

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

**ВОСКОБОЙНИКОВ ДМИТРО ГЕННАДІЙОВИЧ**

УДК 656.085.1:629.4.018

**ДИСЕРТАЦІЯ**

**РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ЧАВУННИХ  
ФРИКЦІЙНИХ КЛИНІВ ВІЗКІВ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ**

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту  
27 – Транспорт

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук.

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело  
\_\_\_\_\_ Д. Г. Воскобойников

Науковий керівник

ТИМОФЕЄВА Ларіса Андріївна  
доктор технічних наук, професор

Харків – 2020

## АНОТАЦІЯ

*Воскобойников Д. Г.* Розробка технології ремонту чавунних фрикційних клинів візків вантажних вагонів – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – «Експлуатація та ремонт засобів транспорту» (275 – Транспортні технології). – Український державний університет залізничного транспорту, МОН України, Харків, 2020.

Дисертацію присвячено питанню розробки технології ремонту чавунних фрикційних клинів візків вантажних вагонів шляхом нанесення зносостійкого покриття та відновлення геометричних розмірів

Наукова новизна дисертаційної роботи полягає у вирішенні наукового завдання підвищенні зносостійкості фрикційних клинів візків вантажного вагону за рахунок розробки технології їх ремонту шляхом нанесення зносостійкого покриття

Вперше: запропоновано вирішення наукового завдання відновлення працездатності чавунних деталей за рахунок розробки способу підвищення їх зносостійкості під час відновлення, який враховує формування перехідного шару з заданою структурою; розроблено оптимізаційну модель технологічного процесу, яка заснована на принципі суперпозиції, що дає можливість одержати раціональні параметри комплексної технології відновлення, та дозволяє не тільки відновити геометричні розміри, а й структуру; визначено залежності між величиною зносу та технологічними параметрами відновлення чавунних фрикційних клинів, а саме: температурою нагріву деталі, часом витримки у розчині і концентрацією розчину; визначено залежності величини адгезії від вищезазначених технологічних параметрів, що надає можливість додатково скорегувати значення технологічних параметрів; розроблено комплексну технологію відновлення чавунних фрикційних клинів, що базується на послідовному формуванні перехідного шару з подальшим відновленням геометричних розмірів.

Удосконалено: технологічний процес ремонту візків вантажних вагонів в умовах вагоно-ремонтних підприємств за рахунок впровадження розробленої інноваційної технології.

Практичне результати роботи полягає в тому, що на основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблена комплексна технологія відновлення, яка включає хіміко-термічну обробку в водяному розчину солей міді для формування перехідного шару з подальшим відновлення геометричних розмірів чавунних деталей , що забезпечує підвищення зносостійкості та працездатності

Визначені раціональні параметри розробленої технології шляхом моделювання поверхні кожного із властивостей покриття в залежності від двох параметрів комплексного технологічного процесу

Проведені експлуатаційні випробування показали, що використання нової комплексної технології відновлення геометричних розмірів чавунних деталей забезпечує їх зносостійкість як самої деталі так і пристрою в цілому

За темою дисертації опубліковано 10 наукових працях, в тому числі 3 статті, що включені до міжнародних наукометричних баз, а саме SCOPUS, розробки захищені двома патентами на корисну модель і на винахід і 6 тез доповідей на наукових конференціях.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі дослідження, відображено наукову новизну та практичну цінність, надано загальну характеристику роботи.

Перший розділ присвячено аналізу умов роботи, обслуговування та ремонту клинів візків вантажних вагонів. Загальною тенденцією розвитку залізничного транспорту вважається підвищення вимог до технічного рівня, якості рухомого складу та його складових. Одним із цих вимог це безпека пасажирських та вантажних перевезень, які значно залежать від надійності рухомого складу в умовах інтенсивної експлуатації. Для вантажного рухомого складу відповідальними є чавунні фрикційні клини візка вантажних вагонів, так як при проведенні планових і непланових ремонтах чавунні клини з

загальним зносом похилою та вертикальною площиною більш 3 мм. підлягають заміні, що підвищує простій в очікуванні ремонту.

Другий розділ присвячено розробці програми експериментальних досліджень та системний підхід до вибору технології відновлення чавунних клинів візків вантажних вагонів. При проведенні експериментальних досліджень по розробці нової технології відновлення фрикційних клинів використовували попередньо складену програму досліджень, яка включала в себе наступні етапи: вибір приборів і обладнання для проведення експериментальних досліджень, визначення необхідних пристосувань і вибір технологічного оснащення; дослідження умов роботи, причин і наслідків відказів фрикційних клинів, визначення особливостей зносу фрикційних клинів, визначення методів ремонту й відновлення фрикційних клинів; вибір матеріалу зразків для проведення дослідів; дослід триботехнічних характеристик зразків, які пройшли обробку за допомогою застосування комплексної технології відновлення; визначення оптимального складу насичуваного середовища при формуванні покриття; визначення раціональних параметрів нової технології відновлення, при яких буде забезпечуватися найменший знос, а також задана твердість та шорсткість відновленої поверхні, необхідна товщина зносостійкого антифрикційного покриття.

Третій розділ присвячено розробці технології ремонту чавунних фрикційних клинів візків вантажних вагонів шляхом формування покриття, яке захищає основний метал від утворення обезвуглецевого шару та виконує роль перехідного шару, що забезпечить адгезію основного і наплавленого металу. Було розроблено модель технологічного процесу підвищення зносостійкості, що побудований на принципі суперпозиції.

Четвертий розділ присвячено розробці процесу управління якістю роботи відновленого фрикційного клину візка вантажного вагону. Властивість фрикційних клинів, яка полягає в пристосованості до попередження та виявлення причин появи відказів, пошкоджень та відновленню працездатного

стану шляхом проведення технічного обслуговування та ремонтів є ремонтпридатність. Ремонтпридатність – одна з властивостей, яка складає надійність об'єкта.

П'ятий розділ присвячено проведенню розрахунків економічної ефективності відновлення чавунних фрикційних клинів візків вантажних вагонів. Економічний ефект відновлення фрикційного клину визначаємо підставленням приведених затрат на відновлення за розробленою технологією та вартості нового фрикційного клину.

*Ключові слова:* фрикційний клин, знос, зміцнення, експлуатація, довговічність, покриття, навантаження, адгезія, технологічні параметри, окислення, насичуюче середовище, ремонтпридатність.

#### ABSTRACT

*D. Voskoboinikov.* Development of the technology for repairing cast-iron friction wedges of freight car bogies. – Qualification scientific work – manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.22.20 – operation and repair of vehicles. (275 – Transport Technologies). – Ukrainian State University of Railway Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The thesis is devoted to the development of a technology for repairing cast-iron friction wedges of freight car bogies by applying a wear-resistant coating and restoring geometric dimensions

The scientific novelty of the thesis lies in solving the scientific problem of increasing the wear resistance of the friction wedges of freight car bogies by developing a technology for their repair by applying a wear-resistant coating

Firstly: proposed a solution to the scientific problem of restoring the working capacity of cast iron parts by developing a method to increase their wear resistance during restoration, taking into account the formation of a transition layer with a given structure; optimization models of the technological process have been developed, based on the principle of superposition, which makes it possible to obtain the optimal

parameters of the complex restoration technology, and allows not only to restore the geometric dimensions, but also the structure; the dependences between the amount of wear and the technological parameters of the restoration of cast-iron friction wedges are determined, namely: the heating temperature of the part, the holding time in the solution and the concentration of the solution; the dependences of the adhesion value on the aforementioned technological parameters have been determined, it allows to additionally correct the values of technological parameters; a comprehensive technology has been developed for restoring cast iron friction wedges, based on the sequential formation of a transition layer with subsequent restoration of geometric dimensions.

8 scientific papers have been published on the topic of the thesis, including 2 articles included in international science-metric bases, namely SCOPUS, developments are protected by 2 patents for a utility model and for an invention and 6 abstracts of reports at scientific conferences.

The introduction substantiates the relevance of the topic, formulates the aim and objectives of research, reflects the scientific novelty and practical value, provides a general description of the work.

The first section is devoted to the analysis of working conditions, maintenance and repair of wedges of freight car bogies. The general trend in the development of railway transport is considered to be an increase in requirements for the technical level, quality of rolling stock and its components. One of these requirements is the safety of passenger and freight traffic, which significantly depends on the reliability of the rolling stock in conditions of intensive operation. For freight rolling stock, cast iron friction wedges of freight car bogies are responsible, since during scheduled and unscheduled repairs, cast iron wedges with a total wear of an inclined and

vertical plane of more than 3 mm. are subject to replacement, which increases downtime pending repair.

The second section is devoted to the development of a program of experimental research and a systematic approach to the choice of technology for the restoration of cast-iron wedges of freight car bogies. research, determination of the necessary devices and the choice of technological equipment; research of operating conditions, causes and consequences of friction wedge failures, determination of wear characteristics of friction wedges, determination of methods for repair and restoration of friction wedges; selection of sample material for experiments; experience in tribotechnical characteristics of samples processed using integrated recovery technology; determination of the optimal composition of the saturable medium during the formation of the coating; determination of the rational parameters of the new restoration technology, which will ensure low wear, as well as the given hardness and roughness of the restored surface, the required thickness of the wear-resistant antifriction coating; carrying out metallographic, microgeometric and X-ray spectral experiments on samples restored using the complex renovation technology.

The third section is devoted to the development of a technology for the repair of cast-iron friction wedges of freight car bogies by forming a coating that protects the base metal from the formation of a carbon-free layer and acts as a transition layer to ensure the adhesion of the base and weld metal. A model of the technological process of increasing wear resistance was developed, based on the principle of superposition.

The fourth section is devoted to the development of a quality management process for the restored friction wedge of a freight car bogie. The property of friction wedges, which consists in their adaptability to the prevention and identification of the causes of failures, damage and restoration of an operational state through maintenance and repairs, is maintainability. Maintainability is one of the properties that make up the reliability of an object.

*Keywords:* friction wedge, wear, reinforcements, operation, durability, coatings, loads, adhesion, oxygenation, maintainability, recovery.

#### Список публікацій здобувача

##### Основні наукові праці:

1. Тимофеева Л. А., Воскобойников Д. Г. Умови експлуатації та пособи підвищення зносостійкості робочих поверхонь п'ятникових вузлів вантажних вагонів Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2016. Вип. 4 (137). С. 34 - 38.

2. Воскобойников Д. Г. Разработка технологии восстановления изнашиваемых поверхностей деталей подвижного состава. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2017. Вип. 170. С. 111-115.

3. Тимофеева Л. А., Воскобойников Д. Г. Відновлення чавунних деталей рухомого складу. Міжнародний техніко-економічний журнал «Українська залізниця». 2018. Вип. 3-4 (57-58). С. 42-43.

4. Тимофеева Л. А., Тимофеев С. С., Воскобойников Д. Г., Дьомін А. Ю., Федченко І. І. Модифицирование поверхности деталей из железноуглеродистых сплавов, работающих в условиях трения и изнашивания. Journal of Friction and Wear. 2018. Вип. 3 (39). С. 227-231. (видання індексується у базі Scopus).

5. Timofeeva L. A., Timofeev S. S., Demin A. Yu., Voskoboinykov D. G. Raising of the tribotechnical properties of parts from iron-carbon alloys. Metal Science and Heat Treatment. 2019. Vol. 61(3). P. 178-182. <https://doi.org/10.1007/s11041-019-00397-z> (видання індексується у базі Scopus).

6. Тимофеев С. С., Склярів М. В., Федченко І. І., Воскобойников Д. Г. Визначення швидкості зносу базових елементів вагонів у експлуатації. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2019. Вип. 4 (137). С. 19 - 26.



7. Спосіб відновлення робочих поверхонь чавунних деталей, патент №UA119834, жовтень 2017 / Панченко С. В., Вовк Р. В., Тимофєєва Л. А., Тимофєєв С. С., Дьомін А. Ю., Воскобойников Д. Г. № u201703850; заяв. 19.04.2017, опубл. 10.10.2017, бюл. №19/2017.

8. Склад електрода для зварювання чавуну, пат на винахід №UA120566 грудень 2019 / Панченко С. В., Вовк Р. В., Тимофєєва Л. А., Тимофєєв С. С., Цап О. І., Воскобойников Д. Г. № a201806671; заяв. 13.06.2018, опубл. 10.10.2018, бюл. №24/2019.

Праці апробаційного характеру:

9. Воскобойников Д. Г. Відновлення зношених поверхонь деталей рухомого складу. Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: international research and practice conference. (Radom, Republic of Poland, December 27-28 2017). Radom. 2017. P 160-163.

10. Тимофєєв С. С., Цап О. І., Воскобойников Д. Г., Підвищення якості відновлених чавунних деталей рухомого складу. Качесто, стандартизация, контроль: теория и практика: матеріали 18-тої міжнар. наук.-техн. конф. (м. Одеса, 03-07 вересня 2018 р.). Одеса, 2018. С. 104-105.

11. Тимофєєва Л. А., Тимофєєв С. С., Воскобойников Д. Г. Відновлення чавунних деталей вантажного рухомого складу. Modern questions of production and repair in industry and in transport: materials of the 18th International Scientific and 18 Technical Seminar. (Brno, Czech Republic, February 10-16 2018 p.). Kyiv. 2018. С. 227- 229.

12. Timofeev S., Tsap O., Voskoboinykov D. Quality improvement methods for restored parts of the rolling stock. International scientific and practical conference “Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects”. (Italy May 2018). 2018. P. 118-119.

13. Тимофєєв С. С., Воскобойников Д. Г. Управління якістю і конкурентоспроможністю залізничної продукції. Матеріали 19-ої

Міжнародної науково-технічної конференції. (м. Свалява, Закарпатська область 20-24 травня 2019 р.). Харків, 2019. С. 165-167.

14. Воскобойников Д. Г., Гребенюк В. А. Аналіз роботи пружиннофрикційного візка вантажного вагона. Тези доповідей 1-ої міжнародної науковотехнічної конференції «Інтелектуальні транспортні технології». (м. Трускавець 24-30 січня 2020 р). Трускавець - Харків, 2020 С. 118-119. Додаткові праці, які відображають результати дисертації:

15. Тимофєєв С. С., Цап О. І., Воскобойников Д. Г., «Відновлення залізовуглецевих сплавів для деталей рухомого складу». Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2018. Вип. 177, С. 94-95.

16. Устенко О. В., Устенко С. С., Огульчанська Н. Р., Грибанов М. В., Воскобойников Д. Г. Аналіз руйнування головки рейок. Технології та інфраструктура транспорту: міжнародна науково-технічна конференція (м. Харків, 14-16 травня 2018 р). Харків, 2018. С. 26 - 27.

17. Тимофєєва Л. А., Федченко І. І., Цап О. І., Воскобойников Д. Г. Аналіз дефектів автозчепного пристрою СА-3. Технології та інфраструктура транспорту: міжнародна науково-технічна конференція (м. Харків, 14-16 травня 2018 р). Харків, 2018. Ч.1. С. 32-34.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ .....	19
1.1 Аналіз роботи пружинно-фрикційного комплексу візка вантажного вагону.....	19
Визначення швидкості зносу базових елементів вагонів в експлуатації.	27
Аналіз існуючих технологій відновлення чавунних деталей.....	40
1.4 Аналіз дефектів, що виникають в умовах експлуатації.....	48
1.5 Висновки до першого розділу.....	51
РОЗДІЛ 2 Технологічне забезпечення і методики проведення дослідження	52
2.1 Програма проведення експериментальних досліджень.....	52
2.2 Системний підхід до вибору технології відновлення.....	54
2.3 Методики виміру товщини і твердості антифрикційного зносостійкого покриття .....	65
2.4 Методики дослідження триботехнічних характеристик матеріалів зразків.....	67
2.5 Висновки до другого розділу .....	70
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ІНОВАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ТА СТРУКТУРНОФАЗОВОГО СТАНУ ЗНОШЕНИХ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ.....	71
3.1 Вплив параметрів технологічного процесу на формування перехідного шару.....	71
Визначення раціональних параметрів інноваційної технології відновлення фрикційних клинів.....	78
Підвищення триботехнічних властивостей деталей із залізовуглецевих сплавів .....	86
3.3. Висновки до третього розділу .....	98

РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДНОВЛЕНИХ ФРИКЦІЙНИХ КЛИНІВ ПІСЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНОЇ КОМПЛЕКСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ .....	99
4.1 Управління якістю фрикційного клину .....	99
4.2 Визначення кількісних показників безвідмовної роботи фрикційного клину .....	105
4.3 Результати експлуатаційних випробувань відновлених фрикційних клинів з використанням комплексної технології.....	112
4.4 Висновки до четвертого розділу.....	115
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКОЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ІННОВАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ.....	116
5.1 Розробка технологічного процесу відновлення фрикційних клинів вантажних вагонів з урахуванням інноваційної технології.....	116
5.2 Розрахунок економічної ефективності відновлення чавунних деталей вагонів.....	125
5.3 Висновки до п'ятого розділу.....	130
ВИСНОВКИ .....	131
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	134
ДОДАТОК А Патенти .....	149
ДОДАТОК Б Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації.....	151
ДОДАТОК В Акти впровадження .....	155

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Залізничний транспорт є однією з ведучих галузей промисловості України, він грає важливу роль в вантажних перевезеннях. Загальною тенденцією залізничного транспорту є підвищення вимог якості технічного стану рухомого складу та його складових.

Однією із цих вимог – безпека руху вантажних перевезень, які значною мірою залежать від надійності рухомого складу в умовах його інтенсивної експлуатації.

На відновлення та ремонт деталей рухомого складу залізничного транспорту України витрачається щорічно великі суми державних коштів, тому підвищення їх працездатності та зносостійкості є важливим завданням.

Для вантажного рухомого складу одним із відповідальних вузлів є чавунні візки вантажного вагону. Вони експлуатуються в складних умовах перемінних навантажень. Згідно статистичних даних від 50-70% випадків поломок візка приходиться на дефекти фрикційних чавунних клинів таких як задир, знос та утворення отворів. Передчасний знос фрикційного клину вище допустимих значень веде до значних витрат на ремонт або заміну фрикційних клинів, що в свою чергу збільшує час простою вагона в ремонті. В середньому відсоток вибракування фрикційних клинів з причини понад нормативного зносу їх робочих поверхонь за один міжремонтний період вагону складає близько 90% від загальної кількості клинів, що надходять у ремонт.

На теперішній час існуюча технологія ремонту візків вантажних вагонів не передбачає відновлення чавунних фрикційних клинів в зв'язку з тим що не існує технології реновації їх поверхонь, особливо в умовах депо. Були спроби встановити вихідні характеристики фрикційних клинів, але як показали випробування відновлений шар відшаровується в процесі експлуатації. Причиною відшарування є низька адгезійна стійкість та зносостійкість відновленого поверхневого шару.

Враховуючи вартість одного фрикційного клину візка вантажного вагону та збільшення терміну простою вагонів в очікуванні ремонту із-за несвоєчасною поставки запасних клинів вирішити це можливо впровадженням інноваційних технологій їх відновлення.

У зв'язку з цим тема дисертації є актуальною і зорієнтована на вирішення наукового завдання, розробка технології ремонту чавунних фрикційних клинів вантажних вагонів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дослідження за темою дисертаційної роботи виконані відповідно до Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року (розпорядження Кабінету Міністрів України від 30.05.2018 р. № 430-р) Державної цільової програми реформування залізничного транспорту на 2010-2019 роки (постанова Кабінету Міністрів України від 16 грудня 2009 р. N 1390), держбюджетної тематики Українського державного університету залізничного транспорту, договорів про співпрацю з підприємствами залізничного транспорту та згідно діючих програм в період 2015-2020 роки. Автор брав участь у якості виконавця у науково-дослідній роботі за темою: «Розробка технології комплексної механічної обробки для деталей транспортного призначення» (ДР№0115U006512); «Розробка нового складу ріжучого інструменту для обробки твердих матеріалів» (ДР№0115U006511).

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є підвищення зносостійкості фрикційних клинів візків вантажного вагона за рахунок розроблення технології їх ремонту шляхом нанесення зносостійкого покриття.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі дослідження:

- провести аналіз методів оцінки умов роботи, зносостійкості і вимог, які висувають до деталей пружинно-фрикційного комплексу візків вантажних вагонів;

- провести дослідження особливостей зносу і руйнування чавунних клинів та існуючих способів їх відновлення;

- розробити спосіб відновлення чавунних клинів за рахунок формування перехідного шару (метал-перехідний шар-покриття);
- визначити залежності між параметрами технологічного процесу відновлення і зносостійкості чавунних клинів;
- провести дослідження та визначити параметри надійності відновленого чавунного клину за рахунок технології окислення;
- визначення техніко-економічної доцільності використання комплексної технології відновлення, як способу удосконалення процесу ремонту в цілому;

*Об'єкт дослідження* – процес відновлення чавунних деталей візків вантажних вагонів.

*Предмет дослідження* – зносостійкість та ресурс відновлених деталей візків вантажних вагонів.

**Методи дослідження.** В роботі при виконанні експериментальних досліджень використано обладнання для триботехнічних випробувань. Проведені дослідження базувалися на основі теорії зносу чавунних деталей, технологічного забезпечення при відновленні деталей фрикційних клинів в умовах підприємств залізничного транспорту вагонних (депо). Для вивчення

структурно-фазового складу перехідного шару використовувалися методи металографічного, рентгеноструктурного аналізів та електронної мікроскопії.

Достовірність результатів, одержаних в роботі, підтверджується використанням експериментально-технічних положень при математичному плануванні експерименту.

**Наукова новизна одержаних результатів.** У дисертації вирішено наукове завдання щодо підвищення ефективності експлуатації вагонного парку за рахунок розробки технології відновлення чавунних фрикційних клинів візків вантажних вагонів, шляхом розробки способу підвищення їх зносостійкості під час ремонту рухомого складу, який враховує формування перехідного шару зі схожою структурою.

Вперше:

- розроблено оптимізаційну модель технологічного процесу, засновану на принципі суперпозиції, що дає можливість одержати раціональні параметри комплексної технології відновлення та дозволяє не тільки відновити геометричні розміри, а й структуру;

- визначено залежності між величиною зносу і технологічними параметрами відновлення чавунних фрикційних клинів: температурою нагріву деталі, часом витримки в розчині і концентрацією розчину;

- визначено залежності величини адгезії від вищезазначених технологічних параметрів, що надає можливість додатково скоригувати значення технологічних параметрів;

- розроблено комплексну технологію відновлення чавунних фрикційних клинів, що базується на послідовному формуванні перехідного шару з подальшим відновленням геометричних розмірів.

Удосконалено технологічний процес ремонту візків вантажних вагонів в умовах вагоноремонтних підприємств за рахунок впровадження розробленої інноваційної технології.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблена комплексна технологія відновлення, яка включає хіміко-термічну обробку в водяному розчині солей міді для формування перехідного шару з подальшим відновлення геометричних розмірів чавунних клинів, що забезпечує підвищення зносостійкості та працездатності.

- визначено раціональні параметри розробленої технології, зокрема температуру нагріву деталі, концентрацію насичуючого середовища та часу витримки в цьому середовищі, що дало можливість розробити маршрутну карту для ремонту чавунних фрикційних клинів візків вантажних вагонів;

- - проведено експлуатаційні випробування, які довели, що використання нової комплексної технології відновлення геометричних розмірів фрикційних клинів забезпечує їхню працездатність протягом усього міжремонтного періоду вагона;



- - результати експлуатаційних випробувань довели, що зносостійкість відновлених фрикційних клинів порівняно зі встановленням нових клинів перевищує майже в 1,5 рази.

- - практичне значення отриманих результатів підтверджено їх впровадженням у технологічний процес ремонту вантажних вагонів вагонного депо Куп'янськ регіональної філії «Південна залізниця».

Розроблена комплексна технологія відновлення знайшла використання в процесі ремонту на підприємствах АТ «Укрзалізниця», а результати теоретичних і практичних досліджень впроваджені в навчальний процес Українського державного університету залізничного транспорту (УкрДУЗТ) при вивченні таких дисциплін, як «Технологія конструкційних матеріалів», «Нові матеріали та технології виготовлення і відновлення деталей», «Ресурсозберігаючі матеріали і технології виготовлення деталей транспортного призначення». Акти впровадження в навчальний і виробничий процеси наведені в додатках до дисертаційної роботи.

**Особистий внесок здобувача.** Дослідження, висвітлені в усіх наукових працях, проводилися в УкрДУЗТ. Основні наукові положення, одержані в роботі, отримано автором самостійно. У наукових працях, опублікованих зі співавторами, особистий внесок полягає в такому: у роботі [1] визначені умови експлуатації та розроблені способи підвищення зносостійкості робочих поверхонь вузлів вантажних вагонів; у роботі [2] запропоновано формування багатокомпонентного покриття, що забезпечує зносостійкість відновлених клинів; у роботах [3, 11] запропонований спосіб відновлення зношених поверхонь чавунних деталей; у роботах [4, 9, 15] запропоновано модифікацію поверхні чавунних клинів; у роботах [5,12] визначені триботехнічні властивості відновлених клинів; у роботах [6, 14] визначено швидкість зносу базових елементів вантажних вагонів; у роботах [7, 8] розроблені параметри технологічних процесів відновлення фрикційних клинів; у роботі [10, 13] запропоновані підходи щодо управління якістю і конкурентоспроможністю

залізничної продукції; у роботах [16,17] досліджені руйнування деталей рухомого складу та рейок.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи розглядалися, обговорювалися та ухвалені на таких міжнародних науково-технічних конференціях у період 2018-2020 рр.: Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: international research and practice conference (Radom, Republic of Poland, December 27-28 2017); 18-та Міжнародна науково-технічна конференція «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика» (03 – 07 вересня 2018 р., м. Одеса); International scientific and practical conference “Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects” (Italy May 2018); Materials of the 18th International Scientific and Technical Seminar «Modern questions of production and repair in industry and in transport» (February 10 – 16, 2018, Brno, Czech Republic); 19-та Міжнародна науково-технічна конференція «Інженерія поверхні та реновація виробів» (20 – 24 травня 2019 р., м. Свалява, Закарпатська область,); 1-ша міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології» (24 – 30 січня 2020 р., м.Трускавець - Харків).

**Публікації.** Основні результати дисертаційної роботи опубліковані у 17 наукових працях, у тому числі 6 основних наукових фахових статей, з яких дві статті включені до міжнародної наукометричної бази SCOPUS, розробки захищені 2 патентами, шість праць апробаційного характеру та три додаткових.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації складає 156 сторінок. Обсяг основного тексту складає 125 сторінок, 48 рисунків, 4 таблиць. Список використаних джерел нараховує 127 найменувань на 13 сторінках.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Тимофеева Л. А., Воскобойников Д. Г. Умови експлуатації та пособи підвищення зносостійкості робочих поверхонь п'ятникових вузлів вантажних вагонів Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2016. Вип. 4 (137). С. 34 - 38.
2. Воскобойников Д. Г. Разработка технологии восстановления изнашиваемых поверхностей деталей подвижного состава. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2017. Вип. 170. С. 111-115.
3. Тимофеева Л. А., Воскобойников Д. Г. Відновлення чавунних деталей рухомого складу. Міжнародний техніко-економічний журнал «Українська залізниця». 2018. Вип. 3-4 (57-58). С. 42-43.
4. Тимофеева Л. А., Тимофеев С. С., Воскобойников Д. Г., Дьомін А. Ю., Федченко І. І. Модифицирование поверхности деталей из железоуглеродистых сплавов, работающих в условиях трения и изнашивания. Journal of Friction and Wear. 2018. Вип. 3 (39). С. 227-231. (видання індексується у базі Scopus).
5. Timofeeva L. A., Timofeev S. S., Demin A. Yu., Voskoboinykov D. G. Raising of the tribotechnical properties of parts from iron-carbon alloys. Metal Science and Heat Treatment. 2019. Vol. 61(3). P. 178-182. <https://doi.org/10.1007/s11041-019-00397-z> (видання індексується у базі Scopus).
6. Тимофеев С. С., Склярів М. В., Федченко І. І., Воскобойников Д. Г. Визначення швидкості зносу базових елементів вагонів у експлуатації. Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. 2019. Вип. 4 (137). С. 19 - 26.

7. Спосіб відновлення робочих поверхонь чавунних деталей, патент №UA119834, жовтень 2017 / Панченко С. В., Вовк Р. В., Тимофєєва Л. А., Тимофєєв С. С., Дьомін А. Ю., Воскобойников Д. Г. № u201703850; заяв. 19.04.2017, опубл. 10.10.2017, бюл. №19/2017.

8. Склад електрода для зварювання чавуну, пат на винахід №UA120566 грудень 2019 / Панченко С. В., Вовк Р. В., Тимофєєва Л. А., Тимофєєв С. С., Цап О. І., Воскобойников Д. Г. № a201806671; заяв. 13.06.2018, опубл. 10.10.2018, бюл. №24/2019.

9. Воскобойников Д. Г. Відновлення зношених поверхонь деталей рухомого складу. Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: international research and practice conference. (Radom, Republic of Poland, December 27-28 2017). Radom. 2017. P 160-163.

10. Тимофєєв С. С., Цап О. І., Воскобойников Д. Г., Підвищення якості відновлених чавунних деталей рухомого складу. Качество, стандартизация, контроль: теория и практика: матеріали 18-тої міжнар. наук.-техн. конф. (м. Одеса, 03-07 вересня 2018 р.). Одеса, 2018. С. 104-105.

11. Тимофєєва Л. А., Тимофєєв С. С., Воскобойников Д. Г. Відновлення чавунних деталей вантажного рухомого складу. Modern questions of production and repair in industry and in transport: materials of the 18th International Scientific and 18 Technical Seminar. (Brno, Czech Republic, February 10-16 2018 p.). Kyiv. 2018. С. 227- 229.

12. Timofeev S., Tsap O., Voskoboinykov D. Quality improvement methods for restored parts of the rolling stock. International scientific and practical conference “Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects”. (Italy May 2018). 2018. P. 118-119.

13. Тимофєєв С. С., Воскобойников Д. Г. Управління якістю і конкурентоспроможністю залізничної продукції. Матеріали 19-ої

Міжнародної науково-технічної конференції. (м. Свалява, Закарпатська область 20-24 травня 2019 р.). Харків, 2019. С. 165-167.

14. Воскобойников Д. Г., Гребенюк В. А. Аналіз роботи пружиннофрикційного візка вантажного вагона. Тези доповідей 1-ої міжнародної науковотехнічної конференції «Інтелектуальні транспортні технології». (м. Трускавець 24-30 січня 2020 р). Трускавець - Харків, 2020 С. 118-119. Додаткові праці, які відображають результати дисертації:

15. Тимофєєв С. С., Цап О. І., Воскобойников Д. Г., «Відновлення залізовуглецевих сплавів для деталей рухомого складу». Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту. 2018. Вип. 177, С. 94-95.

16. Устенко О. В., Устенко С. С., Огульчанська Н. Р., Грибанов М. В., Воскобойников Д. Г. Аналіз руйнування головки рейок. Технології та інфраструктура транспорту: міжнародна науково-технічна конференція (м. Харків, 14-16 травня 2018 р). Харків, 2018. С. 26 - 27.

17. Тимофєєва Л. А., Федченко І. І., Цап О. І., Воскобойников Д. Г. Аналіз дефектів автозчепного пристрою СА-3. Технології та інфраструктура транспорту: міжнародна науково-технічна конференція (м. Харків, 14-16 травня 2018 р). Харків, 2018. Ч.1. С. 32-34.

18. Тимофеева Л. А., Проскурина Л. В., Остапчук В. Н., Тимофеев С. С. Управления условиями антифрикционности узлов трения. *Тяжелое машиностроение*. 2002. Вип. 3. С. 27 - 28.

19. Тененбаум М. М. Зносостійкість конструкційних матеріалів та деталей машин. Москва. Росія. *Машинобудівництво*. 1966.

20. Білий А. Б., Карпенко Г. Д., Мишкін Н. К. Структура та методи формування зносостійких шарів. Москва. Росія. *Машинобудівництво*. 1991.

21. Латхин Ю. М. Металознавство та термічна обробка металів. Москва. Росія. *Металургія*. 1993.
22. Ефимов В. П. Модернизация тележки модели 18-100 – эффективный путь повышения безопасности движения поездов. *Тяжелое машиностроение*. 2003. Вып. 12. С. 6 – 9.
23. Глушко М. И. Работа пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона. *Вестник ВНИИЖТ*. 2004. Вып. 5. С. 41 - 44.
24. Тененбаум М. М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин. *Машиностроение*. 1966.
25. Великанов А. В., Борщ Б. В. Клин из серого чугуна для фрикционного гасителя колебаний грузовых вагонов. *Вопросы развития железнодорожного транспорта в условиях рыночной экономики*. 2007. Москва. Россия. *Издательство Интекст*. С.166 – 175.
26. Інструкція по ремонту візків вантажних вагонів ЦВ-0015
27. Ефремов В. Г., Шимидзу К., Пастухова Т. В., Чабак Ю. Г., Кусумото К., Ефременко А. В. Влияние объёмной и поверхностно-плазменной термической обработки на микроструктуру и эрозионную износостойкость комплекснолегированных чугунов со сфероидальными карбидами вадания. *Трение и износ*. 2017. Вып. 1 (38). С. 24 – 31.
28. Ефремов В. Г., Шимидзу К., Пастухова Т. В., Чабак Ю. Г., Кусумото К., Ефременко А. В. Механизм изнашивания и оптимизация химического состава комплекснолегированных чугунов со сфероидальными карбидами вадания в условиях абразивной эрозии, *Трение и износ*. 2017. Вып № 2 (38). С. 73 – 79.
29. Козлова О. Г. Морфолого-генетический анализ кристаллов. Москва. Россия. *Издательство МГУ*. 1991.

30. Ершов Г. С., Позняк Л. А. Структурообразование и формирование свойств сталей и сплавов. Киев. *Наукова думка*. 1998.

31. Баженов А. И, Ищук Ю. А., Мацак А. Т., Солнцев Л. А., Тимофеева Л. А. Способ химико-термической обработки железоуглеродистых сплавов, Москва. Россия. *МПК*. 1993. Вип. №4 С. 8 – 23.

32. Хаускрофт К., Констебл Э. Современный курс общей химии. Переведенос английского языка Москва. Россия. *Издательство Мир*. 2002.

33. Солнцев Л. А., Тимофеева Л. А., Билярчик Е. Р. Особенности взаимодействия чугуна с шаровидным графитом с перегретым паром разбавленных водным раствором солей при окислегировании. *Физика и химия обработки материалов*. 1998. Вип 1. С. 60 – 63.

34. Тимофеева Л. А., Проскурина Л. В., Остапчук В. Н., Тимофеев С. С. Управление условиями антифрикционности узлов трения. *Тяжелое машиностроение*. 2002. Вип.3. С. 27 – 28.

35. Мацак А. Т., Солнцев Л. А., Катрич С. А. Многокомпонентные тонкопленочные покрытия триботехнического назначения. 1995. Вип. 8. С. 61 – 64.

36. Kmita A., Zych J., Holtzer M., Ecological water-based protective coatings for moulds and cores of iron castings. *Metallurgy*. 2016. Vol.55. №4. с. 589 – 592.

37. Timofeeva L. A., Timofeev S. S., Demin Yu. A., Voskoboinikov D. G. Raising of the tribotechnical properties of parts from iron-carbon alloys. *Metal Science and Heat Treatment*. 2019. С. 38 – 43.

38. Timofeeva L. A., Timofeev S. S., Demin Yu. A., Voskoboinikov D. G., Fedchenko I. I. Surface Modification of the parts of Iron-Carbon Alloys Working at Friction and Wear. *International Scientific Journal*. 2018. С. 283 – 289.



39. Устенко О. В., Саркісян К. М. Аналіз методів та експертна оцінка оперативного контролю технічного стану колісних пар рухомого складу. *Збірник наукових праць УкрДУЗТ*. 2017. Вип. 173. С. 107 – 114.

40. И. Г. Кесаев Катодные процессы электрической дуги. Москва. Россия. *Издательство Наука*. 1968.

41. Тимофеева Л. А., Катрич С. А., Солнцев Л. А. Влияние вакуум-плазменного напыления на износостойкость средне- и малоуглеродистой стали. *Трение и износ*. 1992. Т.13. Вып. 3. С. 533 – 535.

42. Тимофеева Л. А., Солнцев Л. А. Процессы формирования поверхностного слоя при обработке железоуглеродистых сплавов в среде перегретого пара водного раствора солей. *Известия ВУЗов. Черная металлургия*. 1992. Вып. 6. С. 31 – 33.

43. Тимофеева Л. А., Солнцев Л. А. Повышение триботехнических свойств поверхностного слоя чугуна с помощью обработки в среде перегретого пара. *Физика и хими обработки материалов*. 1991. Вып 12. С. 12 – 14.

44. Чернов Д. Б. Конструкционное применение сплавов с памятью формы. Москва. Россия. *НИИСУ*. 1999.

45. Попов Н. Н. Разработка прогрессивных технологий на основе материалов, обладающих эффектом памяти формы. Монография. Саров. Россия. *ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ»*. 2008.

46. Конверистый Ю. К., Белоусов О. К., Федотов С. Г. Термодинамические и структурные аспекты исследования сплавов на основе NiTi с ЭПФ. *Сплавы титанов с особыми свойствами*. Москва. Россия. Наука. 1982. С. 4 – 10.

47. Шиманский С. Р., Лихачев В. А. Влияние композиции Ti – Ni – Nb на её свойства и работоспособность. Деп. статья № 7865-84. *ВИНИТИ*. 1992.

48. Удовенко В. А., Потапов П. Л., Прокошин С. Д. Исследование функциональных свойств сплава  $Ti - 45\%Ni - 10\%Nb$  с широким гистерезисом мартенситного превращения. *МирТОН*. 2000. Вып 9. С. 19 – 22.

49. Абрамов В. Я., Александрова Н. М., Боровко Д. В. Структура и функциональные свойства термически и термомеханических обработанных сплавов на основе  $Ti - Ni - Nb$  с широким мартенситным гистерезисом, *Физика и металлосведение*. 2006. Т.101. Вып 4. С. 436 – 446.

50. Попов Н. Н., Сысоева Т. И., Прокошин С. Д. Исследование механических свойств и реактивных напряжений сплавов с памятью формы системы  $Ti - Ni - Nb$ . *Металлы*. 2007. Вып 4, С. 62 – 70.

51. Попов Н. Н., Сидоркин М. Ю., Прокошин С. Д. Исследование влияния термомеханической обработки на структуру и функциональные свойства сплава  $45Ti - 45Ni - 10Nb$ . *Металлы*. 2007. Вып 4. С. 71 – 77.

52. Попов Н. Н., Сидоркин М. Ю., Аушев А. А. Исследование структуры, элементного, фазового составов и кинетики фазовых превращений в сплавах с памятью формы системы  $Ti - Ni - Nb$ . *Металлы*, 2012, Вып. 4, С. 97 – 105.

53. Попов Н. Н., Ларькин В. Ф., Пресняков Д. В. Исследование термомеханических характеристик сплавов системы  $Ti - Ni - Nb$  с памятью формы и влияния термической обработки на них. *Физика металлов и металлосведение*. 2013. Т.114. Вып 4. С. 380 – 390.

54. Попов Н. Н., Ларькин В. Ф., Пресняков Д. В., Костылева А. А. Исследование механических характеристик сплавов системы  $Ti - Ni - Nb$  с памятью формы и влияния термической обработки на них. *Заводская лаборатория: Диагностика материалов*. 2014. Т.80. Вып. №8. С. 22 – 30.

55. Попов Н. Н., Ларькин В. Ф., Пресняков Д. В., Суворова Е. Б. Разработка прогрессивных технологий на основе материалов с памятью формы.

*Новые технологии: Материалы XI Всероссийской конференции.* 2014. Т.2. С. 137 – 151.

56. Попов Н. Н. Экспериментально-методическая база для исследования термомеханических свойств материалов с эффектом памяти формы. *Заводская лаборатория: Диагностика материалов.* 2006. Т.72. Вып 12. С. 34–39.

57. Кулаичев А. П. Универсальный программный статистический пакет STADIA (версия 7.0) для Windows. *Информатика и компьютеры.* 2007.

58. Кулаичев А. П. Методы и средства комплексного анализа данных. *Форум-Инфра-М.* 2006.

59. Степанов М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. Москва. Россия. *Машиностроение.* 1985.

60. Волощенко М. В. Современное состояние производства и применение высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. *Наукова думка.* 1970.

61. Горенко В. Г. Упруго-пластические и прочностные способности высокопрочного в интервале температур 20...800°. *Литейное производство.* 1976. Вып 8. С. 14– 16.

62. Любченко А. П. Высокопрочные чугуны. *Металлургия.* 1982.

63. Волощенко М. В. Волощенко С. М., Ліщенко В. Я. Високоміцний чавун: нове у теорії та практиці виробництва. *Винахідник і раціоналізатор.* 2002. Вип 2 – 3. С. 9– 10.

64. Волощенко М. В. Высокопрочный чугун с шаровидным графитом. Теория, технология производства, свойства и применение. *Наукова думка.* 1974.

65. Марковский Е. А., Тихонович В. И., Краснощеков Н. М. Износостойкость чугунов с шаровидным графитом. *Высокопрочные чугуны*. 1964. С. 267–288.
66. Ушаков Я. Д. Износостойкость магниевого чугуна с различной металлической основой. *Литейное производство*. 1958. Вып.7. С. 17–18.
67. Богачев И. Н. Основы модифицированного чугуна. Москва. Россия. *Машигиз*. 1949.
68. Молодых Н. В., Бредун А. К. Восстановление деталей машин. *Урожай*. 1985.
69. Дорошенко А. Г. Методика выбора рациональных способов восстановления сложно нагруженных деталей. *Диссертация кандидата технических наук А. Г. Дорошенко*. Челябинск. Россия. 1978.
70. Шеленков Е. И. Исследование электродуговой и плазменной металлизации применительно к восстановлению автотракторных коленчатых валов из высокопрочного магниевого чугуна. *Диссертация кандидата технических наук Е. И. Шеленков*. Саратов. Россия. 1971.
71. S. Kou, Sun D. K., Le Y. P., Fundamental Study of Laser Transformation Hardening. *Met. Trans.* 1983. №14A. P. 643–653.
72. Malian P. A. Engineering applications and analysis of hardening data for laser heat treated ferrous alloys. *Surface Engeneerung*. 1986. V.2. P. 19–28.
73. Grant N. J. Rapid solidification of metallic particulates. *Journal of metals*. 1986. V.35. №1. P. 20–27.
74. Чайка В. И., Савинов А. П., Лапко П. Р. Сравнительная оценка способов восстановления чугунных коленчатых валов. *Техника в сельском хозяйстве*. 1975. Вып.11. С. 53 – 55.

75. Школин Е. А. Повышение межремонтного ресурса чугунных коленчатых валов конструктивно-технологическими способами. *Дисертация кандидата технических наук Е. А. Школин*. Саранск. Россия. 2011.

76. Боцев А. Г., Машков В. Н. Упрочнение поверхностей деталей комбинированными способами. Москва. Россия. *Машиностроение*. 1994.

77. Berstein G., Fuchsbaue B. Festwalzen und Schwingungfestigkeit. *Z. Werk. Tech.* 1982. v.13. №13. P. 103 – 109.

78. Wunning I. Zeitschrift fur wirtschaftly Fertigung. 1974. Bd.69. №2. P. 80 – 85.

77. Fatigue Strength of spheroidal graphite cast iron. *British Founrymon*. 1997. v.70. №1 P. 25 – 30.

78. Котов О. К. Поверхностное упрочнение деталей машин химико-термическими методами. Москва. Россия. *Машиностроение*. 1969.

79. Kameoka T., Nischiyara M., Fukue Y. Fating strength of very large cast steel cfanshafts with surface cold rolling of their fillits. *The Institute of Marine Engineers (Japan)*. 197.1 vol.83. part 8. P. 205 – 209.

80. Власов В. М. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей. Москва. Россия. *Машиностроение*. 1987.

81. Nauffe K. Oxidation of metal. *Plenum press*. New York. 1965.

82. Бокштейн Б. С. Диффузия в металлах. Москва. Россия. *Металлургия*. 1978.

83 Вигерена Т. В. Технологии восстановления коленчатых валов двигателей из высокопрочного чугуна и конструкционной стали напылением, наплавкой, поверхностным пластическим деформированием. *Дисертация кандидата технических наук Т. В. Вигерена*. Минск. Беларусь. 2013.

84. Современные материалы, оборудование и технологии упрочнения и восстановление деталей машин. *Тематич. сб. Новополюк: Новополюцкий государственный университет.* 1999.

85. Уманский В. Б. Новые способы упрочнения деталей машин. *Справочное пособие.* Донецк. 1990.

86. Сулима А. М., Шулов В. А., Ягодкин Ю. Д. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. Москва. Россия. *Машиностроение.* 1988.

87. Мишин И. А. Долговечность двигателей. Москва. Россия. *Машиностроение.* 1976.

88. Новиков А. В., Сыромятников П. С., Скобло Т. С. Плазменная наплавка чугунных коленчатых валов. *МЭСХ.* 1998. Вып. 7. С. 30 – 31.

89. Тарасенко В. И., Краснов Л. Т., Епифанцев С. И. Повышение износостойкости трущихся поверхностей высокопрочного чугуна лазерным упрочнением. *Трение и износ.* 1989. т.10. Вып.6. С. 1070 – 1074.

90. Зенкин, Н. А. Куроптева Е. О., Филатов В. И. Методология выбора упрочняющих покрытий ответственных деталей машиностроения. *Механика та механостроение.* 2002. Вып.1. С. 184 – 190.

91. Иванов В. А., Вашкович В. В. Композиционные антифрикционные материалы и покрытия. Хабаровск. Россия. *XIII.* 1981.

92 Баранов А. В., Демина Э. Л. Металлографическое травление металлов и сплавов. Москва. Россия. *Металлургия.* 1986.

93 Похмурский В. И., Далисов В. В., Голубец В. М. Повышение долговечности деталей машин с помощью диффузионных покрытий. Киев. *Наукова думка.* 1980.

94. Тушинский Л. И. Исследование структуры и физико-механических свойств покрытий. Новосибирск. Россия. *Наука*. 1986.
95. Винарский М. С., М. В. Лурье. Планирование эксперимента в технологических исследованиях. Москва. Россия. *Техника*. 1985.
96. Зимон А. Д. Адгезия пленок и покрытий. Москва. Россия. *Химия*. 1997.
97. Степнов М. Н. Статистические методы обработки результатов механических испытаний. Справочник. Москва. Россия. *Машиностроение*. 1985.
98. Горский В. Г. Адлер Ю. П. Планирование промышленных экспериментов. Москва. Россия. *Машиностроение*. 1978.
99. Зергенидзе И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем. Москва. Россия. *Наука*. 1976.
100. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва. Россия. *Наука*. 1976.
101. Румшинский Л. З. Математическая обработка результатов эксперимента. Москва. Россия. *Наука*. 1972.
102. Потапов А. А., Булавкин В. В., Герман В. А., Вячеславова О. Ф.. Исследование микрорельефа обработанных поверхностей с помощью методов фрактальных сигнатур. *Журнал технической физики*. 2005. Вып. 5. С. 28 – 45.
103. Уэлс А. А. Влияние остаточных напряжений на хрупкое разрушение. Москва. Россия. *Мир*. 1977. т. 4. С. 229 – 333.
104. Самсонов Г. В. Физико-химические свойства оксидов. Москва. Россия. *Металлургия*. 1978.
105. Спиридонов А. А. Планирование экспериментов при исследовании технологических процессов. Москва. Россия. *Машиностроение*. 1981.

106. Крагельский И. В. Трение и износ. Москва. Россия. *Металлургия*. 1968.
107. Любарский И. М. Палатник Л. С. Металлофизика трения. Москва. Россия. *Металлургия*. 1976.
108. Буше Н. А., Копытько В. В. Совместимость трущихся поверхностей. Москва. Россия. *Наука*. 1981.
109. Миркин Л. И. Рентгеноструктурный анализ. Москва. Россия. *Наука*. 1981.
110. Горелик С. С., Расторгуев Л. Н., Скаков Ю. А. Рентгенографический и электро-оптический анализ. Москва. Россия. *Металлургия*. 1981
111. Гегузин Я. Е. Кинетика движения межфазных границ при взаимной диффузии в двухкомпонентной системе. 1979. *ФММ*. Т.47. Вып. 4. С. 821 – 833.
112. Зенкін М. А. Технологічні основи забезпечення якості поверхневого зміцнення відповідальних деталей машин. *Дисертація кандидата технічних наук М. А. Зенкін*. Харків. ХПІ. 2005.
113. Воловик Е. Л. Справочник по восстановлению деталей. Москва. Россия. *Колос*. 1981.
114. Лившиц П. С. Металловедение для сварщиков. Москва. Россия. *Машиностроение*. 1979.
115. Иванов В. П., Вожаев И. Н., Дьяков Ю. И., Углинский А. Я. Технология ремонта тепловозов: Учебник для техников ж.-д. Москва. Россия. *Транспорт*. 1987.
116. Алтухов В. Я., Трофимеко А. Ф., Зенкин А. С. Механизация и автоматизация технического обслуживания и ремонта подвижного состава. Москва. Россия. *Транспорт*. 1989.



117. Арефьев Е. В. Совершенствование процессов технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств на предприятиях автотехобслуживания за счёт построения интегрированной системы управления. *Дисертация кандидата технических наук Е. В. Арефьев*. Москва. Россия. 2013.

118. Байчик І. М., Харів П. С. Економіка підприємства. *Навчальний посібник*. Львів. СПОЛОМ. 1998.

119. Великанова К. М. Расчёты экономической эффективности новой техники. Москва. Россия. *Машиностроение*. 1990.

120. Бондар М. М. Економіка підприємства. *Навчальний посібник*. Київ. А.С.К. 2004.

121. Шепеленко Г. И. Экономика, организация и планирование производства на предприятии. Россия. Москва. Ростов на Дону. *Издательский центр «МарТ»*. 2004.

122. D. Halderman James Automotive Engines: Theory and Servicing. *Prentice Hall*. 2008.

123. Сухов А. В., Борщ Б. В., Габец А. В. Оценка фрикционных свойств в парах трения клинового гасителя колебаний тележки грузового вагона. *Вестник ВНИИЖТ*. 2015. Вып. 2, С. 32 - 37.

124. Габец А. В., Лёвкин И. В., Сапетов М. В. Оценка износа фрикционного клина узла гашения колебаний тележки грузового вагона. *Ползуновский вестник*. 2015. Вып. 4. Т.1. С. 16 – 18.

125. Великанов А. В., Пашарин С. И., Дудкина Т. П. Чугунные фрикционные клинья тележки грузового вагона. *Вестник ВНИИЖТ*. 1999. Вып. 1. С. 25 - 31.

126. Тененбаум М. М. Зносостійкість конструкційних матеріалів та деталей машин. Москва. Росія. *Машинобудівництво*. 1966.

127. Білий А. Б., Карпенко Г. Д., Мишкін Н. К. Структура та методиформування зносостійких шарів. Москва. Росія.

*Машинобудівництво*. 1991.