМ ВАНТАЖНИХ ВІЗКІВ	83
2.1 Визначення видів і типів зносу композиційних гальмових колодок вантажних вагонів	83
2.2 Дослідження параметрів, що визначають знос гальмових колодок в експлуатації	87
2.3 Особливості квазістатичного підходу до створення теорії зношування композиційних гальмових колодок вантажних вагонів	103
2.3.1 Визначення сил на поверхні композиційної гальмової колодки	103
2.3.2 Визначення унікальних точок під час гальмування колодковим гальмом за різних коефіцієнтів тертя	108
2.3.3 Визначення місця прикладення сили до композиційної гальмової колодки та оцінювання впливу її розташування на характер зносу	111

2.3.4 Вплив одностороннього зношування колодки на моменти сил тертя	113
2.3.5 Рекомендації щодо збільшення ресурсу гальмових колодок вантажних вагонів в умовах експлуатації	119
2.4 Застосування системного підходу до формалізованого опису факторів, що впливають на функціонування елементів гальмових систем візків	120
2.5 Розроблення графоаналітичного методу для визначення коефіцієнта клинодуальності композиційної гальмової колодки	125
2.6 Визначення геометричних параметрів композиційних гальмових колодок вагонів за відомого шкідливого зносу	135
2.7 Висновки до розділу 2	144
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНОСТІ КОМПОЗИЦІЙНИХ ГАЛЬМОВИХ КОЛОДОК ЗА УМОВИ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ВПЛИВУ ВІД ПОВЕРХНІ КОЧЕННЯ КОЛІС	149
3.1 Визначення теплового режиму й зношування композиційних гальмових колодок	149
3.2 Визначення температури на поверхні тертя триботехнічної пари «гальмова колодка – колесо» під час гальмування	153
3.3 Визначення термонапруженого стану колеса за взаємодії з композиційною колодкою під час гальмування	158
3.4 Визначення напруженого стану композиційної гальмової колодки вантажного вагона	164
3.4.1 Формування математичної моделі для визначення міцності композиційної гальмової колодки вантажного вагона	164
3.4.2 Формування комп'ютерної моделі для визначення міцності композиційної гальмової колодки вантажного вагона	179
3.5 Висновки до розділу 3	187

РОЗДІЛ 4 ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ГАЛЬМОВИХ СИСТЕМ ВІЗКІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ	190
4.1 Аналіз навантаженості гальмових колодок в експлуатації та обґрунтування можливості їх ненормативного зносу	190
4.2 Визначення зусиль в елементах важільної передачі гальмової системи візків вантажних вагонів	197
4.3 Дослідження варіантів щодо модернізації гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів	214
4.3.1 Особливості модернізації гальмової важільної передачі візка	214
4.3.2 Модернізація тріангеля зміною місця розташування отвору в його розпірці	215
4.3.3 Конструкторсько-технологічні зміни модернізованої важільної передачі	222
4.4 Способи модернізації гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів в умовах вагоноремонтного підприємства	224
4.4.1 Спосіб модернізації тріангеля висвердлюванням нового отвору у розпірці	224
4.4.2 Спосіб модернізації тріангеля заміною розпірки	225
4.4.3 Спосіб модернізації тріангеля вирізанням і встановленням фрагмента розпірки із отвором після повертання	226
4.5 Дослідження напружено-деформованого стану модернізованої гальмової важільної передачі візка вантажного вагона	229
4.6 Стан дослідних пристроїв на вагонах в умовах експлуатації	233
4.7 Висновки до розділу 4	236
РОЗДІЛ 5 ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОСУ КОЛОДОК МОДЕРНІЗОВАНИХ ВАЖІЛЬНИХ ПЕРЕДАЧ ГАЛЬМОВИХ СИСТЕМ ВІЗКІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ	241
5.1 Статистичне опрацювання параметрів зносу гальмових колодок вантажних вагонів	241

5.2 Статистична модель зносу гальмових колодок вантажних вагонів	259
5.3 Прогнозування залишкового ресурсу колодок модернізованих важільних передач гальмових систем візків вантажних вагонів ARIMA моделями	272
5.4 Висновки до розділу 5	279
РОЗДІЛ 6 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ ГАЛЬМОВИХ СИСТЕМ ВІЗКІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ	283
6.1 Методика оцінювання економічного ефекту від упровадження модернізованої гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів	283
6.1.1 Вибір базового зразка	283
6.1.2 Методика визначення економічного ефекту	283
6.1.3 Визначення одноразових витрат	288
6.2 Визначення економії експлуатаційних витрат	291
6.2.1 Визначення економії витрат на гальмові колодки	291
6.2.2 Визначення економії витрат на енергоносії для тяги поїздів внаслідок зменшення опору руху поїзда	293
6.2.3 Визначення економії витрат на обточування колісних пар візка вантажного вагона	311
6.2.4 Визначення економічного ефекту на модернізацію гальмових систем візків парку вантажних вагонів	314
6.3 Визначення екологічного ефекту від упровадження модернізованої гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів	315
6.4 Висновки до розділу 6	322
ВИСНОВКИ	324
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	331

Додаток А Акти про впровадження результатів дисертації	363
Додаток Б Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	371
Додаток В Програма та методика проведення наукових виробничих досліджень гальмових систем і коліс вантажних вагонів	385
Додаток Г Карта технічного стану триботехнічної пари «гальмова колодка – колесо» вантажного вагона	386
Додаток Д Результати експлуатаційних випробовувань дослідних вагонів з модернізованою гальмовою важільною передачею, розробленою за технологією УкрДАЗТ	391
Додаток Е Результати техніко-економічного та екологічного обґрунтування від впровадження модернізованої гальмової важільної передачі, розробленої за технологією УкрДАЗТ	394

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- АТ – акціонерне товариство
БР – безпека руху
ВРП – вагоноремонтне підприємство
ГБ – гальмовий башмак
ГВП – гальмова важільна передача
ГСВ – гальмова система візка
ГЦ – гальмовий циліндр
ДП – державне підприємство
ДР – деповський ремонт
КВБЗ – Крюківський вагонобудівний завод
КГК – композиційна гальмова колодка
ККД – коефіцієнт корисної дії
КР – капітальний ремонт
МНК – метод найменших квадратів
МСЕ – метод скінчених елементів
НДКР – науково-дослідно-конструкторська робота
ППР – планово-попереджувальний ремонт
ПТР – Правила тягових розрахунків
ПТО – пункт технічного обслуговування
РС – рухомий склад
СЕМ – скінчено-елементна модель
ТО – технічне обслуговування
ТОіР – технічне обслуговування і ремонт
УкрДАЗТ – Українська державна академія залізничного транспорту
УкрДУЗТ – Український державний університет залізничного транспорту
ЦТ – центр тяжіння

ВСТУП

Актуальність теми. Розвиток транспортної системи України потребує комплексного вирішення завдань щодо підвищення ефективності експлуатації залізничного рухомого складу й гарантування безпеки руху поїздів, а зростання обсягів перевезень вантажів на АТ «Укрзалізниця» – збільшення ваги вантажних поїздів і швидкості їх руху. Це можна досягти за умови надійної роботи автоматичних гальм рухомого складу. Проте виконаний аналіз транспортних подій у вагонному господарстві доводить, що за останні роки значно погіршився технічний стан гальмового обладнання. Найбільша кількість пошкоджень припадає на механічну частину гальм, від якої насамперед залежить безпека руху поїздів. За результатами обстежень гальмових систем візків вантажних вагонів як інвентарного парку АТ «Укрзалізниця», так і промислових підприємств було встановлено, що більшість пристроїв для рівномірного відведення колодок від коліс знаходяться в незадовільному стані. Одна з причин – недосконала конструкція гальмової важільної передачі візка.

Типовий тріангель, який застосовується у візках, має врівноважену конструкцію відносно свого підвішування. Однак після приєднання до нього деталей гальмової важільної передачі ця умова порушується. Під дією сил, які створюються вагою приєднаних деталей, тріангелі нахиляються і наближуються до коліс, що супроводжується притиснення верхніх кінців колодок. Під час руху вагона без гальмування відбувається інтенсивне тертя верхніх кінців колодок об колеса. Внаслідок цього на верхніх частинах гальмової площі колодок інтенсивно зростає шкідлива стертість, яка спричиняє їх ненормативний знос. Під час гальмувань шкідлива стертість колодок додає небажаного контактного тертя, через що погіршується ефективність гальмувань у поїздах і зростає загроза безпеці руху поїздів. Також створюються сприятливі умови для виникнення високотемпературних

поверхневих пошкоджень коліс. Тому рух у більшості вантажних поїздів супроводжується гучним постукуванням коліс, що збільшує опір рухові та призводить до зайвих витрат енергоносіїв на тягу поїздів.

Зважаючи на вищевикладене, тема дисертаційної роботи є актуальною і присвячена розвитку наукових основ з забезпечення руху поїздів шляхом підвищення ефективності експлуатації гальмових систем вантажних вагонів, зорієнтована на вирішення проблеми за рахунок модернізації гальмових систем триангельних пристроїв вантажних візків. Це дасть змогу підвищити швидкість руху та ефективність процесу гальмування вантажних поїздів, зменшити експлуатаційні витрати і собівартість вантажних перевезень, збільшити ресурс вузлів гальмових систем візків на весь гарантований міжремонтний період експлуатації вантажних вагонів, незалежно від виконаного виду ремонту, і покращити безпеку руху поїздів.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалася відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року, затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України (КМУ) від 07.04.2021 р. № 321-р, а також науково-дослідних робіт за темами: «Розроблення конструкторської документації для виготовлення дослідного зразка пристрою для запобігання клиновидного зносу гальмових колодок вантажних вагонів» (ДР 0108U006508); «Розробка конструкторсько-технологічної документації на проведення модернізації гальмових важільних передач візків вантажних вагонів» (ДР 0111U008972); «Проведення розширених експлуатаційних випробовувань важільних передач візків вантажних вагонів обладнаних пристроями рівномірного зносу гальмових колодок» (ДР 0113U001807); «Проведення експертизи стандарту «Ресурсні елементні кошторисні норми. Технічне обслуговування і ремонт устаткування. Рухомий склад» (ДР 0117U003257); «Вимоги безпеки під час технічного обслуговування і ремонту вантажних вагонів та рефрижераторного рухомого складу» (ДР 0122U000287); «Використання нетрадиційних методів отримання нанопорошків і спікання при розробці модифікованої муліто-ZrO₂

кераміки стійкої до термоудару» (ДР 0121U109441), у яких автор був виконавцем.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи є розвиток теоретичних положень, методологічних основ і практичних рішень щодо забезпечення руху поїздів шляхом підвищення ефективності експлуатації гальмових систем вантажних вагонів.

Для досягнення вказаної мети в роботі були поставлені такі основні завдання наукових досліджень:

- провести аналіз стану проблеми щодо забезпечення руху поїздів шляхом підвищення ефективності експлуатації гальмових систем вантажних вагонів;
- запропонувати класифікацію видів і типів зносу композиційних гальмових колодок, визначити особливості квазістатичного підходу до створення теорії зношування колодок у гальмових системах візків вантажних вагонів;
- на підставі системного підходу класифікувати фактори, що впливають на працездатність і ефективність роботи гальмових систем візків вантажних вагонів;
- розробити графоаналітичний метод на основі емпіричних величин шкідливого зносу гальмових колодок для визначення коефіцієнта клинодуальності залежно від пробігу вантажного вагона;
- сформулювати метод для визначення геометричних параметрів колодок вантажних вагонів з урахуванням наявної у верхній частині колодки шкідливої стертості;
- визначити теплові режими під час гальмування вагона на поверхні тертя триботехнічної пари «гальмова колодка – колесо» залежно від зносу колодок;
- провести визначення термонапруженого стану композиційної гальмової колодки за умови високотемпературного впливу на поверхню кочення коліс в умовах експлуатаційних режимів;
- провести теоретичне обґрунтування напряму модернізації гальмових

систем візків вантажних вагонів;

– виконати експериментальні випробування, за результатами яких проаналізувати вплив модернізації важільної передачі на ефективність роботи гальмової системи вантажного вагона в цілому;

– спрогнозувати залишковий ресурс композиційних гальмових колодок модернізованих гальмових важільних передач залежно від пробігу вагона на підставі отриманих статистичних величин;

– запропонувати методологію визначення економічного й екологічного ефекту від використання модернізованої гальмової важільної передачі.

Об'єкт дослідження – процес гальмування вантажного вагона у складі поїзда.

Предмет дослідження – функціональні параметри гальмової системи вантажного вагона з урахуванням конструкційних, технологічних та експлуатаційних факторів із умов безпеки руху.

Методи дослідження. При виконанні дисертаційної роботи використовувалися такі теорії й методи досліджень: методи теорії ймовірностей і математичної статистики і математичного планування експериментів для проведення аналізу зібраних в умовах експлуатації статистичних даних і перевірки на точність й адекватність розроблених математичних моделей; методи теоретичної механіки для визначення дослідження принципу роботи гальмових важільних передач; методи скінчених елементів і методи будівельної механіки для визначення основних показників міцності елементів гальмових систем візків вантажних вагонів; статистичні методи для побудови регресійних моделей і їх верифікації.

Наукова новизна одержаних результатів. Розвинуто наукові основи з забезпечення руху вантажних поїздів шляхом підвищення ефективності експлуатації їх гальм, зокрема механічних гальмових систем візків вантажних вагонів.

Вперше:

– з використанням системного підходу класифіковано фактори, що

впливають на характер і причини виникнення фрикційних зносів композиційних колодок гальмових систем візків вантажних вагонів в умовах експлуатації;

- розроблено графоаналітичний метод для визначення коефіцієнта клинодуальності гальмової колодки залежно від пробігу вагона, що дає змогу оцінити ефективність гальмування та спрогнозувати безпечні умови обігу вагона;

- сформовано метод для визначення геометричних параметрів корисної площі контакту гальмової колодки з поверхнею кочення колеса за утвореної верхньої шкідливої стертості залежно від величини зазора між колесом і колодкою;

- отримано закономірності для прогнозування величин зносу колодок вантажних вагонів із модернізованими гальмовими важільними передачами, розробленими за технологією УкрДАЗТ, що дає змогу отримати уточнені геометричні параметри колодки залежно від пробігу вагона.

Дістали подальшого розвитку:

- метод визначення міцності композиційної гальмової колодки з урахуванням її нерівномірного навантаження, яке утворюється через недосконалість конструкції гальмової важільної передачі візка вантажного вагона;

- регресійна модель для прогнозування ресурсу гальмових колодок з урахуванням застосування модернізованих гальмових важільних передач, розроблених за технологію УкрДАЗТ, що, на відміну від існуючих моделей, дає можливість прогнозувати залишковий ресурс колодок за їх граничної товщини на весь гарантований міжремонтний період експлуатації вантажного вагона.

Удосконалено:

- науковий підхід щодо проектування триангельних гальмових систем візків вантажних вагонів, зокрема обґрунтовано доцільність вибору схем і розрахункових математичних моделей з урахуванням модернізації елементів

гальмових важільних передач під час виконання планових видів ремонту.

Практичне значення одержаних результатів. Запропоновано практичні рішення, спрямовані на підвищення ефективності гальмування поїздів, зменшення собівартості вантажних перевезень і покращення безпеки руху поїздів на залізничному транспорті; створено комп'ютерні моделі гальмових важільних передач візків вантажних вагонів, які дають змогу визначити міцність їх складових в експлуатації; створено комп'ютерні моделі гальмових колодок, які дають змогу визначити їх навантаженість в умовах експлуатаційних режимів.

Результати наукових досліджень, отримані в роботі, доцільно застосовувати в конструкторських і технологічних відділах як під час проєктування гальмових систем ходових частин вагонів, так і для удосконалення вагонів, які зараз експлуатуються на залізниці;

– удосконалено та запатентовано інноваційні конструкції гальмових важільних передач вантажних вагонів (Патенти України: 121003, 118624, 121889, 153753, 154619);

– запропоновано зміни та доповнення до нормативного документа ДСТУ ГОСТ 4686:2018 – Триангелі гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів. Технічні умови через урахування конструктивних змін у розпірці тріангеля.

Практичне значення отриманих результатів роботи підтверджено відповідними актами впровадження в ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (м. Кременчук) і філію «Панютинський вагоноремонтний завод» АТ «Укрзалізниця» (смт. Панютине). Також результати, отримані в дисертаційній роботі, використовуються в навчальному процесі кафедри інженерії вагонів та якості продукції УкрДУЗТ при підготовці здобувачів вищої освіти (бакалаврів і магістрів) за спеціальністю 273 – Залізничний транспорт, а також для слухачів навчально-наукового центру освіти дорослих (Додаток А).

Особистий внесок здобувача. Усі результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримані особисто здобувачем або за його безпосередньої участі. Наукові публікації [1 – 8, 19, 26 – 30, 35, 37, 38, 43, 46, 47] опубліковані без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належить: [9] – створення квазідинамічних моделей для удосконалення гальмової системи візка вантажного вагона; [10] – створення закономірностей геометричних параметрів корисної площі контакту колодок за утвореного верхнього шкідливого зносу залежно від зазора між колесом і гальмовою колодкою; [11] – створення регресійної моделі для прогнозування залишкового ресурсу колодок за товщиною залежно від пробігів вантажних вагонів; [12] – визначення ресурсних характеристик для прогнозування геометричних параметрів композиційних колодок залежно від пробігу вантажного вагона з модернізованою важільною передачею візка; [13] – розроблення схеми-моделі важільної передачі для визначення силових факторів, що дають змогу створити передумови до проектування сучасних гальмових систем візків вантажних вагонів; [14] – прогнозування граничного ресурсу композиційних колодок гальмової системи візка з модернізованою передачею залежно від пробігу вантажного вагона; [15] – систематизація дефектів коліс вантажних вагонів і визначення термонапруженого стану колеса при взаємодії з композиційною колодкою під час гальмування; [16] – розроблення процедури проведення виробничих досліджень щодо зносу композиційних гальмових колодок вантажних вагонів і визначення класифікації їх видів і типів зносу; [17] – створення закономірностей прогнозування залишкового ресурсу композиційних колодок модернізованих гальмових важільних передач залежно від пробігів вантажних вагонів; [18] – визначення полів розподілення напружень в башмаку при його нерівномірному навантаженні від композиційної гальмової колодки; [20] – розроблення інноваційного пристрою гальмової системи візка вантажного вагона й способу модернізації розпірок триангеля; [21] – створення скінчено-елементної моделі гальмового циліндра з метою

визначення міцності його конструкції; [22] – створення скінчено-елементних моделей колодок з номінальними параметрами й клинодуальним зносом з метою визначення їх термонапруженого стану; [23] – визначення питомого енергоспоживання для різних типів тягового рухомого складу під час застосування модернізованої важільної передачі візка; [24] – розроблення графоаналітичного методу для визначення коефіцієнта клинодуальності композиційних гальмових колодок залежно від пробігу вантажного вагона; [25] – розроблення математичного апарату для визначення міцності композиційної гальмової колодки при її нерівномірному навантаженні; [31, 33, 34, 40, 41, 44, 50, 52, 57, 60, 64] – створення закономірностей оцінювання гальмової ефективності засобів рухомого складу, обладнаного композиційними гальмовими колодками через їх ненормативний знос; [32, 49, 54–56, 58, 59] – створення скінчено-елементних моделей триботехнічних пар гальмових систем візків вантажних вагонів і проведення розрахунку на міцність за різних експлуатаційних режимів навантаження; [39, 42, 45, 48, 62] – створення квазідинамічних моделей важільних передач гальмових систем візків вантажних вагонів для визначення раціональних рішень модернізації з погляду детермінованого силового навантаження елементів важільних передач при гальмуванні; [36, 51, 53, 61, 63, 65–67] – впровадження пружно-стрижневих і напрямних елементів у гальмових важільних передачах візків вантажних вагонів для ліквідації ненормативного зносу гальмових колодок в експлуатації. Дослідження, висвітлені в усіх наукових працях, проводилися в УкрДУЗТ.

Апробація результатів дисертації. Основні матеріали результатів дисертаційної роботи доповідалися, обговорювалися та отримали схвалення на 33 наукових конференціях: 79 Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті», УкрДУЗТ, 2017 (Україна, м. Харків); VII Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспорту і логістики», СНУ ім. В. Даля, 2017 (Україна, м. Одеса); III, IV Всеукраїнських науково-практичних конференціях

«Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика», 2017, 2018 (Україна, м. Маріуполь); 77, 78 Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, 2017, 2018 (Україна, м. Дніпро); 15th International scientific conference «European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences». «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2017 (Austria, Vienna); I, II, III, V Міжнародних науково-практичних конференціях «Прикладні науково-технічні дослідження», Академія технічних наук України, ДВНЗ «Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника» 2017, 2018, 2019, 2021 (Україна, м. Івано-Франківськ); XIV international research and practice conference «Modern scientific potential – 2018». Construction and architecture Mathematics Modern information technology Technical science Physics. Science and education LTD, 2018 (Great Britain, Sheffield); International scientific and practical conference «Globalization of scientific and educational space». Innovations of transport. Problems, experience, prospects, Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2018 (Italy, Rome); VIII Міжнародній науково-практичній конференції «Транспорт і логістика: проблеми та рішення», СНУ ім. В. Даля, 2018 (Україна, м. Одеса); 8 Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті», УкрДУЗТ, 2019 (Україна, м. Харків); Науково-практичних конференціях здобувачів вищої освіти та молодих вчених «Логістичне управління та безпека руху на транспорті», СНУ ім. В. Даля, 2018, 2019 (Україна, Київ, Лиман); 2, 3 Міжнародних науково-технічних конференціях «Інтелектуальні транспортні технології», УкрДУЗТ, 2021, 2022 (Україна, м. Харків); 1 Міжнародній науково-технічній конференції «Прогресивні технології засобів транспорту», УкрДУЗТ, 2021 (Україна, м. Харків); V Міжнародній науково-практичній конференції «Наука. Технології, інновації, світові тенденції та регіональний аспект», Інститут інноваційної освіти, 2022 (Україна, м. Одеса);

III Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем», НУВГП, 2022 (Україна, м. Рівне); XIV науковій конференції «Наукові підсумки 2022 року», Технологічний центр, 2022 (Україна, м. Харків); IV Всеукраїнській науково-технічній інтернет-конференції «Технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку», КІЗТ ДУІТ, 2022 (Україна, м. Київ); 6 th Annual Conferences «Technology Transfer: Fundamental Principles and Innovative Technical Solutions», Scientific Route, 2022 (Tallin, Estonia); Міжнародній мультидисциплінарній науково-практичній інтернет-конференції молодих дослідників, здобувачів вищої освіти та науковців «Сучасна наука: інновації та перспективи», КІЗТ ДУІТ, 2023 (Україна, м. Київ); 82 Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту», Український державний університет науки і технологій, 2023 (Україна, м. Дніпро); II Міжнародній науково-практичній конференції «Транспорт: наука та практика», Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, 2023 (Україна, м. Київ); 4th International Conference on Sustainable Futures: Environmental, Technological, Social and Economic Matters (ICSF-2023), Kryvyi Rih National University, 2023 (Ukraine, Kryvyi Rih); 2nd International Conference on Smart Technologies in Urban Engineering (STUE 2023), O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, 2023 (Ukraine, Kharkiv); XXVI Міжнародній науково-технічній конференції «Технологія – 2023», Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, 2023 (Україна, м. Київ); 26th International Conference Current Problems in Rail Vehicles: Prorail 2023, Scientific and Technical Society at the University of Zilina, 2023 (Slovakia, Zilina); III Міжнародній науково-практичній конференції «Рухомий склад нового покоління: із XX в XXI сторіччя», УкрДУЗТ, 2023 (Україна, м. Харків).

У повному обсязі результати дисертаційної роботи обговорені та схвалені на розширеному семінарі кафедри інженерії вагонів та якості продукції УкрДУЗТ.

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи і результати досліджень опубліковані в 67 наукових працях: 25 основних працях, з яких 16 статей у наукових фахових виданнях України (з них 8 – без співавторів); 6 наукових статей, що індексуються наукометричними базами даних SCOPUS та/або WoS (з них 1 – першого квартилю (Q1), 1 – другого квартилю (Q2), 4 – третього квартилю (Q3)); 1 – в іноземному періодичному науковому виданні; 2 патентах України на винаходи та 42 публікаціях, які додатково відображають наукові результати досліджень.

Структура і обсяг дисертації. Дисертація має вступ, шість розділів, висновки, список використаних джерел з 261 найменувань і шість додатків. Повний обсяг дисертації складає 408 сторінок, у тому числі 273 сторінки основного тексту, 31 таблицю, 125 рисунків, 46 сторінок додатків.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аналіз стану безпеки руху в структурі АТ «Укрзалізниця» у 2019 році. *Акціонерне товариство «Українська залізниця» Департамент безпеки руху*. 2019. 198 с.
2. Бабаєв А. М., Дмитрієв Д. В. Принцип дії, розрахунки та основи експлуатації гальм рухомого складу залізниць: навчальний посібник. Київ: ДЕДУТ, 2007. 176 с.
3. Бабаєв А. М., Даньш П. Д. Влияние размещения тормозных колодок на колесе грузового вагона на эффективность его торможения. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2008. Вып. 22. С. 7 – 9.
4. Бабаєв А. М., Мурадян Л. А., Винокурова С. В. О тормозных колодках дорог Украины. *Вагоны и вагонное хозяйство*. 2010. № 4. С. 43 – 44.
5. Бабанін О. Б., Ніколенко М. А., Равлюк М. Г., Равлюк В. Г. Сучасні локомотивні системи безпеки та вдосконалення їх обслуговування. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2010. Вип. 118. С. 165 - 170.
6. Балака Є. І., Зоріна О. І., Колеснікова Н. М., Писаревський І. М. Оцінка економічної доцільності інвестицій в інноваційні проекти на транспорті: навчальний посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2005. 210 с.
7. Бакарджиєв Р. О., Комаров А. О. Попередня оцінка і обробка даних при регресійному аналізі. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2015. № 28. С. 255 – 260.
8. Бідюк П. І., Ткач Б. П., Харрінгтон Т. Математична статистика: навчальний посібник. Київ: Персонал, 2018. 348 с.
9. Блохин Е. П., Манашкин Л. А. Развитие математических моделей

динамики поезда в трудах В. А. Лазаряна и его учеников. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2009. Вип. 30. С. 64 – 74.

10. Блохін Є. П., Коротенко М. Л., Буров В. С. Динаміка електричного рухомого складу: навчальний посібник. Дніпропетровськ. 2002. 138 с.

11. Блохин Е. П., Алпысбаев К. Т., Панасенко В. Я., Гаркави Н. Я., Клименко И. В., Грановский Р. Б. Федоров Е. Ф. Тележки ЗК1 полувагонов, построенных в КНР. *Вагонный парк*. 2012. №9 (66). С. 12 – 14.

12. Бобирь Д. В., Капіца М. І., Сердюк В. Н. Теорія локомотивної тяги. Тягові розрахунки для промислового залізничного транспорту: навчальний посібник. Дніпро: УДУНТ, 2022. 113 с.

13. Босов А. А., Мямлин С. В., Панасенко В. Я., Клименко И. В. Пути совершенствования конструкции тележки грузового вагона. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2009. Вип. 2. С. 27 – 32.

14. Борзилов І. Д., Равлюк В. Г., Матвієнко О. О. Моделювання технологічного процесу ремонту колісних пар вагонів на потоковій лінії. *Восточно - Европейский журнал передовых технологий*. 2008. Вып. 6/6 (36). С. 4 – 8.

15. Вагони вантажні. Система технічного обслуговування та ремонту за технічним станом: СТП 04 – 010:2018: затв. нак. АТ «Укрзалізниця» від 08.08.2019 р. №519. 2018. 25 с.

16. Вагони вантажні. Ремонт візків. Правила виконання. СТП 04 – 019:2018: затв. рішення правління АТ «Укрзалізниця» від 08.08.2019 р. № 520. 2018. 100 с.

17. Ватуля Г. Л., Глазунов Ю. В., Кравців Л. Б., Смолянчук Н. В. Розрахунок розпірних систем: навчальний посібник. Харків: УкрДУЗТ, 2016. 124 с.

18. Волошин Д. І., Афанасенко І. М., Дерев'янчук Я. В. До питання удосконалення конструкції гальмівної важільної передачі вагона-хопера.

Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. 2018. № 2 (243). С. 54 – 59.

19. Гальмова важільна передача візка вантажного вагона з пристроєм рівномірного відведення гальмових колодок від коліс: пат. 154619 Україна, МПК51 (2023.01). В61Н 15/00, В61Н 13/26 (2006.01), В60Т 1/02 (2006.01). u2022 04848; заявл. 19.12.22; опубл. 29.11.23, Бюл. №48. 4 с.

20. Голубенко А. Л. Сцепление колеса с рельсом: монографія. Київ: Випол, 1993. 448 с.

21. Горбенко А. П., Мартинов І. Е. Конструювання та розрахунок вагонів: навчальний посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2007. 150 с.

22. Горбунов М. І., Просвірова О. В., Ковтанець М. В., Кравченко К. О. Аналіз багатофункціональних способів керування фрикційною системою «Колесо – гальмо – рейка». *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту: Серія «Транспортні системи і технології»*. 2016. Вип. 28. С. 35 – 43.

23. Горобець В. Л., Бондарев О. М., Скобленко В. М. Аналіз експлуатаційної наробки несучих конструкцій рухомого складу в задачах продовження терміну його експлуатації. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2010. №. 35. С. 10 – 16.

24. Данович В. Д., Закапко В. Я. Взаимодействие колес вагона с рельсами Р65 и UIC60. *Залізничний транспорт України*. 2002. № 3. С. 18 – 21.

25. Дацун Ю. М. Визначення ступеню впливу технологічних процесів ремонту на справність вузлів тягового рухомого складу. *Східно – Європейський журнал передових технологій*. 2016. № 1/7 (79). С. 56 – 61.

26. Демин Ю. В. Научно-техническое обеспечение устойчивого развития перевозок понаправлением «Восток-Запад». *Залізничний транспорт України*. 2008. №2. С. 14 – 17.

27. Джавала Л. Л., Слюсарчук Ю. М., Хром'як Й. Я., Цимбал В. М. Теорія ймовірностей, математична статистика та імовірнісні процеси:

навчальний посібник. Львів: Львівська політехніка, 2015. 364 с.

28. Дьомін Ю. В., Черняк Г. Ю. Основи динаміки вагонів: навчальний посібник. Київ: КУЕТТ, 2003. 269 с.

29. Динамічна взаємодія рухомого складу і колії на лініях швидкісного руху суміщеного з вантажним: монографія / В. Ткаченко, С. Сапронова, Н. Брайковська, В. Твердомед. Вінниця: ГО «Європейська наукова платформа», 2021. 240 с.

30. Довідник основних показників регіональних філій АТ «Українська залізниця» (2006-2021 роки). 2021. С. 41.

31. Донченко А. В. Стратегія розвитку транспортного машинобудування для залізниць України. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2013. Вип. 139. С. 16 – 24.

32. Донченко В. С., Сидоров М. В.-С. Теорія ймовірностей та математична статистика: навчальний посібник. Київ: Київський університет, 2015. 400 с.

33. ДСТУ 7598:2014. Вагони вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних). [Чинний від 2015-01-07]. Вид. оф. Київ: Держспоживстандарт України, 2015. 162 с.

34. ДСТУ ГОСТ 4686:2018. Триангели гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів. Технічні умови. (ГОСТ 4686-2012, IDT). [Чинний від 2018-01-03]. Вид. оф. Київ: Держспоживстандарт України, 2018. 44 с.

35. ДСТУ ГОСТ 32773:2018. Суцільнокатані колеса, бандажі та центри колісні катані для залізничного рухомого складу. Шкали еталонів макроструктури. (ГОСТ 32773-2014, IDT). [Чинний від 2018-01-03]. Вид. оф. Київ: Держспоживстандарт України, 2018. 70 с.

36. Жердев М. Д., Гудков О. М., Яковенко В. Г., Мирошніченко Ю. В. Визначення економічного ефекту заходів науково-технічного прогресу на залізничному транспорті: методичні вказівки. Харків: УкрДАЗТ, 2011. 46 с.

37. Інструкція з експлуатації гальм рухомого складу на залізницях

України: ЦТ – ЦВ – ЦЛ – 0015: затв. нак. Укрзалізниці від 28.10.1997 р. № 264-Ц. 2004. 146 с.

38. Інструкція з ремонту гальмового обладнання вагонів: ЦВ – ЦЛ – 0013: затв. нак. Укрзалізниці від 25.01.2005 р. № 022-ЦЗ. 2004. 160 с.

39. Інтегрований звіт АТ «Укрзалізняця» (звіт про управління) за 2020 рік. URL: <https://portal.uz.gov.ua/wp-content/uploads/2021/07/integrovanij-zvit-uz-za-2020-rik-1.pdf> (дата звернення: 11.07.23).

40. Калабухін Ю. Є. Теоретичні положення визначення вартості життєвого циклу тягового рухомого складу. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2008. Вип. 24. С. 221 – 225.

41. Калабухін Ю. Є. Аналіз сучасного стану тягового рухомого складу залізниць України. *Локомотив-інформ*. 2008. № 11. С. 4 – 5.

42. Калабухін Ю. Є. Методологія оцінки екологічних показників функціонування магістральних тепловозів протягом життєвого циклу. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2009. №4 (134). Ч. 2. С. 88 – 95.

43. Калабухін Ю. Є. Методологія та результати оцінки техніко-економічних показників роботи магістрального локомотива при переміщенні вантажного поїзду. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2009. № 2(132). С.157 – 163.

44. Калабухін Ю. Є. Удосконалення методології визначення техніко-економічних показників функціонування тягового рухомого складу з урахуванням життєвого циклу: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07. Харків, 2010. 420 с.

45. Калабухін Ю. Є., Шраменко О. В. Визначення економічного ефекту заходів науково-технічного прогресу на залізничному транспорті: методичні вказівки. Харків: УкрДАЗТ, 2011. 30 с.

46. Калабухін Ю. Є. Результати дослідження впливу експлуатаційних

факторів на тягово-енергетичні показники використання тепловозної тяги у вантажному русі. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2011. Вип. 122. С. 66 – 75.

47. Калабухін Ю. Є., Рудковський О. В. Результати дослідження впливу експлуатаційних факторів на екологічні показники використання тепловозної тяги у вантажному русі. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2012. Вип. 129. С. 19 – 31.

48. Калабухін Ю. Є., Ольховська Т. О. Системи матеріально-технічного забезпечення за кордоном та їх сучасний розвиток. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2014. Вип. 149. С. 34 – 39.

49. Камкіна Л. В., Надточій А. А., Гришин А. М., Стогній Ю. Д. Основи наукових досліджень: навчальний посібник. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013. 89 с.

50. Кельріх М. Б., Мороз В. І., Фомін О. В. Структурно-функціональне описання конструкції модуля кузова сучасних універсальних напіввагонів. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2014. № 2(210). С. 94 – 103.

51. Кірієнко О. А. Теорія механізмів і машин. Розділ «Кінетостатичний аналіз механізмів»: навчальний посібник. Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. 64 с.

52. Класифікація несправностей вагонних колісних пар та їх елементів: затв. нак. Укрзалізниці від 15.03.2006 р. № 095-Ц. 2006. 79 с.

53. Козяр М. М., Фещук Ю. В., Парфенюк О. В. Комп'ютерна графіка: SolidWorks: навчальний посібник. Херсон: ОЛДІ-плюс, 2018. 252 с.

54. Колісні пари вантажних вагонів. Правила технічного обслуговування, ремонту та формування: СТП 04 – 001:2015: затв. нак. Укрзалізниці від 25.04.2015 р. №359-Ц. 2015. 138 с.

55. Колісні пари вагонів магістральних залізниць колії 1520 мм (конструкція, технічне обслуговування та ремонт): підручник / С. В. Панченко

та ін. Харків: УкрДУЗТ, 2018. 367 с.

56. Колодки гальмові композиційні з сітчато-дротяним каркасом для залізничних вантажних вагонів. Технічні умови: ТУ У 6-05495978.017-2001: затв. Головою правління Білоцерківського ВАТ «Трібо» від 30.01.2001 р. 27 с.

57. Коптовец А. Н. Динамическая модель тормоза. Науковий вісник НГУ, 2010, № 2. С. 64 – 67.

58. Коптовец А. Н. Идентификация состояния тормоза шахтных локомотивов в условиях структурной неопределенности. *Геотехническая механика*. 2014. № 119. С. 241 – 246. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/137482/22-Koptovets.pdf?sequence=1>. (дата звернення: 05.12.22).

59. Коренівський М. В. Пневматичне устаткування автоматичних гальм: навчальний посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2006. 122 с.

60. Коренівський М. В., Головка В. Ф., Дерев'янчук Я. В. Гальмове устаткування вагонів міжнародного сполучення: навчальний посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2007. 101 с.

61. Коропець П. А., Черніков В. Д., Костюкевич А. І. Про нерівномірний знос рухомих фрикційних пар. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2010. № 5 (147). С. 41 – 45.

62. Кулаев Ю. Ф. Методы экономической оценки инвестиционных проектов на транспорте: учебно-методическое пособие. Киев: Транспорт Украины, 2001. 182 с.

63. Кустовська О. В. Методологія системного підходу та наукових досліджень: курс лекцій. Тернопіль: Економічна думка, 2005. 124 с.

64. Куценко А., Бондар М., Чаусов М. Прикладна механіка (опір матеріалів): навчальний посібник. Київ: Знання, 2019. 530 с.

65. Лазарян В. А., Конашенко С. И. Обобщенные функции в задачах механики. Киев: Наукова думка, 1974. 191 с.

66. Лазарян В. А. Динамика транспортных средств: Избранные труды. Киев: Наукова думка, 1985. 528 с.

67. Ламнауер Н. Ю., Костюк О. Г. Прогнозування якості виробів машинобудування за параметром лінійного розміру. *Високі технології в машинобудуванні. Збірник наукових праць Національного технічного університету «ХПІ»*. 2013. Вип. 1 (23). С. 104 – 112.

68. Ламнауер Н. Ю. Забезпечення високої точності лінійних розмірів деталей на основі ймовірносно-статистичних методів оцінки якості обробки: автореф. ... д-ра техн. наук: 05.02.08. Харків, 2018. 36 с.

69. Лебєдєв Є. О., Лівінська Г. В., Розора І. В., Шарапов М. М. Математична статистика: навчальний посібник. Київ: Київський університет, 2016. 159 с.

70. Ловська А. О. Особливості комп'ютерного моделювання навантаженості контейнера з пружно-в'язкими зв'язками у фітингах при експлуатаційних режимах. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології»*. 2019. Вип. 33. Т. 2. С. 28 – 37.

71. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Удосконалення конструкції гальмового циліндра вантажного вагона для попередження кутових переміщень штока. *Наука, технології, інновації: світові тенденції та регіональний аспект: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції*. (Одеса, 23 – 24 вересня 2022 р.). Одеса: ГО «Інститут інноваційної освіти», 2022. С. 112 – 113.

72. Ловська А., Равлюк В., Рибін А. Аналіз причин виникнення пошкоджень коліс вантажних візків, обладнаних композиційними гальмовими колодками. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем: матеріали III Міжнародної науково-технічної інтернет-конференції*. (Рівне, 19 – 20 жовтня 2022 р.). Рівне: НУВГП, 2022. С. 208 – 209.

73. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Особливості модернізації елементів гальмових важільних передач візків вантажних вагонів. *XI наукова конференція «Наукові підсумки 2022 року»*: Збірка наукових праць. (Харків, 20 грудня

2022 р.). Харків: Технологічний центр, 2022. С. 45.

74. Ловська А. О., Равлюк В. Г., Elyazov I. Визначення міцності удосконаленої конструкції гальмової важільної передачі візка вантажного вагона. *Технічні науки в Україні: сучасні тенденції розвитку*: матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції. (Київ, 17 – 18 листопада 2022 р.). Київ: КІЗТ ДУІТ, 2022. С. 179 – 181.

75. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Дослідження технічного стану елементів гальмових важільних передач візків вантажних вагонів. *Інтелектуальні транспортні технології*: тези доповідей 3 міжнародної науково-технічної конференції. (Харків, 22 – 23 листопада 2022 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2022. С. 185 – 188.

76. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Виявлення причин утворення поверхневих дефектів коліс вагонів, обладнаних композиційними колодками. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології»*. 2022. № 40. С. 102 – 120.

77. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Дослідження ненормативного зносу гальмових колодок і його вплив на ефективність гальмування вантажних поїздів. *Збірник наукових праць «Рейковий рухомий склад»*. 2022. № 25. С. 30 – 50.

78. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Дослідження технічного стану гальмових систем візків вантажних вагонів в умовах експлуатації. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту*: матеріали 82 Міжнародної науково-практичної конференції. (Дніпро 20 – 21 квітня 2023 р.). Дніпро: УДУНТ, 2023. С. 318 – 320.

79. Ловська А. О., Равлюк В. Г. Дослідження термонапруженого стану композиційної гальмової колодки з клинодувальним зносом під час гальмування. *XXVI міжнародній науково-технічній конференції «Технологія-2023»*: збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених. (Київ, 23 травня, 2023 р.). Київ: СНУ

ім. В. Даля, 2023. С. 97 – 99.

80. Мазур В. Л., Найдек В. Л., Попов Є. С. Порівняння чавунних і композиційних з чавунними вставками гальмових колодок для рухомого складу залізниці. *Метал та лиття України*. 2021. №2 (325). С. 30 – 39.

81. Мазур В. Л., Сіренко К. А. Економічні та екологічні аспекти використання гальмових колодок з чавуну чи композиційного матеріалу для залізничного транспорту. *Процеси лиття*. 2022. №3 (149). С. 54 – 62.

82. Мартынов И. Э., Нечволода К. С. О способе полной ликвидации клиновидного износа тормозных колодок грузовых вагонов. *Вагонный парк*. 2010. № 4. С. 36 – 39.

83. Мартинов І. Е., Равлюк В. Г., Гребенюк В. А., Равлюк М. Г. Дослідження чинників формування дуального фрикційного зносу гальмових колодок. *Вагони нового покоління: із ХХ в ХХІ сторіччя: тези доповідей ІІ Всеукраїнської конференції*. (Харків, 23-25 квітня 2019 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2019. С. 14 – 16.

84. Мартинов І. Е., Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Гребенюк В. А. Дослідження ненормативного зносу гальмових колодок у трьохелементних візках вантажних вагонів. Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: матеріали 79 міжнародної науково-практичної конференції. (Дніпро, 16 – 17 травня 2019 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2019. С. 56.

85. Маслієв В. Г. Сучасні конструкції та динаміка рухомого складу залізниць: навчальний посібник. Харків: НТУ «ХПІ», 2014. 106 с.

86. Мельничук В. О., Савчук О. М. Швидкість вантажних вагонів: монографія. Харків: Техностандарт, 2010. 92 с.

87. Михалків С. В., Бульба В. І. Прогнозування технічного стану тягових редукторів електропоїздів дискретними стохастичними моделями. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2019. № 188. С. 23 – 35.

88. Моделирование рабочих процессов трения в колодочном колесном тормозе шахтных локомотивов: монография / А. Н. Коптовец и др. Днепро: ДВНЗ «НГУ», 2017. 258 с.

89. Мороз В. І., Фомін О. В. Формалізоване описання конструкції залізничних вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2009. Вип. 107. С. 173 – 179.

90. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Винокурова С. В. Пути развития, тенденции и перспективы дальнейшего совершенствования тормозной колодки рельсового подвижного состава. *Вагоны и вагонное хозяйство*. 2015. № 5 – 6. С. 32 – 34.

91. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Винстрот Бернд Уве, Муковоз С. П. Испытания перспективных тормозных колодок на железных дорогах Украины. *Локомотив-информ*. 2015. № 7 – 8. С. 20 – 22.

92. Мурадян Л. А., Шапошник В. Ю., Шикунів О. А. Несправності гальмівного обладнання та дефекти колісних пар вантажних вагонів. *Вісник сертифікації залізничного транспорту*. 2021. № 3 (67). С. 5 – 15.

93. Мямлін С. В. Розробка конструкцій та машинобудівних технологій створення вантажних вагонів нового покоління. *Вагонний парк*. 2014. № 10. С. 4 – 9.

94. Неижко И. Г., Найдек В. Л., Гаврилюк В. П. Тормозные колодки железнодорожного транспорта: учебное пособие. Киев: Редакция журнала «Охрана труда», 2009. 121 с.

95. Нечволода С. І., Мартинов І. Е. Неузгодженість силових факторів із триботехнічними процесами – причина клиновидного зносу гальмових колодок. *Вагонний парк*. 2013. № 10 (79). С. 14 – 17.

96. Нечволода С. І., Романюха М. О., Нечволода К. С. Проблеми нерівномірного зносу гальмових колодок у вантажних вагонах. *Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту*. 2007. Вип. 86. С. 50 – 56.

97. Основи надійності вагонів: навчальний посібник / М. Б. Кельріх та

ін. Харків: УкрДАЗТ, 2013. 106 с.

98. Панченко С. В., Ватуля Г. Л., Ловська А. О., Равлюк В. Г. Дослідження термонапруженого стану клинодуально зношеної колодки вагона при експлуатаційних навантаженнях. *Сучасна наука: інновації та перспективи: матеріали міжнародної мультидисциплінарної науково-практичної інтернет-конференції молодих дослідників, здобувачів вищої освіти та науковців.* (Київ, 6 – 7 квітня 2023 р.). Київ: КІЗТ ДУІТ, 2023. С. 330 – 333.

99. Панченко С. В., Герліці Ю., Ватуля Г. Л., Ловська А. О., Равлюк В. Г., Гарушнієц Й. Дослідження термонапруженого стану композиційних гальмових колодок візків вантажних вагонів. *Транспорт: наука та практика: збірник наукових праць за матеріалами II-ї Міжнародної науково-практичної конференції.* (Київ – Одеса, 25 – 26 травня, 2023 р.). Київ: СНУ ім. В. Даля, 2023. С. 164 – 166.

100. Панченко С. В., Ловська А. О., Равлюк В. Г. Прогнозування зносу гальмових колодок вантажних вагонів. *Інтелектуальні транспортні технології: тези доповідей IV міжнародної науково-технічної конференції.* (Харків, 22 – 23 листопада 2023 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2023. С. 255 – 257.

101. Панченко С. В., Ловська А. О., Равлюк В. Г. Інноваційна механічна гальмова система візка – шлях до забезпечення руху поїздів. *«Рухомий склад нового покоління: із XX в XXI сторіччя»:* тези доповідей III міжнародної науково-практичної конференції. (Харків, 22 – 23 листопада 2023 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2023. С. 39 – 41.

102. Повышение безопасности пассажирского поезда при аварийных ситуациях / Г. И. Богомаз, А. Д. Лашко, А. Н. Пшинько и др. // *Залізничний транспорт України.* 2007. № 4. С. 44 – 48.

103. Пристрій для рівномірного зносу колодок в гальмівній системі візків вантажного вагона: пат. 87764 Україна, МПК51, В61Н 15/00, В61Н 13/00. а2008 00021; заявл. 02.01.2008; опубл. 10.08.2009, Бюл. №15. 6 с.

104. Підсилюючий пристрій до паралельного відведення колодок від коліс у гальмівній системі візків вантажних вагонів: пат. 121889 Україна,

МПК51 В60Т 1/02 (2006.01), В61Н 15/00, В61Н 13/00. u2017 04009; заявл. 24.04.17; опубл. 26.12.17, Бюл. №24. 5 с.

105. Пристрій для нормативного зносу колодок механічної частини гальма візків вантажних вагонів: пат. 121003 Україна, МПК В61Н 15/00, В61Н 13/22 (2006.01), В61Н 13/34 (2006.01). a2019 00107; заявл. 03.01.19; опубл. 10.03.20, Бюл. №5. 5 с.

106. Пристрій для запобігання ненормативного зносу колодок механічної частини гальма візків вантажних вагонів: пат. 153753 Україна, МПК (2023.01). В60Т 1/02 (2006.01), В61Н 15/00, В61Н 13/00; заявл. 19.12.22; опубл. 23.08.23, Бюл. №34. 4 с.

107. Правила технічної експлуатації залізниць України: ЦШ–0001: затв. М-вом трансп. та зв'язку України нак. від 20.12.1996 р. №411. 2003. 133 с.

108. Проект розпорядження Кабінету Міністрів України «Про затвердження плану заходів на 2019-2021 роки з реалізації Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року». *Офіційний веб-сайт Мінінфраструктури України*. URL: <https://mtu.gov.ua/projects/193/> (дата звернення: 15.09.22).

109. Пустюльга С. І., Самостян В. Р., Клак Ю. В. Інженерна графіка в SolidWorks: Навчальний посібник. Луцьк: Вежа-Друк, 2018. 174 с.

110. Равлюк В. Г. Методичні вказівки до складання рівнянь передаточного числа гальмових важільних передач: методичні вказівки. Харків: УкрДАЗТ, 2011. 22 с.

111. Равлюк В. Г., Афанасенко І. М. Завдання на курсовий проект з методичними вказівками з дисципліни «Автоматичні гальма та безпека руху»: методичні вказівки. Харків: УкрДАЗТ, 2012. 70 с.

112. Равлюк В. Г. Аналіз негативних наслідків від ненормативної взаємодії гальмівних колодок з колісними парами у вантажних вагонах. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: *Механіко-технологічні системи та комплекси*. 2016. Вип. 49 (1221). С. 119 – 123.

113. Равлюк В. Г., Ловська А. О., Дерев'янчук Я. В., Афанасенко І. М.

Завдання та методичні рекомендації до виконання курсового проекту з дисципліни «Автоматичні гальма рухомого складу»: методичні вказівки. Харків: УкрДУЗТ, 2016. 48 с.

114. Равлюк В. Г. Дослідження кінематики відведення гальмівних колодок від коліс у візках вантажних вагонів. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля*. 2017. Вип. 4 (234). С. 195 – 198.

115. Равлюк В. Г., Нечволода С. І. До вирішення проблеми зносу гальмівних колодок у візках вантажних вагонів. *Логістичне управління та безпека на транспорт: збірник наукових праць науково-практичної конференції студентів та молодих вчених*. (Лиман, 5 – 7 жовтня, 2017 р.). Сєвєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2017. С. 140 – 143.

116. Равлюк В. Г. Щодо визначення силових перетворень при клиноподібному зносі гальмових колодок вантажних вагонів. *Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Динаміка і міцність машин*. 2017. № 40 (1262). С. 75 – 80.

117. Равлюк В. Г. Комп'ютерне моделювання гальмівних механізмів вантажних вагонів. *Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали міжнародної науково-практичної конференції*. (Івано-Франківськ, 5 – 7 квітня 2017 р.). Івано-Франківськ: Симфонія Форте, 2017. С. 123.

118. Равлюк В. Г. Проблеми з ефективним використанням гальмівних колодок вагонів. *Розвиток наукової та інноваційної діяльності на транспорті: тези доповідей 79 міжнародної науково-технічної конференції*. (Харків, 25 – 27 квітня, 2017 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2017. С. 68 – 70.

119. Равлюк В. Г. Про критичний стан із зносом і роботою гальмівних колодок у вантажних вагонах. *Проблеми розвитку транспорту і логістики: тези доповідей VII міжнародної науково-практичної конференції*. (Одеса, 26 – 28 квітня, 2017 р.). Одеса: СНУ ім. В. Даля, 2017. С. 106 – 108.

120. Равлюк В. Г. Оцінювання факторів утворення дуального фрикційного зносу гальмових колодок. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і*

технології». 2018. № 31 (2017). С. 109 – 126.

121. Равлюк В. Г., Афанасенко І. М., Гузик І. В. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Автогальма рухомого складу»: методичні вказівки. Харків: УкрДУЗТ, 2017. 47 с.

122. Равлюк В. Г. Теоретичні передумови модернізації гальмової важільної передачі у візках вантажних вагонів. *Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика: тези доповідей III Всеукраїнської науково-практичної конференції*. (Маріуполь, 11 – 12 травня, 2017 р.). Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2017. С. 127 – 128.

123. Равлюк В. Г. Інноваційна модернізація гальмівної системи візків вантажних вагонів. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: матеріали 77 міжнародної науково-практичної конференції*. (Дніпро, 11 – 12 травня, 2017 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2017. С. 47 – 49.

124. Равлюк В. Г., Ловська А. О. Підвищення ефективності застосування гальмівних колодок рухомого складу нового покоління. *European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences: proceedings of the 15-th International scientific conference*. (Vienna, July 20, 2017). Vienna: «East West» Association for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2017. С. 57 – 61.

125. Равлюк В. Г. Спрощений кінетостатичний аналіз гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології»*. 2018. № 32. С. 55 – 70.

126. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г. Динамічна модель оцінювання робочих напружень у гальмових колодках вантажних вагонів. *Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту: матеріали 78 міжнародної науково-практичної конференції*. (Дніпро, 17 – 18 травня, 2018 р.). Дніпро: ДНУЗТ, 2018. С. 48 – 50.

127. Равлюк В. Г., Ловська А. О. Стендова діагностика й дослідження особливостей зносу гальмівних колодок вантажних вагонів. *Materials of XIV international research and practice conference: Modern scientific potential – 2018*.

Construction and architecture Mathematics Modern information technology Technical science Physics. (Sheffield, February 28 – March 7, 2018). Sheffield: Science and education LTD, 2018. Volume 11. P. 12 – 16.

128. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г. Екологічні збитки довкіллю від застосування композиційних гальмівних колодок у вагонах. *Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика: тези доповідей VII Всеукраїнської науково-практичної конференції.* (Маріуполь, 15 – 17 травня, 2018 р.). Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2018. С. 112 – 113.

129. Равлюк В. Г. Дослідження причин виникнення дуального фрикційного зносу гальмівних колодок вантажних вагонів. *Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали II міжнародної науково-практичної конференції* (Івано-Франківськ, 3 – 5 квітня 2018 р.). Івано-Франківськ: Симфонія Форте, 2018. С. 170 – 171.

130. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г. Особливості модернізації гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів для ліквідації ненормативного зносу гальмових колодок. *Логістичне управління та безпека на транспорті: збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених.* (Київ, 16 – 17 листопада, 2018 р.). Київ: СНУ ім. В. Даля, 2018. С. 175 – 179.

131. Равлюк В. Г. Дослідження особливостей моністичного і дуального зносу гальмівних колодок вантажних вагонів. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення: збірник наукових праць за матеріалами VIII-ї міжнародної науково-практичної конференції.* (Одеса, 23 – 25 травня, 2018 р.). Одеса: Купрієнко СВ, 2018. С. 115 – 117.

132. Равлюк В. Г. Дефініція особливостей дуального зносу гальмових колодок вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту.* 2019. Вип. 183. С. 46 – 59.

133. Равлюк В. Г. Дослідження особливостей дуального зносу колодок у гальмовій системі вантажних вагонів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*

імені академіка В. Лазаряна. 2019. №. 2 (80). С. 111 – 126.

134. Равлюк В. Г. Дослідження особливостей виникнення дуального зносу колодок у гальмовій системі візків вантажних вагонів. Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали III міжнародної науково-практичної конференції. (Івано-Франківськ, 3 – 5 квітня 2019 р.). Івано-Франківськ: Симфонія Форте, 2019. С. 213 – 215.

135. Равлюк В. Г. Модернізація елементів гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2019. Вип. 5 (83). С. 108 – 121.

136. Равлюк В. Г., Бондаренко В. В., Равлюк М. Г., Гребенюк В. А. Дослідження гібридної розрахункової схеми навантаження колодок гальмової важільної передачі вантажного вагона. *Актуальні проблеми інженерної механіки: тези доповідей VI міжнародної науково-практичної конференції*. (Одеса, 20 – 24 травня, 2019 р.). Одеса: ОДАБА, 2019. С. 247 – 250.

137. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Гребенюк В. А., Ткачук М. Р. Визначення факторів, що впливають на надійність роботи гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2019. Вип. 187. С. 63 – 74.

138. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Гребенюк В. А., Бондаренко В. В. Особливості процесу та параметрична оцінка виникнення ненормативного зносу гальмових колодок візків вантажних вагонів. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: тези доповідей 8 міжнародної науково-технічної конференції*. (Харків, 20 – 22 листопада 2019 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2019. С. 76 – 77.

139. Равлюк В. Г., Бондаренко В. В., Равлюк М. Г., Гребенюк В. А. Дослідження процесу утворення та параметрична оцінка дуального зносу гальмових колодок вантажних вагонів. *Актуальні проблеми інженерної механіки: тези доповідей VI міжнародної науково-практичної конференції*. (Одеса, 20 – 24 травня, 2019 р.). Одеса: ОДАБА, 2019. С. 251 – 253.

140. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Гребенюк В. А., Бондаренко В. В. Дослідження розрахункової схеми гальмової важільної передачі та побудова моделі навантаження колодок вантажних вагонів. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: тези доповідей 8 міжнародної науково-технічної конференції.* (Харків, 20 – 22 листопада 2019 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2019. С. 74 – 75.

141. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Гребенюк В. А. Формулювання причин утворення верхнього шкідливого ненормативного зносу колодок у механічній частині гальм візків вантажних вагонів. *Логістичне управління та безпека на транспорт: збірник наукових праць науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених.* (Лиман, 14 – 16 листопада, 2019 р.). Лиман: СНУ ім. В. Даля, 2019. С. 112 – 115.

142. Равлюк В. Г., Афанасенко І. М., Равлюк М. Г. Дослідження геометричних параметрів гальмових колодок вантажних вагонів за шкідливого зносу. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.* 2020. Вип. 1 (85). С. 99 – 118.

143. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Кириченко І. К. Статистичне опрацювання параметрів зносу гальмових колодок вантажних вагонів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.* 2020. Вип. 2 (86). С. 74 – 91.

144. Равлюк В., Равлюк М., Фісіна Я., Нуруллаєв Р. Уточнені розрахунки 2D схем-моделей гальмових важільних передач для збільшення ресурсу колодок вантажних вагонів. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології».* 2020. № 35. С. 24 – 34.

145. Равлюк В. Г. Удосконалення стенда для комплексного діагностування вузлів вантажних вагонів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного*

транспорту імені академіка В. Лазаряна. 2020. Вип. 4 (88). С. 86 – 102.

146. Равлюк В. Г. Дослідження особливостей виникнення дуального зносу колодок у гальмовій системі візків вантажних вагонів. *Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції*. (Івано-Франківськ, 1 – 3 квітня 2020 р.). Івано-Франківськ: Симфонія Форте, 2020. Т. 1. С. 213 – 217.

147. Равлюк В. Г., Равлюк М. Г., Кириченко І. К., Ламнауер Н. Ю., Мельничук А. К. Імовірно-статистична модель зносу гальмових колодок вантажних вагонів. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна.*, 2020. Вип. 5 (89). С. 116 – 133.

148. Равлюк В., Дерев'янчук Я. Раціональний спосіб модернізації елементів гальмової важільної передачі пасажирських вагонів. *Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції*. (Івано-Франківськ, 5 – 7 квітня 2021 р.). Івано-Франківськ: Кушнір Г. М., 2021. С. 366 – 370.

149. Равлюк В. Ліквідація клинодуального зносу колодок шляхом модернізації елементів гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів. *Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції*. (Івано-Франківськ, 5 – 7 квітня 2021 р.). Івано-Франківськ: Кушнір Г. М., 2021. С. 374 – 378.

150. Равлюк В. Апробація модернізованої гальмової важільної передачі візків вантажних вагонів. *Прикладні науково-технічні дослідження: матеріали V міжнародної науково-практичної конференції*. (Івано-Франківськ, 5 – 7 квітня 2021 р.). Івано-Франківськ: Кушнір Г. М., 2021. С. 381 – 384.

151. Равлюк В. Г. Виробничі дослідження гальмових систем і коліс вантажних вагонів. *Інтелектуальні транспортні технології: тези доповідей 2 міжнародної науково-технічної конференції*. (Харків, 27 – 29 квітня 2021 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2021. С. 164 – 167.

152. Равлюк В. Г., Захарченко В. В. Теоретичні засади проектування та

вдосконалення гальмових систем вантажних вагонів. *Прогресивні технології засобів транспорту*: тези доповідей 1 міжнародної науково-технічної конференції. (Харків-Миргород, 23 – 24 вересня 2021 р.). Харків: УкрДУЗТ, 2021. С. 123 – 125.

153. Равлюк В. Г., Ламнауер Н. Ю., Елязов І. Ш. огли, Кириченко І. К., Скубак Н. М. Оцінка ресурсу гальмових колодок вантажних вагонів в умовах експлуатації. *Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна*. 2021. Вип. 5 (89). С. 84 – 95.

154. Равлюк В. Г., Ловська А. О. Сучасні гальмівні системи вагонів: конспект лекцій. Харків: УкрДУЗТ, 2020. Ч. 3. 70 с.

155. Равлюк В. Г., Ловська А. О. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Сучасні гальмові системи вагонів»: методичні вказівки. Харків: УкрДУЗТ, 2021. 29 с.

156. Радзиховский А. А., Омеляненко И. А., Тимошина Л. А. Системный подход к проектированию тележек для грузовых вагонов с повышенными осевыми нагрузками. *Вагонный парк*. 2008. № 8. С. 10 – 16.

157. Радзиховский А. А., Омеляненко И. А., Тимошина Л. А. Устройство отвода тормозных колодок. *Вагонный парк*. 2009. № 11 – 12. С. 18 – 21.

158. Розробка конструкторсько-технологічної документації на проведення модернізації гальмових важільних передач візків вантажних вагонів: звіт про НДКР (заклучий): Українська державна академія залізничного транспорту. № ДР 0111U008972. Харків: 2012. 53 с.

159. Савчук О. М. Вагонний парк: навчальний посібник. Харків: Техностандарт, 2010. 200 с.

160. Самсонкін В. М., Мойсеєнко В. І. Теорія безпеки на залізничному транспорті: монографія. Київ: Каравела, 2014. 248 с.

161. Сафронов О. М. Застосування комп'ютерного моделювання для уточненої оцінки гальмівної ефективності вантажних вагонів. *Збірник наукових*

праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології». 2018. Вип. 32(2). С. 61 – 75.

162. Сафронов А., Сулим А., Хозя П., Водяников Ю., Столетов С. Влияние конструктивных особенностей тележек моделей 18-4129 и 18-9817 с осевой нагрузкой 25 тс на динамические показатели грузовых вагонов. *Збірник наукових праць Державного університету інфраструктури та технологій: Серія «Транспортні системи і технології»*. 2019. Вип. 33 (1). С. 171 – 188.

163. Сіренко К. А. Удосконалення нормативно-технічної документації на ливарні вироби з чавуну. *Процеси лиття*. 2021. № 3 (145). С. 69 – 76.

164. Сіренко К. А., Мазур В. Л. Оцінка стабільності хімічного складу і механічних властивостей промислових партій синтетичного чавуну. *Процеси лиття*. 2021. № 4 (146). С. 66 – 75.

165. Спосіб і пристрій для підвищення довговічності та надійності механічної частини гальмівної системи вантажних вагонів: пат. 118624 Україна, МПК В61Н 15/00, В61Н 13/36 (2006.01), В61Н 13/22 (2006.01). а2017 07650; заявл. 19.07.17; опубл. 11.02.19, Бюл. №3. 8 с.

166. Старченко В. Н. Научные основы повышения эффективности торможения улучшением условий взаимодействия колёс с тормозными колодками и рельсами: дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07. Днепропетровск, 2008. 405 с.

167. Стенд для комплексних випробовувань вузлів вантажних вагонів на працездатність: пат. 122155 Україна, МПК51 G01M 17/08 (2006.01), G01M 17/10 (2006.01), В61Н 13/00. а2018 03701; заявл. 06.04.18; опубл. 25.09.20, Бюл. №18. 7 с.

168. Гартаковський Е. Д., Агулов А. Ф., Фалендиш А. П. Теорія та конструкція локомотивів. Вибір та розрахунок основних вузлів локомотивів: навчальний посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2009. Ч. 2. 150 с.

169. Гартаковський Е. Д., Фалендиш А. П., Шапран Є. М., Залеський Л. І., Сумцов А. Л. Використання гальмівних колодок нової конструкції на залізницях України. *Збірник наукових праць Української*

державної академії залізничного транспорту. 2014. Вип. 145. С. 100.

170. Устенко О. В., Кравцов Д. С. Дослідження та удосконалення роботи локомотивних бригад. *Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту*. 2016. Вип. 164. С. 56 – 62.

171. Ушкалов В. Ф. Исследование случайных колебаний рельсовых экипажей и прогнозирование динамических напряжений в их конструкциях: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.22.07. Днепропетровск, 1975. 32 с.

172. Фалендиш А. П., Володарець М. В. Розробка моделі розрахунку техніко-економічних параметрів маневрового тепловозу із застосуванням гібридної тяги. *Збірник наукових праць Донецького інституту залізничного транспорту Української державної академії залізничного транспорту*. 2010, Вип. 23. С. 156 – 162.

173. Чихладзе Е. Д. Опір матеріалів: підручник. Харків: УкрДАЗТ, 2011. 366 с.

174. Шваб'юк В. І. Опір матеріалів: підручник. Київ: Знання, 2016. 400 с.

175. Шевченко В. В., Головка В. Ф. Автоматизоване проектування вагонів: навчальний посібник. Харків: УкрДАЗТ, 2008. 214 с.

176. Шпачук В. П., Пушня В. О., Рубаненко О. І., Гарбуз А. О. Теоретична механіка. Динаміка: конспект лекцій. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 222 с.

177. Afanasenko I., Derevianchuk I., Voloshin D. Improvement of brake lever transmission for dump cars. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. 012037. URL: <https://doi:10.1088/1757-899X/708/1/012037> (дата звернення: 17.02.23).

178. Ambikaprasad O. Chaubey, Raut Abhijeet A. Failure Analysis of Brake Shoe in Indian Railway Wagon. *IPASJ International Journal of Mechanical Engineering*. 2015. Vol. 3. P. 37 – 41.

179. Amsted Rail announces agreement to acquire Amsted Rail-Faiveley brake component business. URL: <https://www.amstedrail.com> (дата звернення: 17.10.22).

180. Bureika G., Mikaliunas S. Research on the compatibility of the

calculation methods of rolling-stock brakes. *Transport*. 2008. Vol. 23 (4). P. 351 – 355.

181. Butko T., Kostiennikov O., Parkhomenko L., Prokhorov V., Bogomazova G. Forming an automated technology to manage freight transportation along a direction. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 1/3 (97). P. 6 – 13.

182. Chary R., Khan E. Design and Analysis of Train Brake System. *International Journal of Advanced Research and Innovation*. 2014. Vol. 7, Issue 3, P. 27 – 33

183. Cruceanu C., Oprea R., Spiroiu M., Craciun C., Arsene S. Computer Aided Study Regarding the Influence of Filling Characteristics on the Longitudinal Reaction within the Body of a Braked Train. *Recent Advances in Computer: proceedings of the 13th WSEAS International Conference on Computers*, (Greece, July 23-25, 2009 year). Greece: 2009. P. 531 – 537.

184. Cruceanu C. Brakes for Railway Vehicles. 3rd edition. Bucharest: MatrixRom, 2009. ISBN 978-973-755-200-6.

185. Cruceanu C. Train Braking, Reliability and Safety in Railway. 2012. URL: <https://www.intechopen.com/chapters/34431> (дата звернення: 11.10.22).

186. Elyazov İ., Ravlyuk V., Rybin A., Hrebenuk V. Determination of forces in the elements of the brake rigging of bogies of freight cars. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 166. 07004. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016607004> (дата звернення: 17.04.23).

187. ERRI B 169/RP 4. Standardization of coach wheelsets. Standardization of a block-braked solid wheel (rim diameter 920 mm) for coaches with a maximum speed of 160 km/h. Standard wheelsets for block brakes. 1993.

188. ERRI B 169/RP 6. Standardisation des essieux. Méthodes de surveillance des roues monoblocs en service. Méthode aux ultrasons pour la détermination non destructive des contraintes résiduelles dans les jantes de roues monobloc. 1995.

189. Fomin O., Lovskaya A., Plakhtiy A., Nerubatsky V. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars

on their physico-mechanical properties. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2017. Issue 6 (162). P. 89 – 96.

190. Fomin O., Lovska A., Masliyev V., Tymbaliuk A., Burlutski O. Determining strength indicators for the bearing structure of a covered wagon's body made from roundpipes when transported by a railroad ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. Vol. 1. Iss. 1 (97). P. 33 – 40.

191. Fomin O., Lovska A., Daki O., Bohomia V., Tymoshchuk O., Tkachenko V. Determining the dynamic loading on an open-top wagon with a two-pipe girder beam. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. 3/7 (99). 18 – 25.

192. Fomin O., Lovska A., Kovtun O., Nerubatskyi V. Defining patterns in the longitudinal load on a train equipped with the new conceptual couplers. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 2/7 (104). P. 33 – 40.

193. Freight catalog Wabtec corporation Your Transportation, Equipment & Service Provider. 72 p. URL: <https://www.wabteccorp.com> (дата звернення: 01.04.23).

194. Gorbunov M., Domin R., Kovtanec M., Kravchenko K. The multifunctional energy efficient method of cohesion control in the "wheel-braking pad-rail" system. *Prace Naukowe Politechniki Warszawskiej – Transport: Międzynarodowej Konferencji Naukowej Transport XXI Wieku*. 2016. Vol. 114. P. 114 – 126.

195. Gerlici J., Kravchenko K., Fomina Y. Development of an Innovative Technical Solution to Improve the Efficiency of Rolling Stock Friction Brake Elements Operation. In: *International Conference Transbaltica: Transportation Science and Technology*. Cham: Springer International Publishing, 2019. P. 28 – 38.

196. Gorobchenko O., Tkachenko V. Statistical analysis of locomotive traction motors performance. MATEC Web of Conferences. 2019. Vol. 287. P. 1 – 5. URL: <https://doi.org/10.1051/matecconf/201928704002> (дата звернення: 28.04.23).

197. Gupta V., Saini K., Garg A. K., Krishan G., Parkash O. Comparative Analysis of Disc Brake Model for Different Materials Investigated Under Tragic Situations. *Asian Review of Mechanical Engineering*. 2016. Vol. 5(1). P. 18 – 23.

198. Hodges T. A life-cycle approach to braking costs. *International Railway Journal*. 2012. URL: <http://www.railjournal.com> (дата звернення: 02.05.23).

199. Hyndman R. J., Athanasopoulos G. *Forecasting: Principles and Practice*. 2nd edition. OTexts, 2018. P. 382.

200. Jovanović R., Milutinović D. Modern Ways for Preventing the Damages Caused by the Railway Vehicle Solid Wheel Fractures. *VI International Scientific Conference of Railway Experts*. Vrnjačka Banja: 1999. P. 333 – 318.

201. Kiss I., Vasile Cioata V., Alexa V., Ratiu S. Investigations on the selection of friction materials destined to railway vehicles applications. *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*. 2016. Vol. 4. (XIV). P. 231 – 240.

202. Kiss I. The chemical composition of phosphorous cast irons behavior in the manufacturing of brake shoes meant for the rolling stock. *Acta Technica Corviniensis – Bulletin of Engineering*. 2016. Vol. 3. P. 77 – 84.

203. Koptovets O., Haddad J. S., Brovko D., Posunko L., Tykhonenko V. Identification of the conditions of a mine locomotive brake system as well as its functional and morphological model with the stressed closed kinematic circuit. *E3S Web Conferences*. 2020. Vol. 201. 01033. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101033> (дата звернення: 14.05.23).

204. Leng L., Zhu W. Compound Regression and Constrained Regression: Nonparametric Regression Frameworks for EIV Models. *The American Statistician Journal*. 2018. Vol. 134. P. 1 – 13. URL: <https://doi.org/10.1080/00031305.2018.1556734> (дата звернення: 18.06.23).

205. Liudvinavicius L., Lingaitis L. P. Electrodynamics braking in high-speed rail transport. *Transport*. 2007. Vol. 22. Issue 3. P. 178 – 186.

206. Lovska A., Ravlyuk V., Elyazov I. Determination of the load of a composite brake pad of a wagon with wedge-dual wear: *Technology Transfer*:

Fundamental Principles and Innovative Technical Solutions. (Tallin, November 28, 2022). Tallin: Scientific Route, 2023. P. 32 – 34.

207. Lovska A., Ravlyuk V., Babenko A. Study of the stress-strain state of the brake lever transmission of the 18-100 carriage model. *ScienceRise*. 2022. Vol. 6. P. 3 – 9.

208. Lomotko D. V., Arsenenko D. V., Nosko N. A., Kovalova O. V. Formalization of rolling stock distribution processes by using dynamic model. *Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*. 2018. Vol. 6 (78). P. 143 – 154.

209. Martinez-Alvarez F., Troncoso A., Asencio-Cortes G., Riquelme J. C. A survey on data mining techniques applied to electricity-related time series forecasting. *Energies*. 2015. Vol. 8 (11). P. 13162 – 13193.

210. Milošević M., Stamenković Dušan S., Milojević Andrija P., Tomić Miša M. Modeling Thermal Effects in Braking Systems of Railway Vehicles. *Thermal science*. 2012. Vol. 16. Suppl. 2. P. 581 – 592.

211. Milutinović D., Tasić M., Jovanović R. Thermal Load as a Primary Cause for the Fracture of the Block-Braked Solid Wheel. *Železnice*. 1999. Vol. 11 – 12. P. 477 – 484.

212. Moiseenko V., Butenko V., Golovko O., Kameniev O., Gaievskiy V. Mathematical Models of the System Integration and Structural Unification of Specialized Railway Computer Systems. *ICTE in Transportation and Logistics 2019*. (Switzerland, September 10-13, 2019). Switzerland: Springer Cham, 2020. P. 129 – 136.

213. ORE B 106/RP 12. Standardization of coaches, Standardization of a block-braked solid wheel (tread diameter 920 mm) for coaches with a top speed of 160 km/h. Basic calculations. Utrecht 1989.

214. Panchenko S., Ohar O., Shelekhan G., Skrebutene E. Optimization of transport system operation using ranking method. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 149. P. 110 – 117.

215. Panchenko S., Ananieva O., Babaiev M., Davidenko M., Panchenko V.

Synthesis of a device for anti-jamming reception of signals of tonal rail circuits on the background of additive five-component interference. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. Vol. 3. Issue 9 (111). P. 94 – 102.

216. Panchenko S., Vatulia G., Lovska A., Ravlyuk V., Elyazov I., Huseynov I. Influence of structural solutions of an improved brake cylinder of a freight car of railway transport on its load in operation. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2022. Vol. 6. P. 45 – 55. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002638>

217. Panchenko S., Gerlici J., Lovska A., Ravlyuk V., Dižo J. Stanovenie úspory energetických nákladov na pohon vlaku znížením jazdného odporu. *Technológ. Žilin: Žilinská univerzita v Žiline*. 2023. Ročník 15. Číslo 2/2023. P. 104 – 109. doi: <https://doi.org/10.26552/tech.C.2023.2.19>

218. Panchenko S., Gerlici J., Vatulia G., Lovska A., Ravlyuk V., Harusinec J. Studying the load of composite brake pads under high-temperature impact from the rolling surface of wheels. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2023. Vol. 4. P. 155 – 167. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002994>

219. Panchenko S., Gerlici J., Vatulia G., Lovska A., Ravlyuk V., Rybin A. Method for determining the factor of dual wedge-shaped wear of composite brake pads for freight wagons. *Communications. Scientific Letters of the University of Zilina*. 2023. Vol. 26 (1). P. B31 – B40. <https://doi.org/10.26552/com.C.2024.006>

220. Panchenko S., Gerlici J., Lovska A., Ravlyuk V. Substantiation of the environmental efficiency of the device for parallel retraction of brake shoes for freight wagons. *Current problems in rail vehicles - PRORAIL 2023*, September 20 – 23, 2023, Žilina, Slovakia. P. 109 – 118. <https://doi.org/10.26552/spkv.Z.2023.2.13>

221. Panchenko S., Vatulia G., Gerlici J., Lovska A., Ravlyuk V. Study of the Strength of the Upgraded Brake Leverage of a Wagon Bogie. In: Arsenyeva O., Romanova T., Sukhonos M., Biletskyi I., Tsegelnyk Y. (eds) *Smart Technologies in Urban Engineering. STUE 2023. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2023. Vol 807. P. 243 – 254. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46874-2_22

222. Panchenko S. V., Vatulia G. L., Lovska A. O., Ravlyuk V. G. Determination of the thermal stress state for the composite brake pad of a wagon at operational loads. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2023. Vol. 1254. 012141. P. 1 – 12. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1254/1/012141>

223. Panchenko S., Lovska A., Ravlyuk V., Babenko A., Derevyanchuk O., Zharova O., Derevianchuk Y. Detecting the influence of uneven loading of the brake shoe in a freight car bogie on its strength. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. № 5/7 (125) P. 6 – 13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.287791>

224. Panchenko S., Gerlici J., Lovska A., Ravlyuk V. The service life prediction for brake pads of freight wagons. *Communications. Scientific Letters of the University of Zilina*. 2024. Vol. 26 (2). P. B80 – B89. <https://doi.org/10.26552/com.C.2024.017>.

225. Panchenko S., Gerlici J., Lovska A., Ravlyuk V., Harušinec J. The impact of excessive wear of brake pads in freight wagons on their strength. *VII International Conference “In-service Damage of Materials: Diagnostics and Prediction (DMDP 2023)*. (Ternopil, October 18 – 20). Ternopil, 2023. URL: <https://dmdp.tntu.edu.ua/>

226. Panchenko S., Gerlici J., Lovska A., Ravlyuk V., Dižo J., Harušinec J. Study on the Strength of the Brake Pad of a Freight Wagon under Uneven Loading in Operation. *Sensors*. 2024. 24(2). 463. <https://doi.org/10.3390/s24020463>

227. Pascu L. V. Cercetari privind Îmbunatatirea calitatii sabotilor de frâna destinati materialului rulant, University Politehnica Timisoara, doctoral thesis. 2015.

228. Prokhorchenko A., Parkhomenko L., Kyman A., Matsiuk V., Stepanova J. Improvement of the technology of accelerated passage of low-capacity car traffic on the basis of scheduling of grouped trains of operational purpose. *Procedia Computer Science*. 2019. Vol. 149. P. 86 – 94.

229. Ravlyuk V. Research into excessive brake pad wear in freight wagons. *Globalization of scientific and educational space innovations of transport problems, experience, prospects: theses of international scientific and practical conference*.

(Italy, May 2018) Severodonetsk: Volodymyr Dahl East Ukrainian National University, 2018. С. 95 – 97.

230. Ravlyuk V., Ravliuk M., Hrebeniuk V., Bondarenko V. Process features and parametric assessment of the emergence of the excessive wear for the brake pads of freight car bogies. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. 012025. P. 1 – 8. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/708/1/012025> (дата звернення: 11.05.23).

231. Ravlyuk V., Ravliuk M., Hrebeniuk V., Bondarenko V. Research of the calculation cheme for the brake lever transmission and construction of the load model for the brake pads of freight cars. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. 2019. Vol. 708. 012026. P. 1 – 8. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/708/1/012026> (дата звернення: 11.05.23).

232. Ravlyuk V., Elyazov I., Afanasenko I., Ravliuk M. Determination of forces in the elements of the brake rigging of bogies of freight cars. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 166. 07003. URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016607003> (дата звернення: 15.04.23).

233. Ravlyuk V. H., Mykhalkiv S. V., Rybin A. V., Derevianchuk Ia. V., Plakhtiy O. A. Forecasting of wear of pads of modernized brake system devices of bogies of freight cars using ARIMA models. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2020. Vol. 6. P. 48 – 54.

234. Sapronova S., Tkachenko V., Fomin O., Kulbovskiy I., Zub E. Rail vehicles: resistance to movement and handleability: monograf. Dnipro: Ukrmetalurginform STA, 2017. 160 p.

235. Sapronova S., Tkachenko V., Fomin O., Gatchenko V., Maliuk S. Research on the safety factor against derailment of railway vehicles. *Eastern-European journal of enterprise technologies*. 2017. Vol. 6/7 (90). P. 19 – 25.

236. Sarip S. Design Development of Lightweight Disc Brake for Regenerative Braking – Finite Element Analysis. *International Journal of Applied Physics and Mathematics*. 2013. Vol. 3 (1). P. 52 – 58.

237. Sarma K. VS., Vardhan R. V. Multivariate Statistics Made Simple. A Practical Approach: manual. New York: Chapman and Hall/CRC, 2018. 258 p.
238. Sharma R. C. Ride analysis of an Indian railway coach using Lagrangian dynamics. *International Journal of Vehicle Structures and Systems*. 2011. Vol. 3. Issue 4. P. 219 – 224.
239. Sharma R. C. Parametric analysis of rail vehicle parameters influencing ride behavior. *International Journal of Engineering Science and Technology*. 2011. Vol. 3. No. 8. P. 54 – 65.
240. Sharma R. C. Recent advances in railway vehicle dynamics. *International Journal of Vehicle Structures and Systems*. 2012. Vol. 4. Issue 2. P. 52 – 63.
241. Sharma R. C. Stability and eigenvalue analysis of an Indian railway general sleeper coach using Lagrangian dynamics. *International Journal of Vehicle Structures and Systems*. 2013. Vol. 5. Issue 1. P. 9 – 14.
242. Sharma R. C. Sensitivity Analysis of ride behaviour of Indian railway Rajdhani coach using Lagrangian Dynamics. *International Journal of Vehicle Structures and Systems*. 2013. Vol. 5. Issue 3 – 4. P. 84 – 89.
243. Sharma R. C. Modeling and simulations of railway vehicle system. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*. 2014. Vol. 1. Issue 1. P. 55 – 66.
244. Sharma R. C., Dhingra M., Pathak R. K., Kumar M. Magnetically Levitated Vehicles Suspension, propulsion and guidance. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2014. Vol. 3. Issue 11. P. 5 – 8.
245. Sharma R. C., Dhingra M., Pathak R. K., Kumar M. Air cushion vehicles: Configuration, resistance and control. *Journal of Science*. 2014. Vol. 4. Issue 11. P. 667 – 673.
246. Sharma R. C., Dhingra M., Pathak R. K. Braking systems in railway vehicles. *International Journal of Engineering Research & Technology*. 2015. Vol. 4. P. 206 – 211.
247. Smileski T., Vrtanoski G. Development of innovative brake system for rolling stock. *Mechanical Engineering – Scientific Journal*. 2019.

Vol. 37. No. 1 – 2. P. 17 – 27.

248. Teimourimanesh S., Vernersson T., Lunden R., Blenow F., Meinel M. Tread braking of railway wheels - temperatures generated by a metro train. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2014. Vol. 228. Issue 2. Part F. P. 210 – 221.

249. Teimourimanesh S., Vernersson T., Lunden R. Modelling of temperatures during railway tread braking: Influence of contact conditions and rail cooling effect. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2014. Vol. 228. Issue 1. Part F. P. 93 – 109.

250. Thrane C. *Applied Regression Analysis: manual*. London: Routledge, 2019. 202 p.

251. Tkachenko V. P., Saprionova S. Y., Maliuk S. V., Kulbovskiy I. I. Studying the structure of railway rolling stock resistance. *Metallurgical and Mining Industry*. 2016. Vol. 11. P. 30 – 36.

252. Vakkalagadda M. R. K., Srivastava D. K., Mishra A., Racherla V. Performance analyses of brake blocks used by Indian Railways. *Original Research Article*. 2015. Vol. 328 – 329. P. 64 – 76.

253. Vernersson T. Thermally induced roughness of tread braked railway wheels.: Part 1: Brake rig experiments. *Wear*. 1999. P. 96 – 105.

254. Vernersson T. Thermally induced roughness of tread braked railway wheels. Part 2: Modelling and field measurements. *Wear*. 1999. P. 106 – 116.

255. Vernersson T. Temperatures at railway tread braking. Part 1: Modeling. *Proceedings of the Institution of mechanical engineers: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2007. Vol. 221. Issue 2. Part F. P. 167 – 182.

256. Vernersson T. Temperatures at railway tread braking. Part 2: Calibration and numerical examples. *Proceedings of the Institution of mechanical engineers: Journal of Rail and Rapid Transit*. 2007. Vol. 221. Issue 4. Part F. P. 429 – 441.

257. Vernersson T., Lundén R. Wear of brake blocks for in-service conditions – Influence of the level of modelling. *An International Journal on the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear*. 2014. Vol. 314. P. 125 – 131.

258. Vineesh K. P., Vakkalagadda M. R. K., Tripathi A. K., Mishra A., Racherla V. Non-uniformity in braking in coaching and freight stock in Indian Railways and associated causes. *Engineering Failure Analysis*. 2016. Vol. 59. P. 493 – 508.

259. Vrtanoski G., Smileski T. Dynamic testing of innovative railway brake system for freight wagons. *ANNALS of Faculty Engineering Hunedoara – International Journal of Engineering*. 2019. Vol. XVII. Fascicule 1. P. 83 – 89.

260. Zhang Y., Chen Y., He R., Shen B. Investigation of tribological properties of brake shoe materials - phosphorous cast irons with different graphite morphologies. *Wear*. 1993. 166(2), P. 179 – 186.

261. Zhang Y., Zhang M. The application status of unit brakes on metro vehicles in China. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*. 2018. Vol. 3 (15). P. 17 – 23.