

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 розчині 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 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.

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. 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. Тимофеев 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. Тимофеева 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 комплекту візка вантажного вагону.....	19
1.2 Визначення швидкості зносу базових елементів вагонів в експлуатації.	27
1.3 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
3.2 Визначення раціональних параметрів інноваційної технології відновлення фрикційних клинів.....	78
3.3 Підвищення триботехнічних властивостей деталей із залізовуглецевих сплавів	86
3.3. Висновки до третього розділу	98

	12
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 окисилегування;
- 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 багатокomпонентного 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.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз роботи пружинно-фрикційного комплексу візка вантажного вагона

При розробці типажу вантажних вагонів досить велика увага приділяється ефективності їх експлуатації. В якості критеріїв підвищення ефективності позначено застосування візків: поліпшеної конструкції з удосконаленою системою ресорного підвішування; безремонтних конструкцій природних пар тертя протягом пробігу до капітального ремонту; з міжремонтними термінами служби деталей від 400 500 тис. до 1 млн. км. Представлені критерії визначаються принциповою вимогою до трьох-елементного візка – забезпечення всіх його вузлів міжремонтним пробігом не менше 1 млн. км.

За рівнем динамічного впливу вагони не повинні перевищувати встановлених значень. Ця вимога реалізується в пружинному комплекті візка за рахунок статичного і динамічного прогину, а головне - у фрикційному вузлі гасіння вертикальних і горизонтальних коливань. Щоб проаналізувати роботу пружинно-фрикційного комплексу вантажного вагона необхідно провести розрахунки взаємодії всіх елементів. Базою досліджень є прийнята розрахункова схема фрикційного клину по І. І. Челнокова, представлена на рис. 1.1.

Особливістю застосовуваних розрахункових схем є те, що вони не враховують умови взаємодії контактних поверхонь і місця докладання зусиль (приймають їх дію посередині майданчиків). В експлуатації ж спостерігається нерівномірний знос фрикційних поверхонь фрикційного гасителя коливання візка моделі 18-100, і за допомогою застосовуваної спрощеної схеми докладання зусиль цього не пояснити.

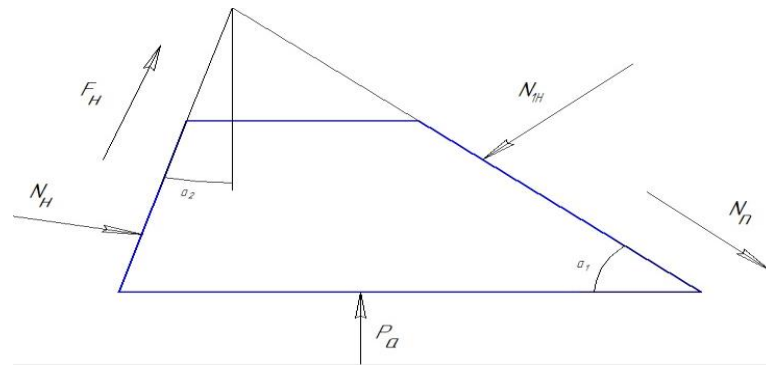


Рисунок 1.1 – Розрахункова схема фрикційного клину

де: N_h та N_{1h} – нормальний тиск між поверхнями клину, які труться, відповідно з фрикційною планкою та надресорною планкою при русі системи;

F_h та N_n – сили тертя, відповідно нормального тиску;

P_a – реакція пружин, які підтримують фрикційний клин;

a_1 – кут нахилу поверхні надресорної балки та фрикційних кланів, які між собою труться;

a_2 – кут нахилу поверхні, яка треться з поверхнею фрикційних планок

Для аналізу роботи фрикційного вузла потрібен системний підхід, що враховує взаємодію надресорної балки, фрикційних клинів, фрикційних планок бокових рам візка[14]. Кожен візок містить два фрикційних гасителя коливань, а кожен гаситель- чотири пари плоских фрикційних поверхонь. При такій кількості фрикційних поверхонь з урахуванням допусків забезпечити повний контакт всіх розглянутих площин, та ще й з додатком рівнодійної посередині майданчиків, практично неможливо.

Для достовірного аналізу роботи пружинно-фрикційного комплексу слід виходити з реальних умов і прийняти перехід від повного контакту площинами до контакту окремими гранями клину при складанні візка.

На рис. 1.2 представлені конфігурація і основні розміри фрикційних клинів, що на даний час застосовуються в експлуатації вантажних вагонів на залізничних дорогах України

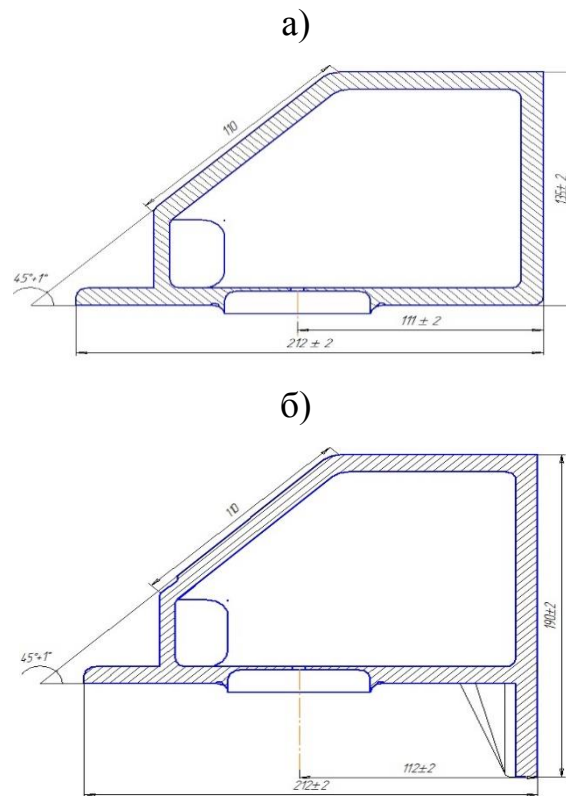


Рисунок 1.2 – Фрикційні клини:

а – стандартний (сталевий); б – з подовженою вертикальною поверхнею (сталевий або чавунний)

Було проведено аналізу роботи пружинно-фрикційного комплексу візка вантажного вагону зі зміною його конфігурації та подальшого розгляду впливу на зносостійкість [1].

Для цього проаналізували існуючі пружинно-фрикційні комплекти візка вантажного вагону та фрикційні клини, що використовуються на залізничному транспорті (вантажні вагони);

Розглянемо, як різні сили діють на фрикційний клин. Перехід до можливого контакту окремими гранями врахований у пропонованій розрахунковій схемі фрикційного клину, представленої на рис. 1.3, яка забезпечує прийнятну фазу взаємодії. Крім того, оскільки знос похилої поверхні надресорної балки економічно не вигідний у порівнянні зі зносом фрикційного клину, збереження її міжремонтного ресурсу забезпечувалось паралельною

установкою змінних фрикційних планок товщиною 16мм., які приклепувались до тіла бокової рами, а на даний час модернізовані змінною «плаваючою» твердосплавною вставкою товщиною 6мм. у парі з приклепанною фрикційною планкою товщиною 10мм.

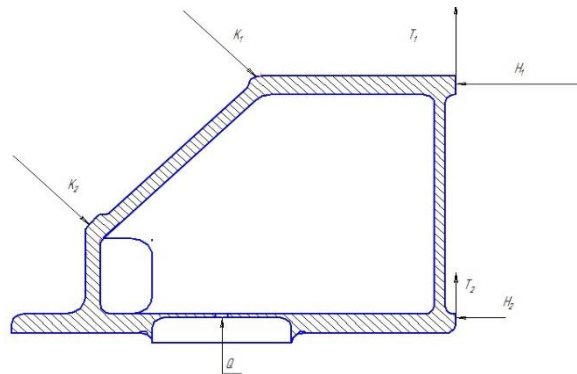


Рисунок 1.3 – Пропонована розрахункова схема фрикційного клину

Співвідношення між діючими по гранях фрикційного клину силами знаходять із умови рівності нулю суми проекцій діючих сил на осі координат і рівності нулю суми моментів діючих сил відносно грані прикладання сили H_1 .

З проекцій на координатні осі отримуємо співвідношення:

при русі надресорної балки вниз

$$K_1 + K_2 = \frac{\sqrt{2Q}}{1 - \mu}; H_1 + H_2 = \frac{Q}{1 - \mu} \quad (1.1)$$

при русі надресорної балки вгору

$$K_1 + K_2 = \frac{\sqrt{2Q}}{1 + \mu}; H_1 + H_2 = \frac{Q}{1 + \mu} \quad (1.2)$$

де Q - зусилля пружини клину; μ - коефіцієнт тертя.

Момент відносно грані прикладання сили H_1 з урахуванням плечей діючих сил

$$\sum M = 135H_2 - 68K_1 - 178K_2 + 110Q = 0 \quad (1.3)$$

Розглянемо послідовний ряд варіантів:

1. Вважаємо $K_1 = 0$; проводячи обчислення величин діючих сил,

отримуємо негативний результат для сили H_1 ; це означає, що варіант $K_1 = 0$ не відповідає застосовуваній конструкції фрикційного вузла. Тому за результатами першого варіанту приймається до розгляду другий варіант;

2. $H_1 = 0$; результати виконаних розрахунків за формулами (1.1), (1.2) і (1.3) для цього варіанта представлені на рис. 1.4. Графіки зміни зусиль взаємодії деталей дані в залежності від величини коефіцієнта тертя поверхонь контакту μ . При русі надресорної балки вниз умова $H_1=0$ дотримується, проте при русі надресорної балки вгору значення K_1 виявляється негативним; отже, співвідношення зусиль при русі вгору повинні визначатися за спрощеним варіантом $K_1 = 0$ і формулою (1.2);

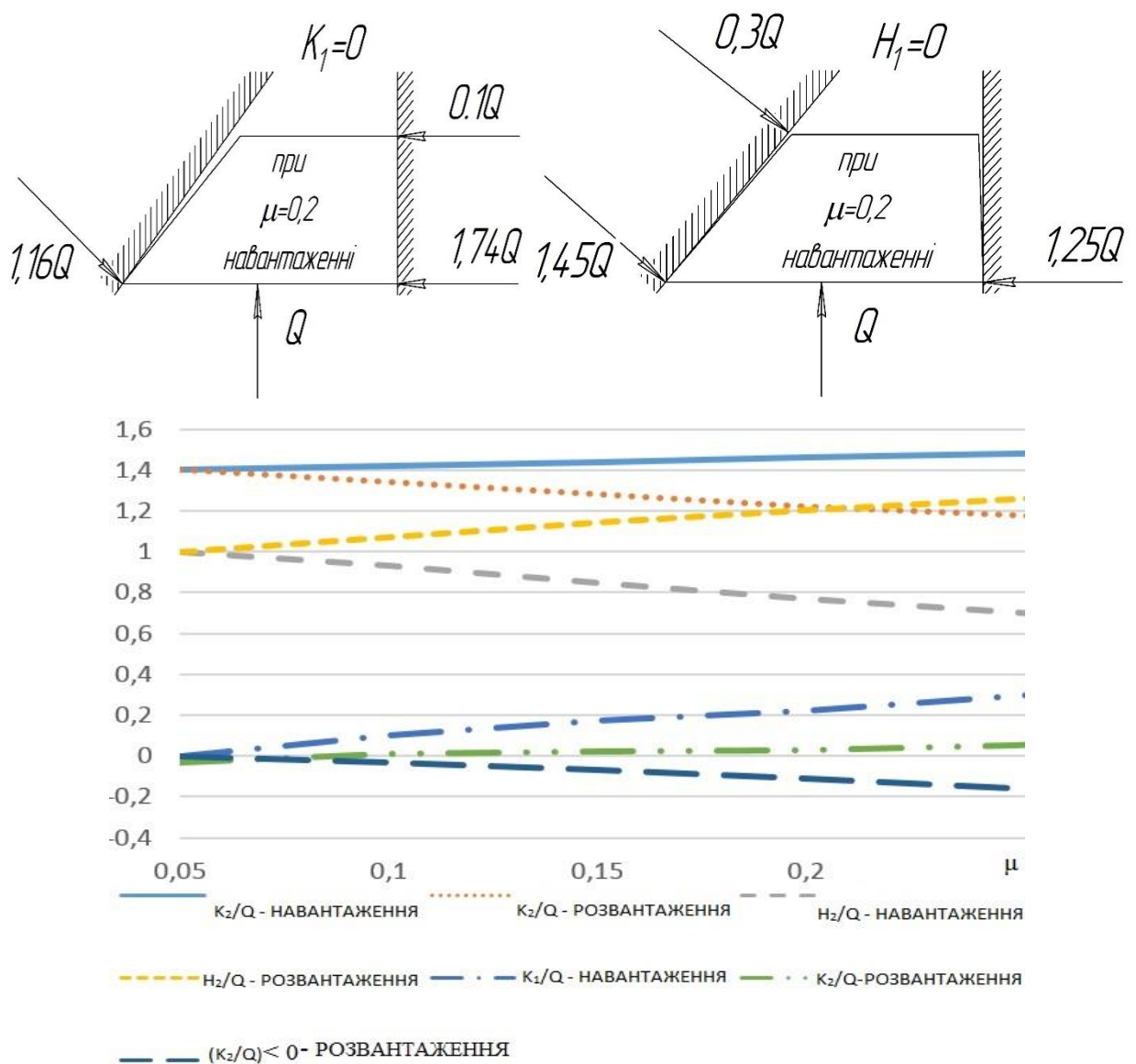


Рисунок 1.4 – Результати розрахунків із стандартними опорними

поверхнями при його розміщенні по схемі

3. $K_2 = 0$; результати виконання розрахунків для цього варіанта представлені на рис. 1.5. При русі надресорної балки вниз умова $K_2 = 0$ дотримується при коефіцієнті тертя $\mu > 0.10$; однак при русі надресорної балки вгору виявляється від'ємне значення H_2 ; отже, співвідношення зусиль при русі вгору має визначатися за спрощеним варіантом $H_2 = 0$ и формулою (2).

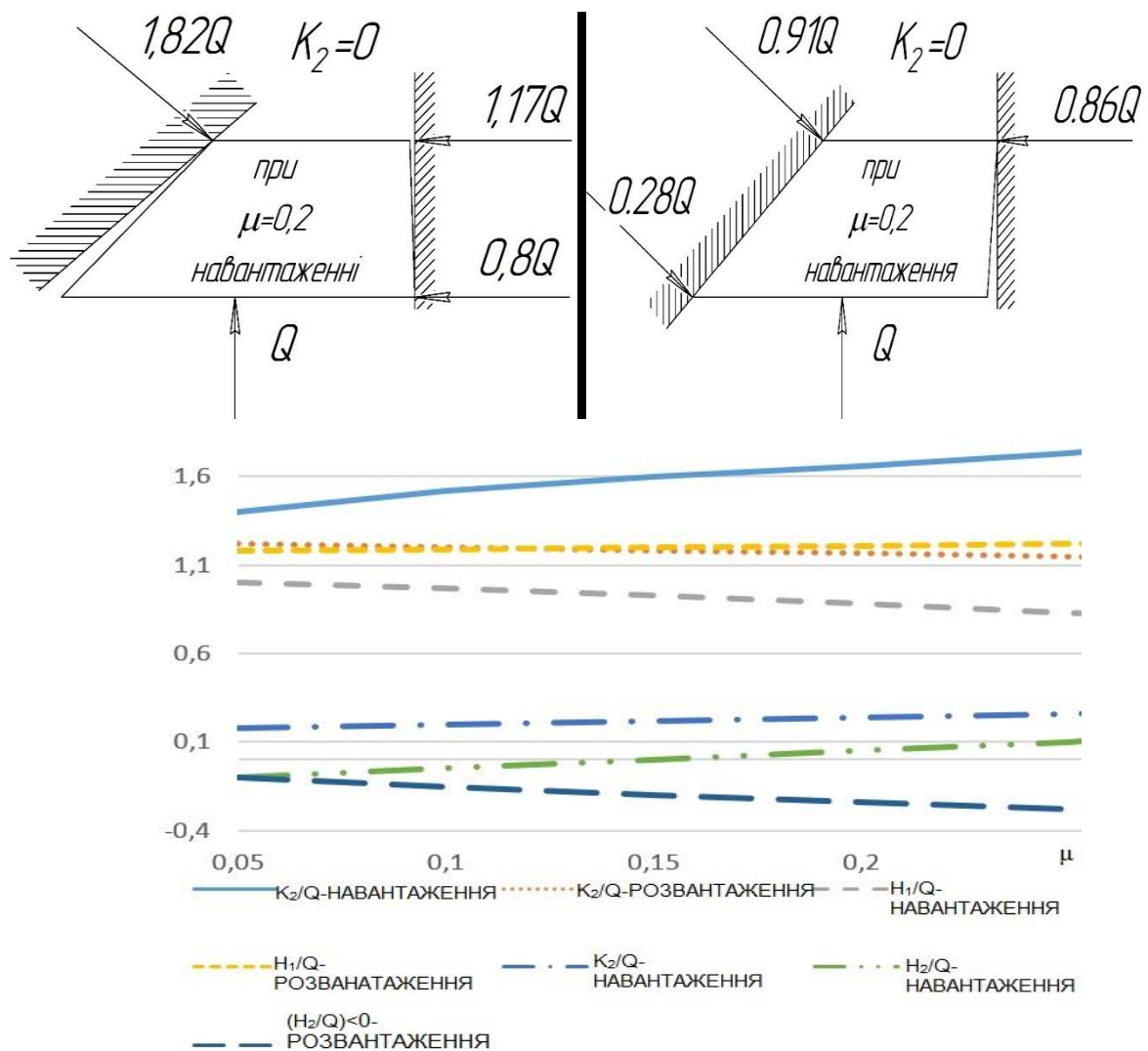


Рисунок 1.5 – Результати розрахунків із подовженими опорними поверхнями при його розміщенні по схемі

Для кожного рисунка представлена картина поведінки клину при коливанні надресорної балки у вертикальній площині і дані величини діючих зусиль при коефіцієнті тертя $\mu = 0.20$. Для розглянутих варіантів особливим є

зміна положення клину щодо контактних площі; він змінює поверхні контакту і своє розташування в гасителях коливань при зміні напрямку зміщення надресорної балки (навантаження або розвантаження).

Для зменшення зносу поверхонь фрикційних клинків було зроблено припущення, що необхідно збільшити вертикальну поверхню клину до 190мм. Результати розрахунків наведені у вигляді графіків на рис. 1.6 для варіанту 1 ($K_1 = 0$) і 3 ($K_2 = 0$); варіант $H_2 = 0$ без зміни контактних поверхонь і положення клину в гасителів коливань може бути реалізований тільки при $\mu < 0.125$. При великих значеннях μ варіант не проходить, і робота клину відповідає варіанту 3.

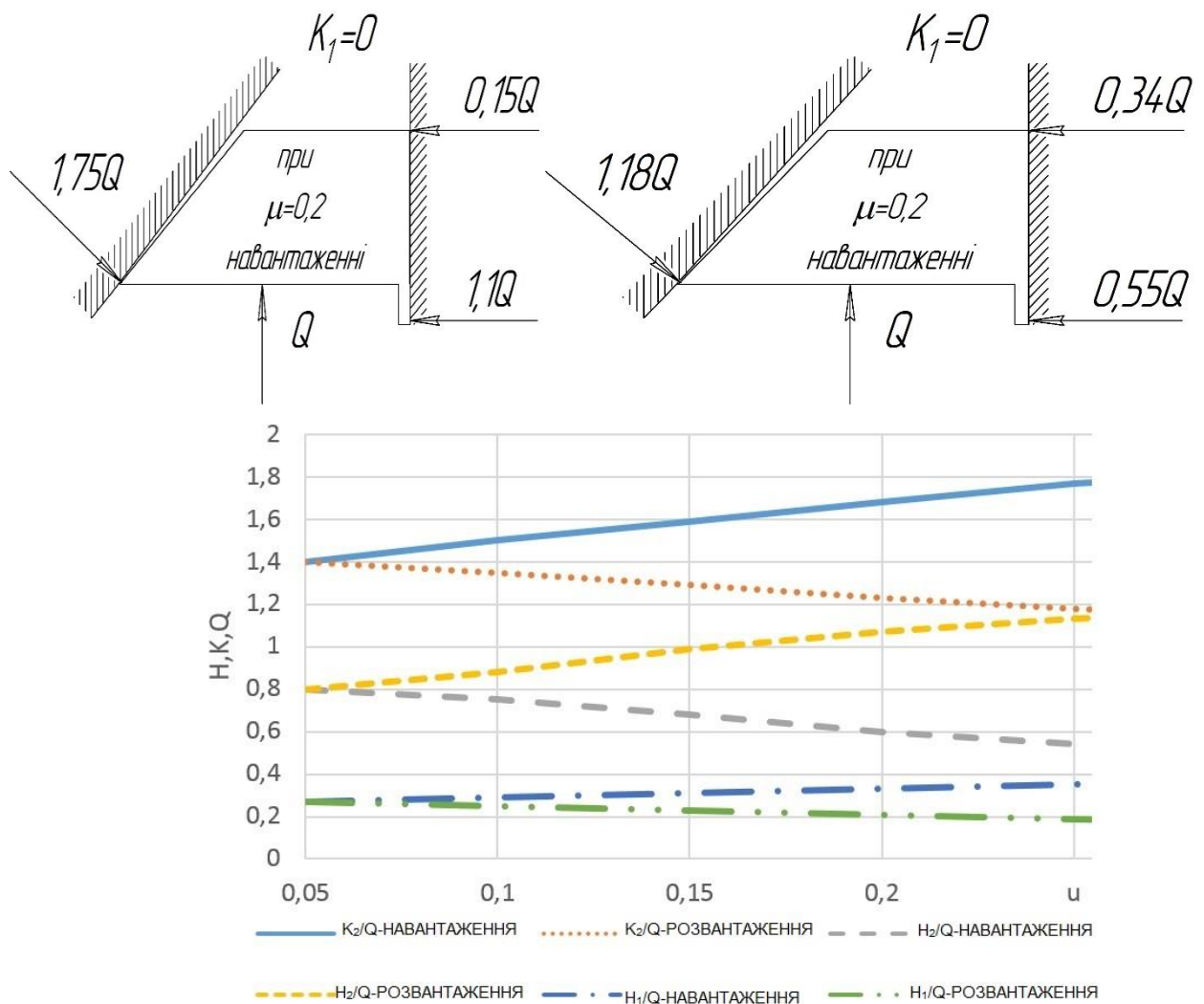


Рисунок 1.6 – Результати розрахунків із стандартною вертикальною поверхнею при його положенні по схемі а

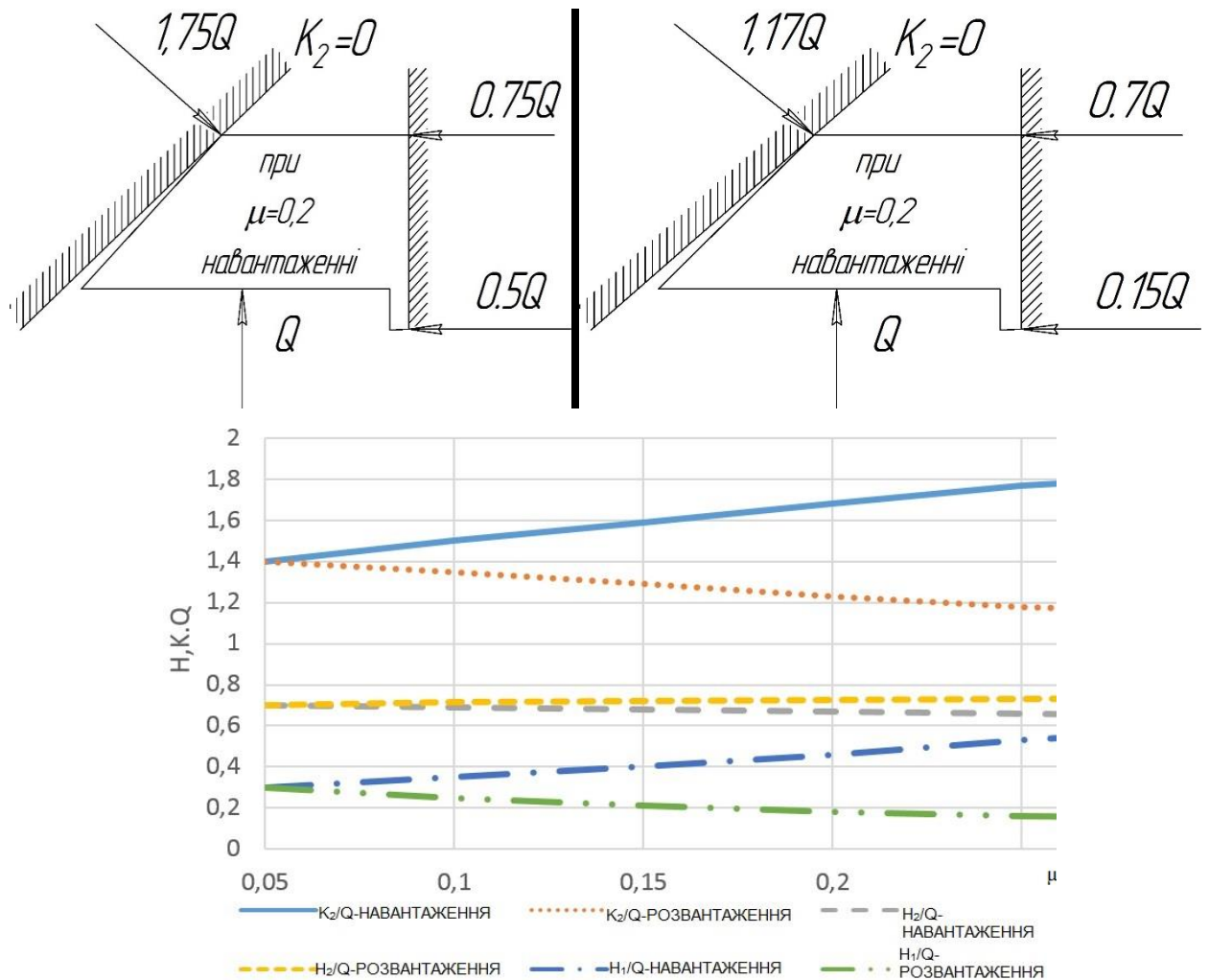


Рисунок 1.7 – Результати розрахунків із подовженою вертикальною поверхнею при його положенні по схемі б

Різниця в варіантах контакту деталей клинового гасника коливань призводить до різниці їх силової взаємодії.

Так, у разі контакту за варіантом 2 ($H_1 = 0$) найбільше зусилля $H_2 = 1,25Q$ діє в нижній кромці стандартного клину, тому в нижній частині фрикційної планки спостерігається підвищений знос, від нерівномірного зносу утворюється сходинка.

У разі контакту за варіантом 3 ($K_2 = 0$) найбільше зусилля $H_2 = 1,17Q$ діє на верхній кромці стандартного клину, тому підвищений знос буде спостерігатися в верхній частині фрикційної планки.

Для клину з подовженою вертикальною поверхнею горизонтальні

зусилля по кромці мають меншу різницю, але в разі контакту за варіантом 1 ($K_1 = 0$) зусилля $H_2 = 1,1Q$ викличе підвищений знос в нижній частині фрикційної планки або клину.

Таким чином, відносне розташування деталей клинового гасителя коливань визначає розташування і величину нерівномірного зносу фрикційної планки і кромки клину. Різниця в відносному розташуванні розглянутих деталей викликає також зміна розташування надресорної балки під дією навантаження від кузова і його деформації.

1.2 Визначення швидкості зносу базових елементів вагонів в експлуатації

Залізничний транспорт є однією з головних галузей промисловості України, він відіграє важливу роль у вантажних і пасажирських перевезеннях. Безпека пасажирських і вантажних перевезень залежить від технічного стану рухомого складу, і справності його вузлів та механізмів. Основне завдання експлуатації рухомого складу – вчасно виявляти несправності того чи іншого елемента вагона. До теперішнього часу подача вагонів у плановий ремонт здійснювалася за критерієм календарної тривалості їх експлуатації, який не оптимальний, так як вагони використовуються в перевізному процесі з різною інтенсивністю і, як наслідок, мають неоднаковий ступінь зносу на стадії подачі в ремонт. Альтернативою є застосування комбінованого критерію, що обмежує міжремонтний період календарною тривалістю і виконаним обсягом роботи, вираженим в кілометрах пробігу вагона в процесі експлуатації. Перспективним методом, що характеризує інтенсивність зношування елементів вагонів, може бути розробка комбінованого критерію, тому розробка критерію на основі автоматизованої системи пономерного обліку пробігу вагонів є актуальною. Для цього необхідно визначити гранично допустимі нормативи пробігу та строку експлуатації вагонів між деповськими ремонтами і єдиними технічними ревізіями[6].

Для розробки комбінованого критерію на основі автоматизованої системи пономерного обліку пробігу вагонів з урахуванням реальних умов експлуатації та інтенсивності використання, на основі статистичних даних вагони були розділені на три групи. Перша (12 вагонів) і друга (14 вагонів) групи були укомплектовані вагонами з терміном служби не більше 13 років на момент початку експерименту і закріплені для постійного цілорічного використання за складами поїздів з прогнозованим річним пробігом 425...435 і 165...215 тис. км відповідно. Третя група (14 вагонів) була укомплектована вагонами, які відслужили вже понад 13 років на момент початку експерименту, які експлуатувалися без закріплення за певним складом, в тому числі сезонно, без прогнозування їх річного пробігу.

Необхідно організувати натурне спостереження за станом вузлів і деталей вагонів у процесі експерименту і облік величини трудових, матеріальних і фінансових витрат на деповський ремонт, єдину технічну ревізію і поточний ремонт. На всіх вагонах перед введенням їх в дослідну експлуатацію були проведені вимірювання розмірів базових елементів, які зношуються. Результати замірів перед початком експерименту і в процесі його проведення фіксувалися в спеціальних картах і використовувалися для визначення середньої швидкості зносу елементів вагона.

При аналізі результатів вимірювання поверхонь, що зношуються, базових елементів вагонів оцінку значення математичного очікування і дисперсії швидкості зносу базових елементів вагона проводили за двома варіантами.

При першому варіанті оцінка параметрів (середньої швидкості зносу, дисперсії швидкості зносу і коефіцієнта варіації) проводилася за формулами математичної статистики без урахування впливу експлуатаційних факторів на значення зазначених параметрів. За співвідношенням цих статистичних параметрів між собою визначали закон розподілу випадкових величин (величин зносу базових елементів вагона).

Визначення статистичного значення середньої швидкості зносу базового елемента проводили за формулою 1.1.

$$M(\bar{Y}_i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{Y}_{ij} \dots, \quad (1.1)$$

де Y_i – середня швидкість зносу i -го елемента (наприклад, для восьми втулок шпінтона), визначена за вибіркою з N дослідних вагонів ($j = 1, 2, 3, \dots, N$); Y_{ij} – середня швидкість зносу i -го елемента (втулки шпінтона) на одному j -му вагоні з N вагонів, що беруть участь в експерименті, при l_j кілометровому пробігу.

В (1) середня швидкість зносу i -го елемента (наприклад, втулки шпінтона) для j -го вагона при його пробігу l_j визначалася як

$$\bar{Y}_{ij} = \frac{|(z_{ij})l_0 - (z_{ij})l_j|}{l_j} \quad (1.2)$$

де $(z_{ij})l_0$ – початкові розміри i -го елемента (втулки шпінтона) на j -му вагоні при випуску з деповського ремонту (ДР) або з заводу (при $l_0 = 0$ км пробігу); $(z_{ij})l_j$ – проміжні або кінцеві розміри i -го елемента на j -му вагоні, заміряні при пробігу l_j .

Визначення статистичного значення дисперсії випадкової величини швидкості зносу базового i -го елемента по N вагонах визначалося за виразом

$$S^2(\bar{Y}_i) = \frac{1}{N-1} \sum_{j=1}^N (\bar{Y}_{ij} - \bar{Y}_i)^2 \quad (1.3)$$

Статистичне значення коефіцієнта варіації швидкості зносу (базового) i -го елемента для пасажирського вагона визначалося як

$$V(\bar{Y}_i) = \frac{s(\bar{Y}_i)}{M(\bar{Y}_i)} \quad (1.4)$$

За значенням середньої швидкості зносу і її середньоквадратичного відхилення встановлювався дослідний міжремонтний норматив пробігу L_{II} пасажирського вагона в міжремонтний період відповідно до формули

$$\frac{(\Delta Z_i)_n}{[M(\bar{Y}_j) + s(\bar{Y}_j)]} \geq (a_n), \text{ тис. км} \quad (1.5)$$

де $(\Delta Z_i)_n$ – нормативна (допустима за технічною документацією) величина зносу елемента вагона за міжконтрольний період (наприклад, за міжремонтний період до ДР).

За значенням коефіцієнта варіації можна дати оцінку закону розподілу випадкової величини – швидкості зносу базового елемента вагона. Якщо це співвідношення близьке до одиниці (або дорівнює 1), то це вказує на показовий розподіл випадкової величини. Для втулок шпінтона співвідношення (4), як було визначено за результатами обробки результатів дослідної експлуатації 12 пасажирських вагонів, знаходиться в межах 0,2...0,7. Це вказує на близькість до нормального закону розподілу середньої швидкості зносу втулки шпінтона.

Значення середньої швидкості зносу, її дисперсії, коефіцієнта варіації для деяких базових елементів вагона, отримані за наведеними вище формулами, дані в табл. 1.

Отримані значення середньої швидкості зносу і дисперсії показують, що для деяких елементів вагона (втулки шпінтона, клинів-сухарів, серег, що центрують балочки тощо.) необхідно зменшити їх швидкість зносу і відповідно збільшити міжремонтний пробіг вагона до деповського ремонту. Це проводиться шляхом наплавлення твердого сплаву на зношені поверхні елементів.

Задані дослідні пробіги вагонів для проведення єдиної технічної ревізії (160 тис. км) і деповського ремонту (320 тис. км) забезпечували безпечну експлуатацію вагонів і дозволили ввести їх як нормативні міжремонтні пробіги. Нормативні значення пробігів рівні: для ТО-3 – 150 ... 165 тис. км; для ДР – 300 ... 330 тис. км.

Проведені під час проведення експерименту виміри зносів і певні швидкості зносів елементів вагона показали необхідність введення в депо вхідного контролю твердості замінних елементів вагона (втулки шпінтона, клинів-сухарів, серег і т. д.).

При другому варіанті оцінка значення середньої швидкості зносу Y або середньої величини зносу Z елементів вагона проводилася з урахуванням впливу експлуатаційних факторів: маршруту слідування вагона – X_3 . Ці фактори і знос базових елементів вагона фіксувалися і були включені при обробці результатів в матрицю планування активного екстремального експерименту. Матриця наведена в табл. 1.2.

Фактори в матриці планування варіювалися на двох крайніх рівнях: верхньому, або максимальному, умовно позначеному через плюс («+»); нижньому, або мінімальному, умовно позначеному через мінус («-»).

Для виявлення суттєвості впливу зазначених вище факторів і виду функціонального зв'язку між величиною зносу і експлуатаційними чинниками подавали цю залежність (для подальшої її перевірки) у вигляді поліноміальної математичної моделі

$$\bar{Z} = B_0X_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_3X_3 + B_{1,2}X_{1,2} + B_{2,3}X_{2,3} + B_{1,3}X_{1,3} + B_{2,3}X_{2,3} + B_{1,2,3}X_{1,2,3} \quad (1.6)$$

де \bar{Z} – середнє значення функції (величини зносу) в залежності від впливу трьох експлуатаційних факторів ($X_1; X_2; X_3$); B - коефіцієнти регресії, значення яких показує істотність впливу на функцію Z j -го фактора або взаємодії

факторів; X_j -й фактор, який впливає на досліджувану функцію (i - взаємодії факторів, що вказують вплив на функцію \bar{Z}).

Остаточний вигляд регресійного рівняння (6) встановлювався статистичною обробкою результатів експерименту (спостережень).

Перед проведенням експерименту необхідно було попередньо встановити, якими факторами (їх рівнями) можна управляти (або регулювати їх значення), а якими керувати неможливо і тільки можна фіксувати їх значення в експерименті. У будь-якому випадку рівні факторів в експерименті повинні фіксуватися в документах (в журналі обліку спостережень, картках обліку пошкоджень).

На підставі регресійного рівняння (6) планувався експеримент (випробування вагонів) або проводилася вибірка з результатів експерименту з подальшою їх обробкою.

При плануванні експерименту і спостережень відповідно до теорії активного екстремального експерименту і рівнянь регресії (6) число об'єктів спостереження і число дослідів має дорівнювати

$$N = 2^b m = 24 \quad (1.7)$$

де b – число факторів, включених в рівняння регресії для виявлення суттєвості їх впливу на функцію Z (знос); 2 – числа фіксованих («+» максимальних і «-» мінімальних) значень досліджуваних експлуатаційних факторів (два рівні); число повторень дослідів (приймається зазвичай рівним трьом або більше) для визначення дисперсії досліджуваної величини Z .

В експерименті число повторень дослідів m варіювалося залежно від числа однакових елементів на візку або вагоні.

План експерименту по вагонах і їх базових елементів[17] подано у вигляді табл. 1.1 (матриці планування).

Таблиця 1.1 – Розміри елементів вагонів та параметри зносу

Найменування	Розміри елементів вагона	Значення параметрів зносу			
	Конструктивні (номінальні) розміри Допустимі розміри при випуску деповського ремонту, мм	Граничні зноси елементів, мм	Середня швидкість зносу, мм/тис. км \bar{Y} ,	Середнє квадратичне відхилення швидкості зносу, мм/тис. км, G;	Коефіцієнт варіації V
Шпінтон: зовнішній діаметр	$\frac{\Phi 67 - 2,0}{\Phi 63 - 2,0}$	0,2	0,0006	0,0006	1,0
Втулка шпінтона: зовнішній діаметр	$\frac{\Phi 89,5 - 2,5}{\Phi 87 - 2,5}$	4,0...9,5	0,0060	0,0030	0,5
Серга внутрішня: опорні поверхні	$\frac{229 + 2}{232 + 2}$	1,5...6,0	0,0013	0,0026	2,0
Надресорна балка: отвори втулок в кронштейнах для гідрогасителя	$\frac{\Phi 32 + 0,17}{\Phi 34 + 0,17}$	1,9...3,8	0,0016	0,0007	0,4
Підвіска башмака: отвори втулок: верхньої	$\frac{\Phi 32 + 0,34}{\Phi 34 + 0,34}$	2,7	0,0009	0,0002	0,3
нижньої	$\frac{\Phi 55 + 0,2}{\Phi 57 + 0,2}$	2,2	0,0009	0,0005	0,6
вушка	$\frac{\Phi 14 + 0,24}{\Phi 16 + 0,24}$	1,0.. 3,1	0,0016	0,0009	0,6

Траверса гальмової важільної передачі: зовнішній діаметр втулок	$\frac{55^{-0,2}}{54^{-0,6}}$	1,0...1,8	0,0015	0,0006	0,4
Тяговий хомут: товщина перемички з боку отвору для клину	$\frac{58 + 3}{58}$	3,0...4,1	0,0063	0,0086	1,3
ширина отвору «Г»	$\frac{140 + 4}{144}$	3,0...7,0	0,0112	0,0073	0,6
довжина хомута	$\frac{744 + 4}{744}$	4,0.. 6,0	0,0107	0,0069	0,6
Клин тягового хомута: товщина/ ширина	$\frac{33,5 - 1}{30}$	1,6...2,5	0,0058	0,0011	0,19
	$\frac{95 - 2}{89}$	1,4...4,5	0,0064	0,0043	0,7
Центруюча балочка: висота перетину «Н» в	$\frac{165 - 1}{160}$	3,1...6,5	0,0046	0,0071	1,5

місці хвостовика автозчепного пристрою	опори				
---	-------	--	--	--	--

У табл. 1.2 стовпчики X_1 , X_2 , X_3 задають план (умови) випробувань (експлуатації); «+» - це умовне позначення верхнього (максимального) значення експлуатаційного фактора в цьому досліді (рейсі); «-» - це умовне позначення нижнього (мінімального) значення експлуатаційного фактора; стовпці, слугують тільки для розрахунку (обробки результатів) і означають вплив на функцію Z (знос елемента – його середнє значення) взаємодії факторів Z_1 , Z_2 , Z_3 – це значення функції (зносу елемента) в кожному з трьох або більше повторень дослідів.

Таблиця 1.2 – Матриця планування повнофакторного експерименту

Матриця планування повнофакторного експерименту													
Номер вагона	Фактори та їх взаємодії								Величина зносу втулок шпінтона в кожному з дослідів, мм				
	X0	X1	X2	X3	X1,2	X2,3	X1,3	X1,2,3	Z1	Z2	Z3	...	Z
1	+	-	-	-	+	+	+	-	1,9	2,3	2,7	...	2,7
2	+	+	-	-	-	+	-	+	2,8	2,3	2,0	...	2,2
3	+	-	+	-	-	-	+	+	0,7	3,7	0,9	...	1,8
4	+	+	+	-	+	-	-	-	2,6	3,0	2,6	...	2,1
5	+	-	-	+	+	-	-	+	3,9	2,7	0,9	...	2,2
6	+	+	-	+	-	-	+	-	1,0	1,0	0,5	...	1,0
7	+	-	+	+	-	+	-	-	1,3	0,8	0,8	...	0,7

8	+	+	+	+	+	+	+	+	1,1	1,5	1,7	...	1,4
---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	-----	-----	-----	-----

Точність отриманої в результаті випробувань регресійної залежності (6) зносу базового елемента вагона від пробігу, стану колії на маршруті (номер 63 і 98), роду вагона, сторони вагона визначалася точністю (дисперсією) коефіцієнтів регресії – В. Дисперсія цих коефіцієнтів визначалася за формулою

$$S^2(B_j)^{BT} = \frac{S_{\Pi}^2(\bar{Z})^{BT}}{Nm} = \frac{S_{\Pi}^2(\bar{Z})^{BT}}{24} \quad (1.8)$$

При $m=3$; $N=8$, де $S_{\Pi}^2(\bar{Z})^{BT}$ повна середня дисперсія експерименту (наприклад, для втулки шпінтона):

$$\begin{aligned} S_{\Pi}^2(\bar{Z})^{BT} &= \frac{\sum_{j=1}^{N=8} \sum_{q=1}^{m=3-9} (z_q^{BT} - \bar{z}_j^{BT})^2}{N(m-1)} = \\ &= \frac{\sum_j^{N=8} s_j^2(\bar{Z})^{BT}}{N}. \end{aligned} \quad (1.9)$$

Перед визначенням повної середньої дисперсії $S_{\Pi}^2(\bar{Z})^{BT}$ проводилася перевірка однорідності дисперсій в кожному з восьми дослідів (j -му вагоні) за критерієм Кохрена (так як число порівнюваних дисперсій більше двох, а число повторень дослідів у кожній точці плану однаково). Дисперсію в кожній точці подано як

$$S_j^2(\bar{Z})^{BT} = \frac{\sum_{q=1}^{m=3-9} (z_q^{BT} - \bar{z}_j^{BT})^2}{m-1}, \quad (1.10)$$

де z_q^{BT} результат окремого дослідів – знос однієї деталі в j -му вагоні або в j -му рядку; m - число повторень дослідів або число однакових елементів на вагоні ($q = 1, 2, 3, \dots, m$).

Однорідність дисперсії визначалася з виразу

$$G = \frac{s_j^2 \max(\bar{z}_j)^{\text{BT}}}{\sum_{j=1}^N s_j^2 (\bar{z}_j)^{\text{BT}}} < G_{\text{табл}} \quad (1.11)$$

($N=8; m=3; \alpha=0,05$),

де $G_{\text{табл}} = 0,6530$; якщо умова (11) дотримується, то дисперсії однорідні, в іншому випадку результати дослідів з більшою дисперсією аналізуються і перевіряються на їх достовірність.

Значення коефіцієнтів регресії визначалося за формулою (для будь-якого числа досліджуваних факторів)

$$B_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{z}_j^{\text{BT}} X_{ij}, \quad (1.12)$$

де $i = 1, 2, 3, \dots, k$ — номер досліджуваного фактора; \bar{z}_j^{BT} — середнє значення функції (зносу) в кожній j -й точці плану.

У нашому експерименті коефіцієнти B_i розраховані як

$$B_0 = \frac{\sum_1^8 \bar{z}_j^{\text{BT}}}{8}; B_i = \frac{\sum_1^8 \bar{z}_j^{\text{BT}}}{8}; \dots \dots \dots (1.13)$$

$$B_{1,2} = \frac{\sum_1^8 \bar{z}_j^{\text{BT}} X_{1j} X_{2j}}{8}; B_{1,3} = \frac{\sum_1^8 \bar{z}_j^{\text{BT}} X_{1j} X_{3j}}{8}, \quad (1.14)$$

$$B_{2,3} = \frac{\sum_1^8 \bar{z}_j^{\text{BT}} X_{2j} X_{3j}}{8}; B_{1,2,3} = \frac{\sum_1^8 \bar{z}_j^{\text{BT}} X_{1j} X_{2j} X_{3j}}{8} \dots \dots \dots (1.15)$$

Значимість коефіцієнтів регресії (і включення їх в рівняння регресії) перевірялася за критерієм Стюдента $t_{N\alpha}$; табличне значення цього критерію при числі ступенів свободи (зокрема дослідів без повторень) $N = f = 8$ і рівні значущості $\alpha = 0,05$ дорівнює: $t = 2,31$ (при $f = 8; \alpha = 0,05$).

Коефіцієнти вважаються значущими, якщо їх абсолютні величини більше довірчого інтервалу

$$\Delta v = 2tS(bi) \quad (1.16)$$

Після остаточного встановлення рівняння регресії проводилася перевірка адекватності отриманого рівняння за критерієм Фішера (дисперсійним відношенням)

$$F = \frac{S_{(ад)BT}^2}{S_{\bar{z}}^2(Z)^{BT}} < F_{табл}, \quad (1.17)$$

при $f_1 = N - 1$; $f_2 = N = 8$; $\alpha = 0,05$.

де $F_{табл} = F(3; 8; 0,05) = 4,07$; 1-число значущих коефіцієнтів у рівнянні регресії, включаючи B_0 ; $S_{(ад)BT}^2$ – дисперсія адекватності, визначалася за рівнянням

$$S_{(ад)BT}^2 = \frac{\sum_j^N (z_j^{BT} - \bar{z}_j^{BT})^2}{N-1} \quad (1.18)$$

де z_j^{BT} значення зносу елемента вагона (втулки шпінтона) на j -му вагоні (в кожному рядку плану табл. 2), отримане за дослідним рівнянням (див. далі формулу (17) при підстановці значень факторів («+» або «-»), зазначених в табл. 2; \bar{z}_j^{BT} - середнє значення зносу елемента вагона (втулки шпінтона), отримане за дослідним рівнянням (див. далі формулу (17) для N вагонів (при $N = 8$)).

Отримане рівняння регресії для елемента вагона можна використовувати при визначенні термінів проведення відповідних видів ремонту базових елементів вагона. Так, для втулки шпінтона (елемент буксового підвішування у візку, залежність між середньою величиною зносу z^{BT} і трьома вищевказаними факторами при середньому пробігу вагонів 324,8 тис. км після обробки результатів експерименту має вигляд

$$\bar{z}^{\text{BT}} = 2,0X_0 - 0,12X_1 - 0,25X_2 - 0,45X_3 + 0,35X_1X_2. \quad (1.19)$$

Отримане рівняння не суперечить гіпотезі про адекватність експериментальним даним.

Всі коефіцієнти регресії значущі, залежність (17) через значущості коефіцієнта взаємодії $B_{1,2}$ факторів

X і X_2 нелінійна, тому використовувати це рівняння для прогнозу зносу (або швидкості зносу) важко. Для втулки шпінтона в цьому випадку можна використовувати отримане вище (за першим варіантом) значення середньої швидкості зносу на тисячу кілометрів (тис. км) пробігу.

Аналогічно було отримано рівняння регресії для опорної поверхні серег центрального ресорного підвішування візка

$$\bar{z}^{\text{серьг}} = 0,56X_0 + 0,16X_1 - 0,14X_3 - 0,19X_1X_3 - 0,24X_2X_3. \quad (1.20)$$

Залежність (18), як і попередня, нелінійна, так як коефіцієнти взаємодії ($B_{1,3}$ та $B_{2,3}$) значимі. Отже, практично використовувати це рівняння для прогнозу зносу важко. Однак можна сказати, що з усіх факторів на знос поверхні серги вид вагона, тобто фактор X_2

(плацкартний або купейний), не має істотного значення, і його можна виключити зі спостережень.

Аналогічно для кожного базового елементу вагона, за яким встановлено періодичні спостереження (періодичні заміри зносів), можна визначити рівняння регресії за наведеними вище залежностями.

Даний метод планування випробувань і обробки матеріалів з теорії екстремального експерименту має низку переваг перед іншими методами, основним з яких є отримання регресійної залежності

(математичної моделі). З цієї залежності, отриманої в результаті обробки статистичних даних експерименту, можна прогнозувати технічний стан вагонів та їх базових елементів.

У разі відсутності в експериментальних даних значень зазначених факторів наведений математичний апарат використовується для визначення тільки середніх значень зносів базових елементів вагона в залежності від пробігу вагонів без отримання регресійної залежності.

1.3 Аналіз існуючих технологій відновлення чавунних деталей

Питання дослідження технологічних процесів експлуатації, технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів, підвищення зносостійкості, працездатності та відновлення деталей вантажних та пасажирських вагонів технологічними методами, присвячено досить багато як теоретичних так й експериментальних досліджень відомих вчених: М. І. Горбунова, М. Б. Кельріха, Ю. В. Дьоміна, В. Г. Маслієва, В. І. Мороза, А. І. Фоміна, С. В. Мямліна, І. Е. Мартинова, С. Ю. Сапронової, О. Г. Рейдемейстра, М. І. Глушка, М. М. Тененбаума, С. І. Пашаріна та інші. У тому числі питання відновлення чавунних деталей транспортного призначення роботи: Ю. Н. Внукова, С. А. Клиненка, Л. А. Тимофєєвої, В. S. Robimotf, A. W. Ortowicz, Tay C. Hardy, A. B. Белого, Г. Д. Карпенка та інші.

В процесі експлуатації транспорту, фрикційні клини проходять міжремонтне обслуговування, цілю якого є попередження відказів та контроль стану його робочих органів. У випадку знаходження недопустимого зносу, фрикційний клин замінюється новим.

Широке застосування у ремонтному виробництві знайшли такі способи нанесення металопокриття: дугова, електродугова, електрошлакова, газополум'яна, індукційна, лазерна, плазмова та інші наплавки; електромагнітна приварка металевих шару – стрічки дроту, порошкових металів, детонаційні, індукційні, плазмові, електродугові, газополум'яні, та інші способи напилення, електрохімічні і хімічні способи нанесення покриття, різні способи металізації.

Питання про використання методів нанесення металопокриття до первинних або ремонтних розмірів фрикційного клину, виникає тоді, коли повністю використані ремонтні розміри. Більше 85% обсягу відновлення фрикційних клинів виконують зварювально-наплавочні методами. Основним недоліком "таких способів є нерівномірний нагрів і охолодження наплавленої деталі, що призводить до зміни структури основи, а також до утворення мікротріщин в наплавленому шарі, в результаті чого втомна міцність знижується на 35 ... 60%.

Великого поширення при відновленні чавунних деталей отримали дугова наплавка під флюсом і лазерне напавлення. Застосування цього способу обробки здійснюється двома способами - після наплавки є термічна обробка (відпустка і гарт струмами високої частоти), і без термообробки. Лазерна напавлення дозволяє отримувати поверхні з твердістю 60-62 HRC, зносостійкість підвищується на 1,5-1,8 рази в порівнянні з загартованої сталлю 45, межа витривалості становить до 80% нових фрикційних клинів. Дані досліджень в роботі, показують, що чавунні деталі відновлені різними методами електродугової наплавки мають досить низькі втомні властивості, відзначено зниження межі витривалості до 45%, а отже спостерігається низький ресурс по втоми. Застосування повторного відновлення методами електродугової наплавки знижує відносний межу витривалості по відношенню до першого відновленню до 9%, також збільшується дефектність покриття, збільшуючи ймовірність руйнування такого валу.

Методи порошкової металургії, що застосовуються для відновлення чавунних деталей мають свої переваги в порівнянні з напавленням, це зменшення термічного впливу на деталь, отримання оптимальної мікропористості поверхні, малі припуски на наступну обробку, високу зносостійкість контактного з'єднання матеріалу і основи. Недоліками цих способів є: при незначних порушеннях режиму спікання відбувається оплавлення основного металу, коксування шару, поява вибіленої зони і тріщин.

Поширена технологія електроконтактного приварювання металевого шару (стрічки, дроту і порошкових матеріалів). До переваг цього способу можна віднести: відсутність нагріву деталей, загартування шару безпосередньо в процесі приварки шару сталеві стрічки, дроту і твердих сплавів. Недоліком є складність в контролі якості з'єднання привареного шару і поверхні деталі, найчастіше в привареному шарі спостерігається стека мікротріщин.

При відновленні чавунних деталей використовують гальванічні покриття. Відомі технології відновлення деталей електролітичним залізненням в проточному електроліті періодичним струмом зі зворотним регульованим імпульсом, вневанного хромування, а також холодним саморегулюючим електролітом. При цьому забезпечується задовільна зносостійкість і не відбувається викривлення валів, але межа витривалості знижується на 25 ... 37%, що пояснюється появою на кордоні основного металу і покриття напруг, що розтягують.

Серед способів нанесення покриттів, можна виділити детонаційне, дугове і плазмового напилення, електродугову металізацію.

Плазмового напилення, як «холодний» метод відновлення, не приводить до значного зниження їх межі витривалості, на 12 ... 15% підвищує міцність шару і його зчеплення з деталлю, що говорить про значне його перевагу перед методами наплавлення. Однак зниження межі витривалості відбувається при підготовці поверхні шийок під відновлення через порушення 'мікро- і макрогеометрії Галтельні переходів (зменшення радіуса, зниження чистоти поверхні). Це вимагає при використанні даного методу відновлення додаткової зміцнюючої обробки клину.

Дугове, як і плазмового напилення має незначний термічний вплив на деталь, є можливість нанесення покриттів товщиною 2...3 мм. Зносостійкість нанесеного покриття в 1,5...2 рази вище, а межа витривалості збільшується до 85% від рівня нових клинів. Однак такий метод передбачає спеціальну підготовку поверхні, суворе дотримання режимів подальшої механічної

обробки, а також не забезпечує достатню міцність зчеплення напиляного шару.

Детонаційне напилення володіє більш високою якістю. За щільністю покриттів, міцності зчеплення їх з основним металом, термостійкості, опору ударним навантаженням, зносостійкості, експлуатаційних властивостей детонаційні покриття значно вище, ніж при газополум'яної і плазмовому напиленні. До недоліків цього виду напилення відноситься висока вартість і технологічна складність обладнання, його низька надійність, а також дефіцитність і висока вартість присадних матеріалів, які є стримуючими факторами поширення способу, також відзначено, що зі збільшенням товщини шару, що наноситься різко зменшується його зчіплюваність з основою.

Електродугова металізація, має ті ж перевагами по втомі в порівнянні з методами наплавлення, що і плазмового напилення, але виробляється при значно менших капітальних витратах, що дозволяє знизити собівартість відновлення. Недоліком же такого способу є недостатні триботехнічні властивості отриманого покриття.

Здебільшого технологічні процеси відновлення фрикційних клинів вантажних вагонів напиленням і металізацією знаходять обмежене застосування в ремонтному виробництві, через складність технологічного процесу і дорогого устаткування, а також дефіцитності і високої вартості захисних газів.

Знос і руйнування клинів в процесі експлуатації, як правило, починається з поверхні, де розташовані основні джерела концентрації напружень. У зв'язку з цим, особливо важливим є підвищення міцності поверхневих і приповерхневих шарів. Поверхневе зміцнення включає в себе крім власне зміцнення, також створення в поверхневому шарі залишкових стискаючих напружень.

На практиці при відновленні деталей транспортних засобів застосовуються різні способи зміцнення поверхні, найбільшого поширення

знайшли: способи зі зміною хімічного складу поверхневого шару, зі зміною структури поверхневого шару, зі зміною структури по всьому об'єму металу.

До способів зі зміною хімічного складу поверхневого шару відносяться процеси, при яких основний метал деталі бере участь в утворенні приповерхневого шару, але розміри деталі при цьому практично не змінюються. В основному, це різновиди хіміко-термічної обробки: дифузійне хромування, сульфідкування, азотування, борирування, цементация, Карбонітрація, ціанування і багато інших. Такі способи зміцнення деталей застосовують для підвищення зносостійкості за рахунок збільшення поверхневої твердості тертьових деталей, підвищення опору абразивного зношування, противоадірної і корозійної стійкості.

Найбільш поширеним процесом хіміко-термічної обробки є Азотування, яке полягає в дифузійному насиченні поверхневого шару азотом при нагріванні у відповідному середовищі (зазвичай застосовують дисоційованому аміаку NH_3). При азотуванні тримаються, яка в 1,5-2 рази вище ніж при загартуванні. Така твердість зберігається і при нагріванні деталі до температури в 600°C , також азотування підвищує зносостійкість, корозійну стійкість і міцність від втоми оброблених деталей. Перспективою розвитку процесу азотування є технологія рідинної карбонітрації. Властивості деталей після карбонітрації в більшості своїй залежать від ступеня легування сталі і чавуну. Чим більше, легуючих нітридоутворюючих елементів (Cr, Mo, V, Ti, W, Al, Mn), тим менше товщина шару і вище його твердість. На формування структури дифузійного шару нелегованих сталей впливає швидкість охолодження після карбонітрації. Після швидкого охолодження в воді азот залишається в складі твердого розчину, тобто формування зміцненого шару йде як по дифузійному механізму з утворенням твердих розчинів і нітридів, так і по бездифузійному (гартівні), що призводить до додаткового підвищення твердості зміцненого шару. У разі повільного охолодження або наступного відпуску в зовнішній області дифузійного шару на нелегованих сталях частина азоту може виділятися у вигляді прожилок

нітриду заліза, це сприяє зменшенню крихкості поверхневого шару. Дана технологія використовується для підвищення зносостійкості і втомної міцності, а в поєднанні з оксидуванням сприяє збільшенню корозійної стійкості.

Загальним недоліком для процесів хіміко-термічної обробки є тривалість технологічного циклу, застосування високих температур і, як наслідок, викривлення зміцнюючих деталей, а відповідно збільшення припусків під механічну обробку, а також висока енергоємність, неможливість багаторазового і повторного зміцнення, шкідливість виробництва.

До способів, які змінюють структуру поверхневого шару відносяться термічне зміцнення, з впливом потоку енергії на локальну ділянку поверхні (лазерне, електричне, Електроімпульсне, ультразвукове), поверхнева пластична деформація - дробоструминневий або відцентрово-кульковий наклеп, накочення сталевим кулькою або роликком, вигладжування, обжим, карбування, обробка різанням спеціальними різцями і т.д.

У технологіях локального термічного зміцнення, під час процесів нагрівання та охолодження відбуваються фазові перетворення металу, завдяки яким досягається ефект зміцнення. Недоліками цих процесів є: обезвуглецевування приповерхневого шару, зниження втомної міцності, висока енергоємність і вартість технологічного обладнання.

В результаті ППД підвищуються характеристики опору металу і збільшується твердість. Зміцнення відбувається за рахунок підвищення дислокацій в зміцненому шарі, подрібнення субструктури (величини блоків), підвищення мікронапруг. При обробці загартованих поверхонь зменшується кількість залишкового аустеніту. До недоліків такого способу відносять зниження пластичності, низьку зносостійкість до абразивного зносу, при підвищенні температури спостерігається зниження властивостей матеріалу поверхні деталі отримані зміцненням

Широко застосовуються способи змінюють структуру по всьому об'єму металу, досягається термообробкою, що включає нагрів деталі до заданої

температури. В основі таких способів лежить поєднання різних видів обробки, що дозволяють отримувати задані властивості деталі шляхом зміни структури металу. Серед інших способів, необхідно виділити лазерну і плазмову загартування, а також найбільш поширену загартування струмами високої частоти (ТВЧ).

Технологічна операція поверхневого гарту призначена для зміцнення і зміни напруженого стану поверхневих шарів деталей за рахунок нагріву тонкого поверхневого шару і швидкого охолодження. Залежно від температури і тривалості нагріву, а також від швидкості охолодження на поверхні можна формувати зміцнені шари з відмінними структурою і властивостями.

Обробка ТВЧ з чавуну підвищує зносостійкість деталі, проте знижує їх опір втоми. Встановлено, що термічна обробка чавуну має свої характерні особливості, які суттєво відрізняють її від термообробки сталі. Зокрема, порівняно низька температура плавлення чавуну обмежує верхню межу інтервалу температур нагрівання наявністю великого вмісту кремнію зміщує температуру фазових перетворень в область більш високих температур; так, як графіт володіє більш високим електроопору в порівнянні з електроопору матриці, в зонах розташування цих включень при індукційному нагріванні температура виявляється досить високою, що може привести до оплавлення на кордонах розділу аустеніт - графіт, а після охолодження чавунної виливки водою - до структурної неоднорідності і до виникнення значних напружень, що сприяють появі в ній тріщин. наявністю великого вмісту кремнію зміщує температуру фазових перетворень в область більш високих температур; так, як графіт володіє більш високим електроопору в порівнянні з електроопору матриці, в зонах розташування цих включень при індукційному нагріванні температура виявляється досить високою, що може привести до оплавлення на кордонах розділу аустеніт - графіт, а після охолодження чавунної виливки водою - до структурної неоднорідності і до виникнення значних напружень, що сприяють появі в ній тріщин.

Останнім часом все більший інтерес викликають більш сучасні способи нагріву за допомогою лазера і енергії плазми. Використання лазерів для загартування засноване на / трансформації світлової енергії при питомій потужності $10^3 - 10^4$ Вт / см² в теплову, в тонкому поверхневому шарі виробів. Так, як швидкість нагріву при лазерному опроміненні сплавів дуже висока, то тонкі поверхневі шари встигають за короткий час нагрітися і розплавитися. Охолодження також відбувається з дуже великою швидкістю, (майже в 1000 разів швидше ніж при звичайній загартуванні). В результаті такого впливу утворюються понад загартовані зони (білі шари), що також характерно і для інших видів швидкісного нагріву (електронним променем, електроіскровим впливом, вибухом і ін.). Ці шари мають дрібнокристалічну субструктуру, підвищену твердість і високотемпературні зміцнюючі фази. В цілому ті структурні зміни, які відбуваються при лазерній загартуванні подібні тим, що відбувається після гарту з подальшим пластичним деформуванням.

Встановлено, що лазерна обробка поверхневих шарів чавуну ефективна для підвищення зносостійкості, яка збільшується в 1,4-3 рази в порівнянні з вихідним станом. При зміцненні деталі, довговічність якої залежить від показників втоми, важливо правильно вибрати параметри зони зміцнення, при яких залишковий напружений стан в поверхневому шарі деталі після лазерної обробки не погіршує опору втоми деталі. Також, велике значення має і те, що зміцнення лазером може бути застосовано для великогабаритних валів з високоміцного чавуну в якості локальної обробки поверхні шийок.

З усього перерахованого вище випливає, що використання лазерної гарту потребує обов'язкової оптимізації технологічного процесу, такий спосіб гарту може призводити до підвищення шорсткості і зниження опору втому деталей, через нерівномірність розподілу залишкових напружень в поверхневих шарах.

Аналіз технологічних процесів відновлення чавунних деталей показав, що частина з них містить енергоємні операції, інша частина підвищує зносостійкість, але при цьому знижується втомна міцність. Для вирішення цієї

проблеми часто використовується дороге устаткування або матеріали, що не завжди виправдано в ремонтному виробництві. Так само маловивченими є фізико-механічні властивості покриттів, що надає безпосередній вплив на експлуатаційні характеристики відновлених деталей.

У перспективі розвитку нових технологій, передбачається застосування локальної термічної обробки з подальшим нанесенням зносостійкого антифрикційного покриття, що забезпечить достатню міцність від втоми, істотне підвищення зносостійкості, навантаження задиротворення.

На підставі проведеного аналізу виявлено основні напрямки досліджень, які потребують подальшого розвитку, сформульовані мета і завдання досліджень.

1.4 Аналіз дефектів, що виникають в умовах експлуатації

В процесі експлуатації вагону, коли в складеному стані ресорного комплексу відсутня можливість проведення виміру повноти фрикційного клину, індикатором спрацювання клину по повноті виступає його положення відносно опорної поверхні надресорної балки, так зване «завищення» або «заниження».

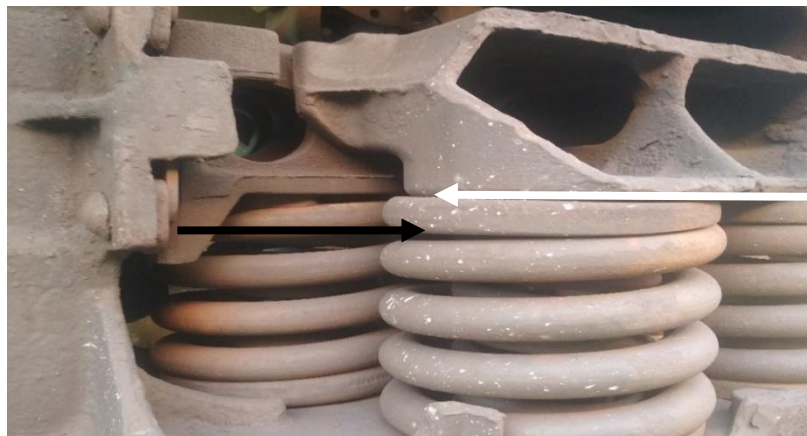


Рисунок 1.8 – Положення фрикційного клину у ресорному комплекті при якому його «завищення» або «заниження» відносно опорної поверхні надресорної балки відсутні

Приклад наведений на рис. 1.8. Спрацювання клину (рис.1.9) по повноті призводить до його завищення.

Після складання і підкати під вагон візків моделі 18-100 при деповському ремонті завищення хоча б одного фрикційного клину щодо нижньої опорної поверхні надресорної балки допускається не більше 3 мм, а заниження - не більше 8 мм. При капітальному ремонті фрикційні клини одного комплексу ресорного підвішування повинні бути занижені щодо нижньої опорної поверхні надресорна балки на 4 ... 12 мм. Очевидно, що кожен плановий ремонт вагона забезпечує нормальні умови для роботи фрикційного гасителя коливань.



Рисунок 1.9 – Дефекти, які виникають при роботі фрикційного клину

Застосування пропонуваніх вдосконалених чавунних фрикційних клинів візка вантажного вагона (з подовженою вертикальною поверхнею) хоч і призвело до їх меншого нерівномірного зношування, але все ж не вирішило проблему задоволення вимог критеріїв підвищення ефективності візків по

збільшенню міжремонтних пробігів. Приклад вибракуваних чавунних клинів приведений на рис.1.10.



Рисунок 1.10 – Скупченість вибракуваних чавунних клинів у ремонтному вагонному депо за двомісячний термін виконання планових ремонтів вагонів

Тому, як показав досвід дослідження причин зношування фрикційних клинів, що з впровадженням чавунного клину з подовженою вертикальною поверхнею, який конструктивно покращив експлуатацію рухомого складу і підвищив міжремонтні терміни служби деяких деталей візка, все ж в повній мірі не вирішив проблему дефіциту поставок цих запасних частин при проведенні планових ремонтів вагонів. Таким чином при наявному дефіциті чавунних фрикційних клинів, обумовленого їх вибраковкою при планових ремонтах вагонів у майже 90% випадків після досягнення одного міжремонтного періоду та вкрай низьким рівнем поставок нових клинів взамін вибракуваних, можливо вирішити тільки розробкою і впровадженням у виробництво технології відновлення геометричних параметрів чавунних клинів.

1.5 Висновки до першого розділу

1. Проведений аналіз роботи пружинно-фрикційного комплексу візка вантажного вагону показав, що має місце інтенсивний знос чавунних деталей.

2. Введення кромки контакту при розрахунках дозволяє виявити дійсне навантаження розглядуваного фрикційного вузла і визначити характер розподілу питомого навантаження на поверхню контакту за величиною кромкових зусиль.

3. Введення обпирання надресорної балки на спеціальну грань клину не призведе до додаткового зносу, адже таке спирання фактично реалізується при збиранні візка.

4. Для оцінки технічного стану елементів вагона слід використовувати розглянутий математичний апарат формул (6) ... (16) і матрицю планування, наведену в табл. 1.2. Цей варіант найбільш ефективний, тому що в порівнянні з іншими методами дає оцінку шуканого параметра з меншою дисперсією.

5. Використовуючи метод оцінки досліджуваного параметра (швидкості зносу) базових елементів вагона з урахуванням впливу експлуатаційних факторів, ремонтні підприємства можуть визначати оптимальні терміни заміни базових елементів для своїх приписних вагонів.

6. Швидкості зносу базових елементів пасажирських вагонів, приписаних до депо дозволяють визначити потребу депо в запасних елементах при новій системі ремонту вагонів у залежності від їх пробігу.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ І МЕТОДИКИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Програма проведення експериментальних досліджень

При проведенні експериментальних досліджень по розробці нової технології відновлення фрикційних клинів використовували попередньо складену програму досліджень, яка включала в себе наступні етапи:

1. Вибір приборів і обладнання для проведення експериментальних досліджень, визначення необхідних пристосувань і вибір технологічного оснащення.
2. Дослідження умов роботи, причин і наслідків відказів фрикційних клинів, визначення особливостей зносу фрикційних клинів, визначення методів ремонту й відновлення фрикційних клинів.
3. Вибір матеріалу зразків для проведення дослідів.
4. Дослід триботехнічних характеристик зразків, які пройшли обробку за допомогою застосування комплексної технології відновлення; визначення оптимального складу насичуваного середовища при формуванні покриття.
5. 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.
6. Проведення металографічних, мікрогеометричних і рентгеноспектральних дослідів зразків відновлених застосуванням комплексної технології реновації.
7. Проведення дослідів топографічних властивостей і геометричних характеристик робочих поверхонь фрикційних клинів.

8. Розробка технологічного процесу відновлення фрикційних клинів вантажних вагонів з застосуванням нової комплексної технології реновації.

9. Розрахунок економічної ефективності впровадження нової комплексної технології реновації в виробництво.

Довговічність фрикційного клину, що пройшов обробку з застосуванням нової комплексної технології реновації буде залежати від фізико-механічних властивостей зміцненої поверхні з зносостійким покриттям, від експлуатаційних факторів, які впливають на деталь, а також від характеру та степені впливу нової технології реновації на фрикційний клин в цілому. Таким чином, розумний вибір технологічних рішень, які б враховували зміну комплексу параметрів фрикційного клину в процесі експлуатації вантажного вагону, дозволяє забезпечити заданий ресурс деталі при мінімізації робочих і матеріальних затрат на його відновлення.

В ході підготовки програми проведення експериментальних дослідів був розроблений алгоритм проектування нової технології відновлення фрикційних клинів зміцненням та нанесенням зносостійкого антифрикційного покриття в одному технологічному циклі, рис. 2.1.

Як видно із представленого алгоритму, кінцеве рішення про доцільність застосування нової комплексної технології відновлення приймається після попереднього проектування технологічного процесу з урахуванням вимог, які висувають до фрикційного клину, а також аналізу економічної ефективності при забезпеченні даного ресурсу.

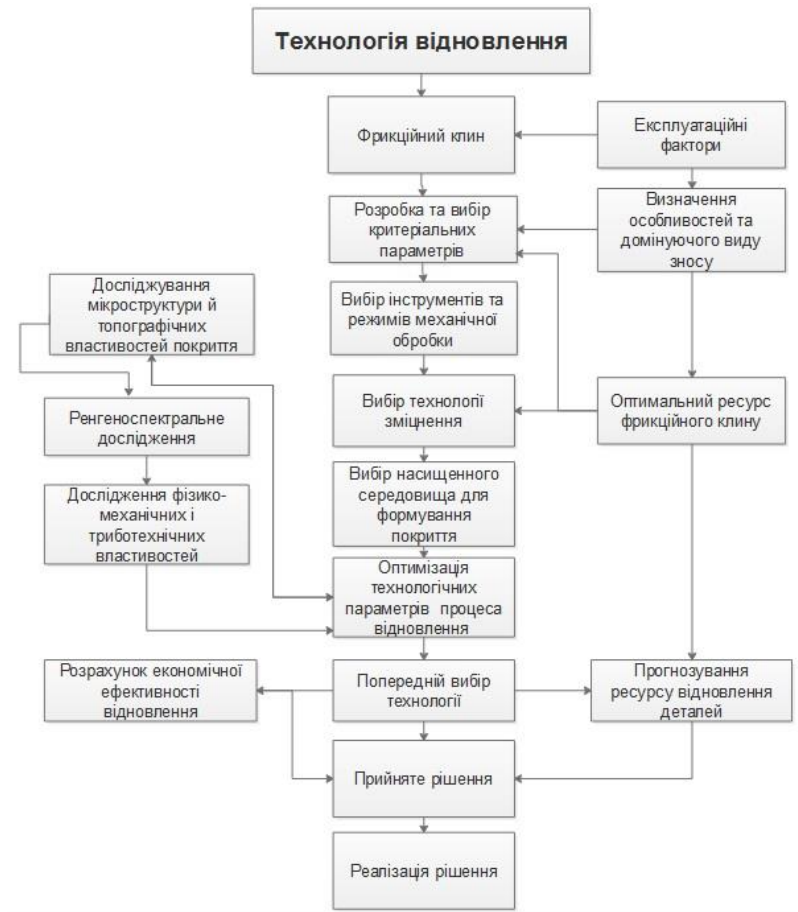


Рисунок 2.1 – Алгоритм прийняття рішення по розробці технології відновлення фрикційного клину нанесенням зносостійкого антифрикційного покриття

2.2 Системний підхід до вибору технологій відновлення

Системний підхід являє собою певний етап в розвитку методів пізнання, методів дослідницької і конструктивної діяльності, способів описання та пояснення природи аналізуючих або штучно створених об'єктів. Це методологічне направлення в науці, основана задача якого полягає в розробці методів дослідження і конструювання складноорганізаційних об'єктів – систем різних типів і класів, широко використовується в теперішній час, є теоретичною і методологічною основою системного аналізу.

Системний аналіз включає в себе ряд інших, підлеглих йому методів, які функціонують в його рамках. Один із цих методів направлено вибору, який

представляє собою сукупність спеціальних методів дослідження, з яких в тому чи іншому випадку обирається найбільш адекватний із них.

Стосовно до дослідження якості поверхневих шарів виробів цей метод може мати конкретний вираз.

Методологія направленою вибору технологій підвищення якості поверхневих шарів виробів охоплює весь його життєвий цикл, який включає в себе: матеріал виробу та його елементів, технологію виготовлення виробу та його елементів, технологію ремонту та відновлення працездатності та інші. Всі вони розглядаються через спеціальні методи направленою вибору о котрих згадувалося вище. При цьому необхідно враховувати вплив обраних методів один на один, які зрештою будуть відображатися на якості виробу. В даній інтерпретації і відображається сам метод системного аналізу.

Сукупність проблем і питань, які зв'язані з розробкою технології управління якістю робочих поверхонь виробів, визначають предметну область методології в даному дослідженні.

З точки зору системного підходу можна виділити дві сфери існування виробу: від народження до утилізації (рис. 2.2).

В останній час, враховуючи необхідність рішення оптимізаційних задач, значно підвищилась роль інформаційної сфери. Однак відсутність знайдених закономірностей по формуванню необхідної якості поверхневого шару деталі вимагає проведення значних експериментів для правильного вибору технологічного процесу ще до його запуску в виробництво.

НТПП через розробку та використання нових технологій, через вияв закономірності ходу виробничих процесів надає вплив на КПП та ТПП.

При обробці виробів та технологічність з врахуванням стадій їх життєвого циклу відбувається корегування властивостей виробів або підбирається раціональна технологія виготовлення. В залежності від технологічної раціональності конструкція виробу можуть істотно змінюватися економічні, енергетичні, екологічні та інші показники виробництва, якісні показники виробів.

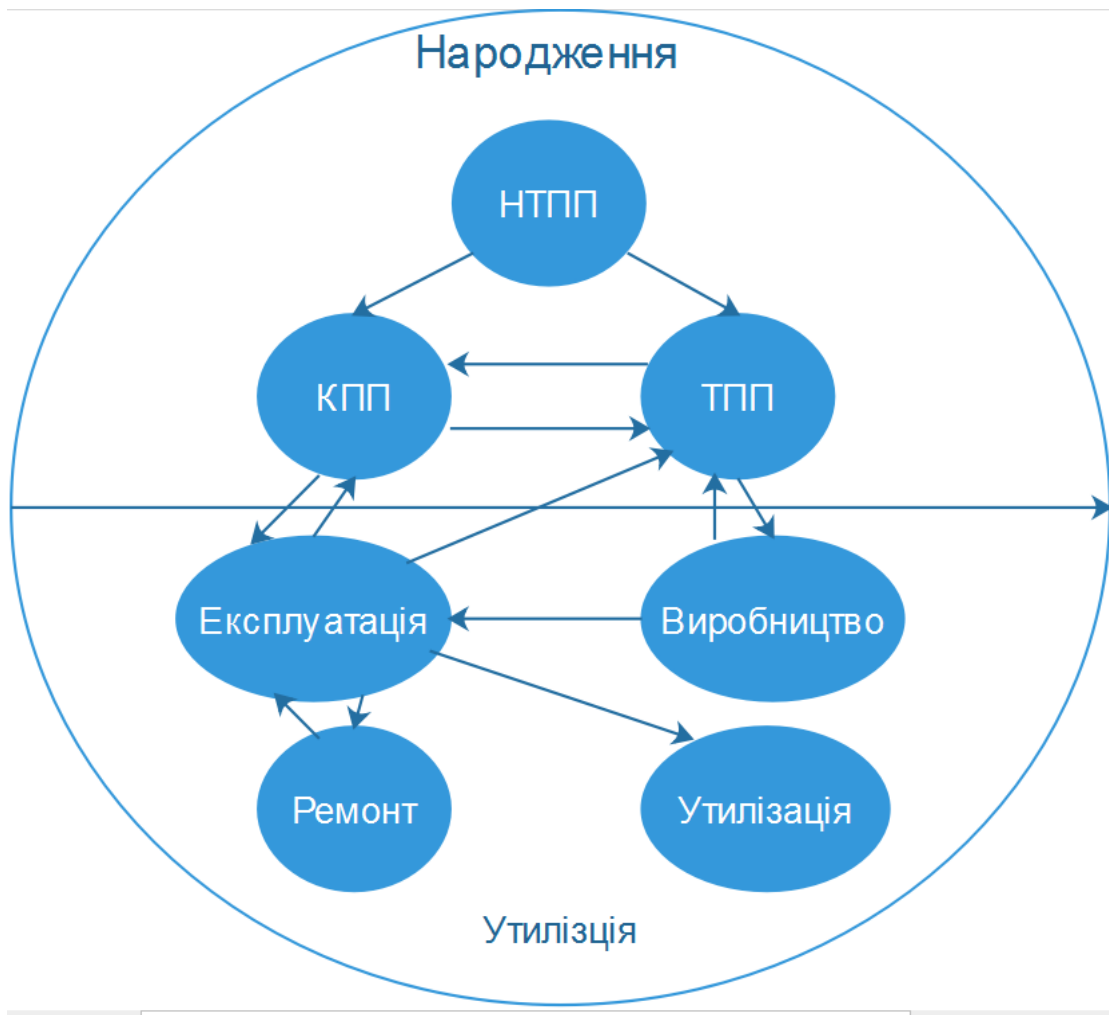


Рисунок 2.2 – Взаємозв’язок від народження до утилізації (НТПП – науково-технічна підготовка виробництва; КПП – конструкторська підготовка виробництва; ТПП – технологічна підготовка виробництва).

Характеристики виробу, які отримані на стадії виробництва, виявляються в сфері експлуатації. При цьому по мірі морального старіння виробів до них висувають все більш високі вимоги. Це тягне за собою необхідність зміни як конструкції, так і технології виготовлення виробу. Постійно підвищуються вимоги до виробів вимагають нових досліджень і наступного просування НТПП.

На етапах технологічної підготовки виробництва (рис.2.3) знання методології управління якістю поверхневих шарів деталей машин дозволяє планувати раціональну технологію отримання заданих властивостей.

Використовуючи результати плануючих в даній роботі наукових досліджень, з'явиться можливість проектувати вибір раціонального способу отримання заготовок деталей. Можливо вони будуть виготовлятися із менш дорогих матеріалів, з меншими припусками на обробку і т.д. Не виключена можливість більш раціонального застосування термічної обробки заготовок, зменшення числа та тривалості окремих її етапів.

ЕТАПИ ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ВИРОБУ

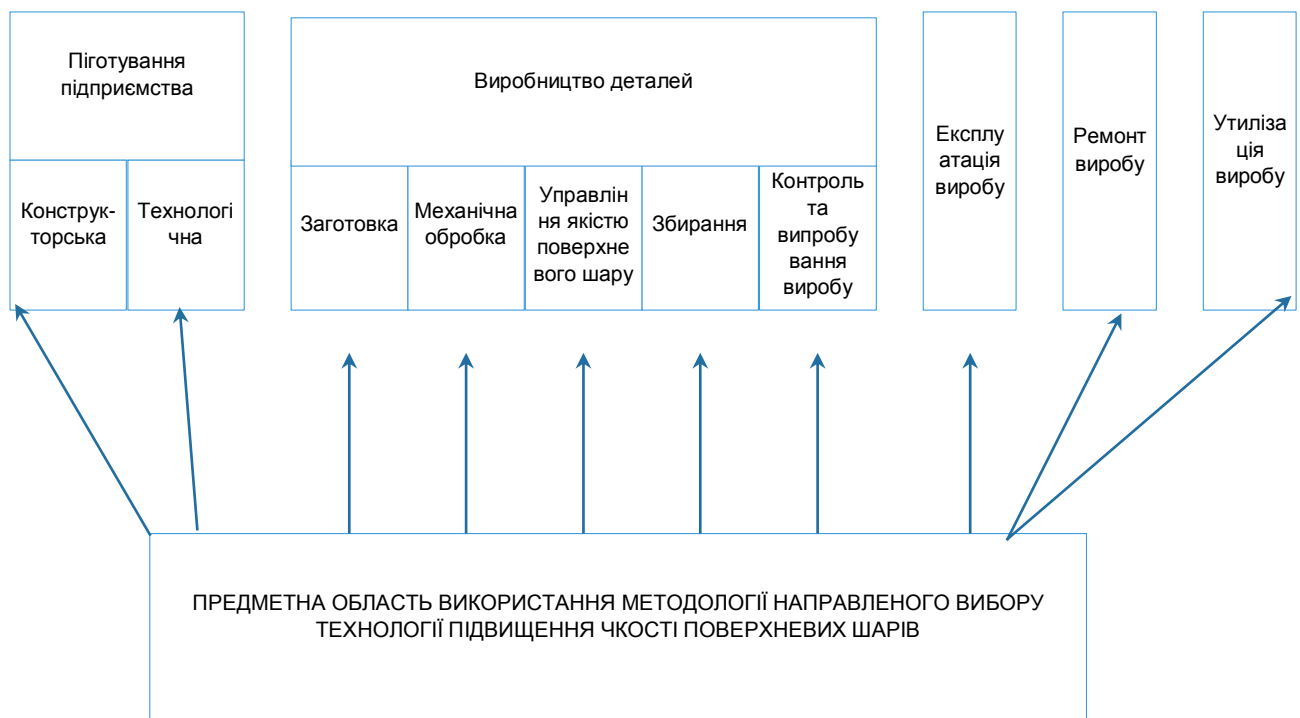


Рисунок 2.3 – Використання методології направленої вибору технології підвищення якості поверхневого шару виробу на різних стадіях життєвого циклу

Отримані результати досліджування також необхідно знати при плануванні і здійсненні складального процесу. Вибір тих чи інших операцій збирання: зварка, склеювання, збірка з термодією та інші – залежать від якості

отриманого раніше поверхневого шару. Це призводить до більш глибокого аналізу збірного процесу так, як на заключних стадіях виробничого процесу остаточно формуються необхідні характеристики машини (виробу).

При формуванні поверхневого шару з заданими характеристиками змінюються методи контролю і випробувань виробу.

Знаючи якісний склад поверхні деталей, можна прогнозувати, в яких умовах виріб буде працювати краще, в яких умовах гірше і в зв'язку з цим, використовуючи отримані результати, можливо керувати процесом раціональної експлуатації виробу.

Використані методології на етапі ремонту виробів дозволяє більш економічно вирішити задачу відновлення та працездатності (рис.2.4). Як показує практика, на цьому етапі застосування результатів наукових досліджень дає значний економічний ефект.

Отримані результати також необхідно знати для раціональної утилізації виробів так, як переробка деталі в багатому залежить від складу і структури деталей, які складають виріб.

Враховуючи, що методів дослідження заданої якості поверхневих шарів може бути декілька, графік переходу поверхні від одного якісного стану в інший має вид, який представлений на рис 2.5.

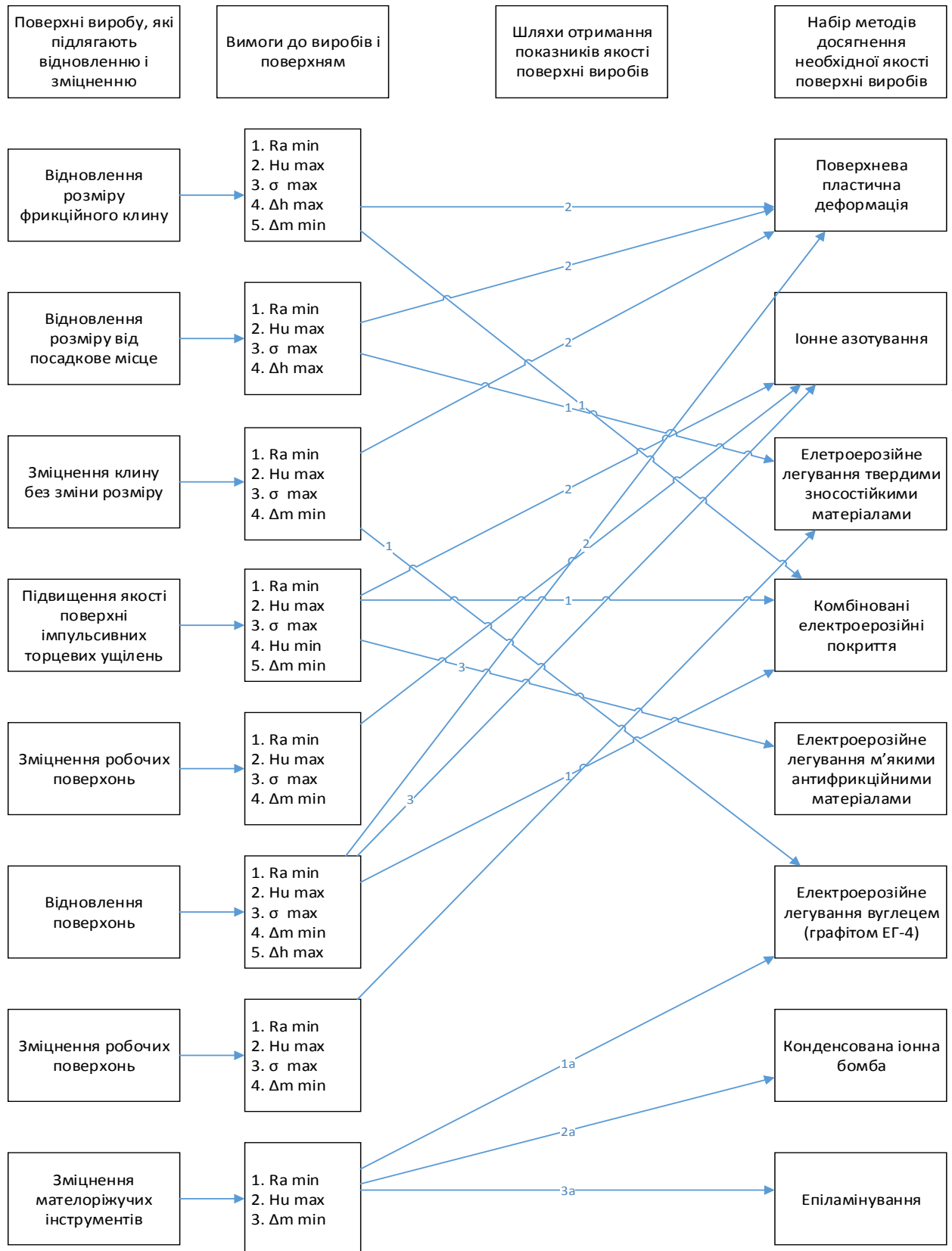


Рисунок 2.4 – Методи досягнення заданої якості поверхні

1. Ra min – мінімальна шорсткість; 2. H_u max – максимальна мікротвердість; 3. H_u min – мінімальна мікротвердість; 4. Δm min – мінімальний знос; 5. σ₁ max – максимальна межа міцності.

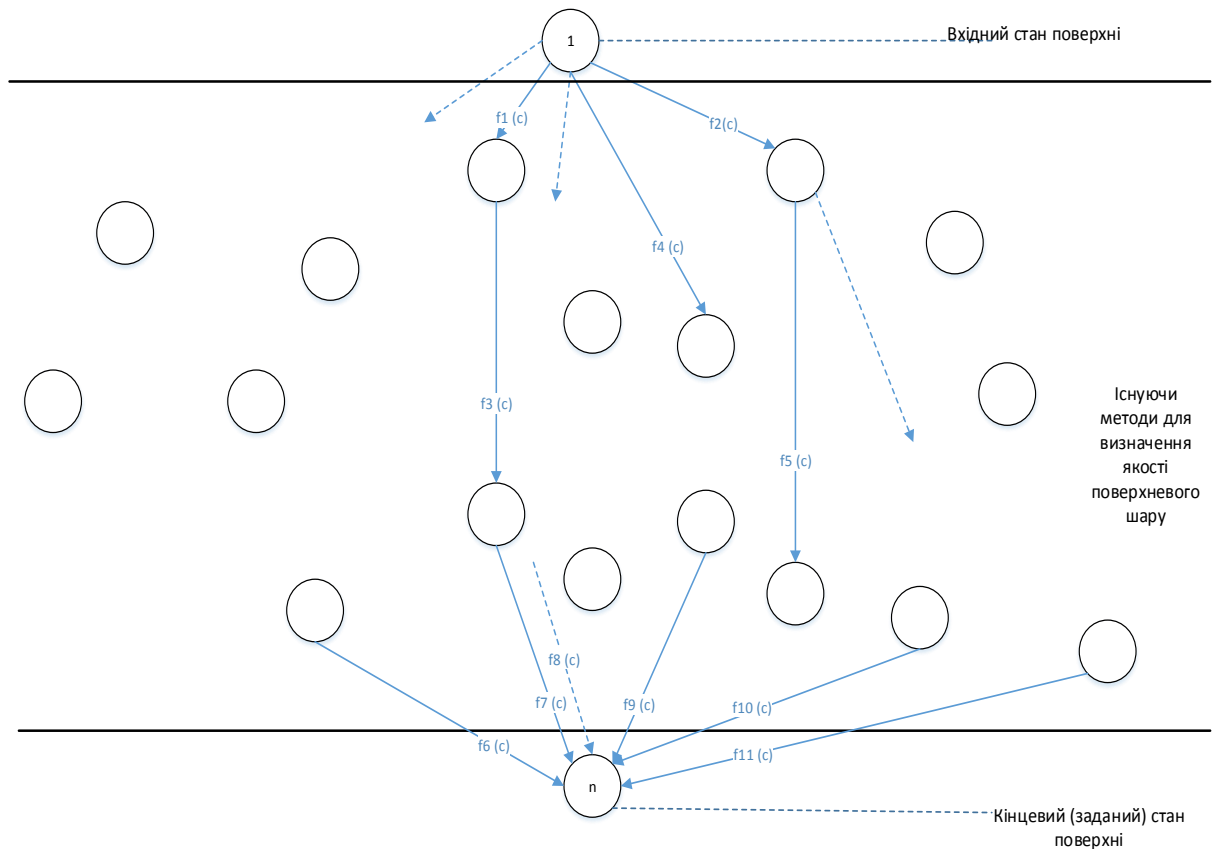


Рисунок 2.5 – Графік переходу поверхні виробу з одного стану в інший (цільова функція – витрати по перевodu поверхні із одного стану в інший)

Цільова функція визначає якість управління процесом отримання виробом заданих характеристик при використанні одного із методів i в загальному вигляді задача оптимізації представляється у вигляді:

$$Q' = \text{extr}\{f_0(x, \omega) | x \in D\} \quad (2.1)$$

при технологічних обмеженнях: $g(x, \omega) \leq 0; f(x) \leq 0; a_i \leq x_i \leq b_i$,

де $f_0(x, \omega)$ – критерій оптимізації, який залежить від керованих x та постійних ω параметрів процесу; D – область допустимих значень x ; a_i, b_i – постійні.

Оптимізація може бути як структурна – оптимізація кількості використаних методів або шарів, які наносяться на поверхню, так і оптимізація

параметрична – оптимізація параметрів технологій, використаних для формування поверхні з заданими властивостями.

Враховуючи те, що кожен із параметрів зміни якості поверхні виробу протікає по своїм законам і в відповідних умовах, причому задане якості поверхні може бути досягнути невеликою кількістю методів, задачу оптимізації можна вирішити методом лінійного програмування. При цьому будується мережева модель можливих методів (рис. 2.6), набір яких дозволяє отримати поверхню заданої якості.

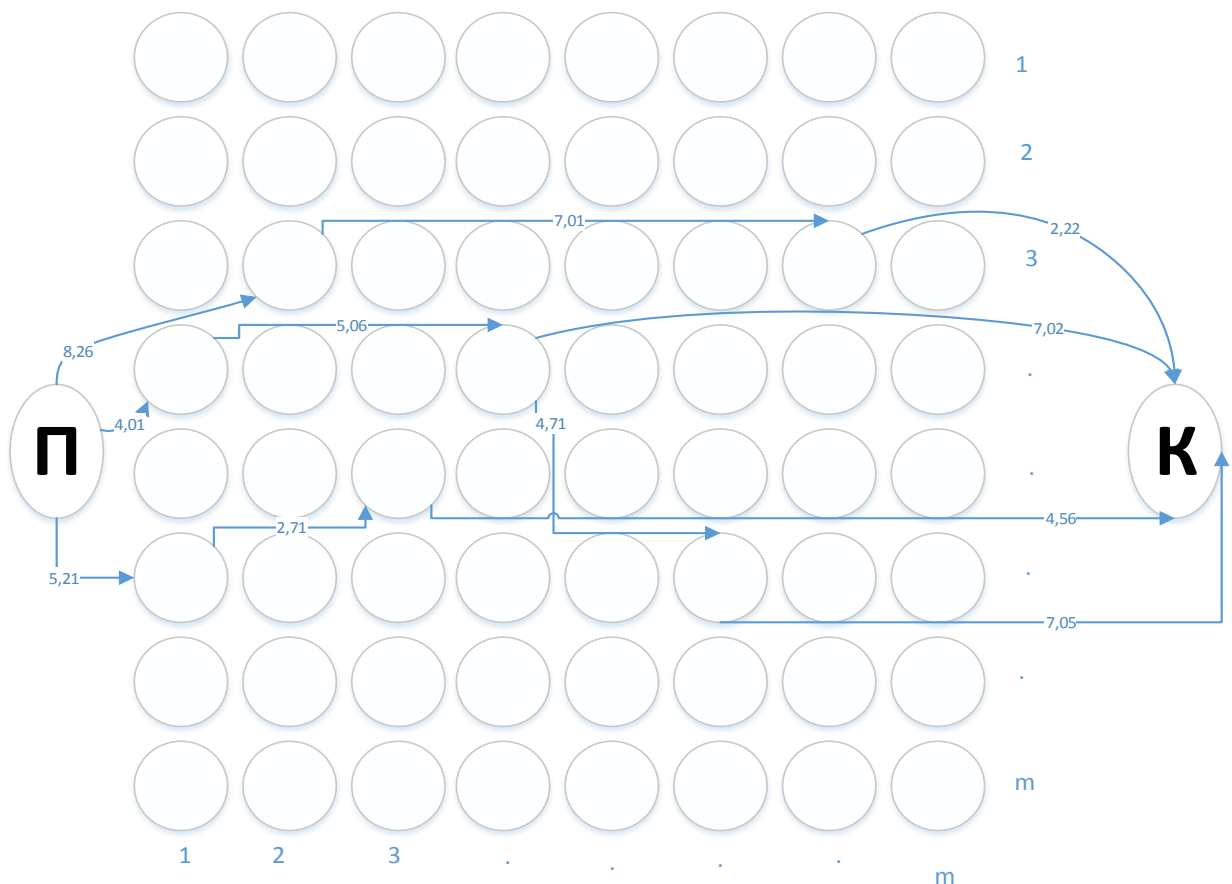


Рисунок 2.6 – Сітьова модель методів дослідження необхідного якісного поверхневого шару виробів

Розмірність матриці ($m \times m$) відповідає кількості аналізуючих методів. Ребрами з'єднуються ті методи, набір яких може бути використаний для отримання поверхні заданої якості. В початку матриці, яка відображає сітьову модель, стоїть вершина, яка характеризує початок «П» (початок) процесу, а в

кінці – вершина, яка характеризує закінчення процесу «К» (кінець) отримання поверхні виробу з заданою якістю. В виробів може бути декілька поверхонь з різними якісними характеристиками. Тому набір використаних методів в цілому по виробу може бути збільшений. На ребрах вказуються вагові коефіцієнти прийнятого критерію оптимальності. Застосовуючи стандартні алгоритми визначення найкоротшого шляху на мережі, визначається шлях, який має оптимальне значення заданих показників.

Задача оптимізації формується так:

$$\sum_{j \in \text{сету}} \sum \Delta R_{ji} * \vartheta_{ji} \quad (2.2)$$

при обмеженнях:

$$\sum_{kj \in \text{сету}} \vartheta_{kj} - \sum_{ik \in \text{сету}} \vartheta_{ik} = \begin{cases} 1, \text{ для } k = \text{В (витік)} \\ 0, \text{ для } k - \text{проміжний} \\ -1, \text{ для } k = \text{С (стік)} \end{cases} \quad (2.3)$$

де $\vartheta_{ji} \geq 0$ для всіх дуг мережі; k – номер вершин мережі; kj – витоки дуг із вершини k в вершину j ; ik – в вершину k втікають дуги з попередніх вершин i .

При рішенні задач підвищення якості поверхневого шару важливо враховувати не тільки вартісні, але й екологічні характеристики процесу.

Витрати на підтримку екологічних характеристик виробу відповідного рівня заносять до суми загальних витрат. Однак, екологічні характеристики можуть бути використані в якості самостійного критерію оптимізації при прийнятті рішення попередньо відібраних економічно доцільних варіантів.

При оптимізації може змінюватися набір методів, використовуваних для формування поверхні заданої якості, кількість шарів і режими роботи застосованого обладнання (рис. 2.7).

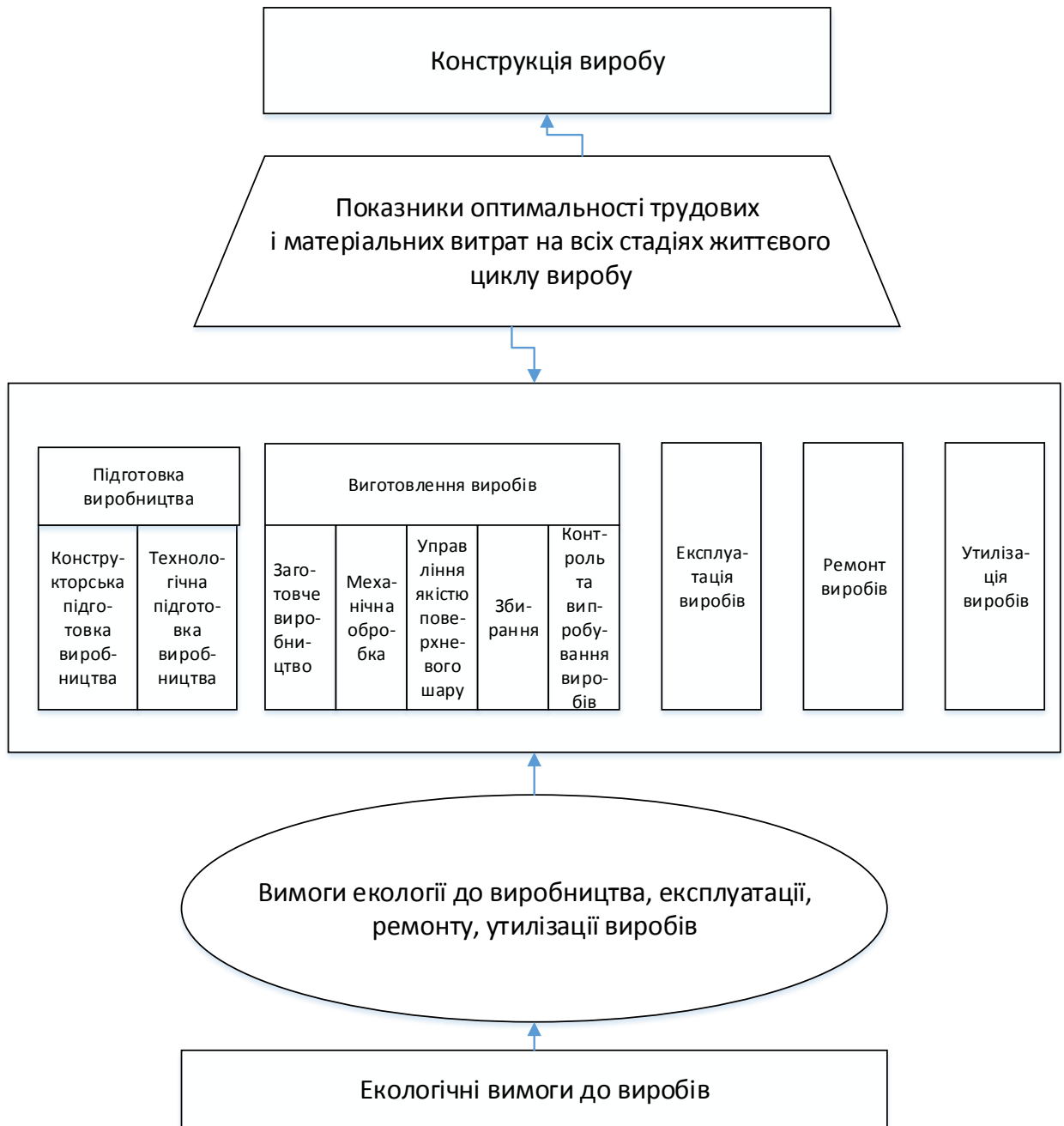


Рис. 2.7 – Взаємозв'язок показників технологічності виробу на різних стадіях життєвого циклу

На більш високому рівні задача оптимізації може бути вирішена з врахуванням всіх стадій життєвого циклу виробу. При цьому необхідно аналізувати на всіх стадіях життєвого циклу виробу вираш та втрати в залежності від якості сформованого на поверхні шару матеріалу. Збільшення

розмірності розв'язуваної оптимізаційної задачі може призвести до необхідності використання методу динамічного програмування.

В загальному вигляді модель проектування та вибору якості деталей виробу з урахуванням етапів життєвого циклу представлена на рис. 2.8.

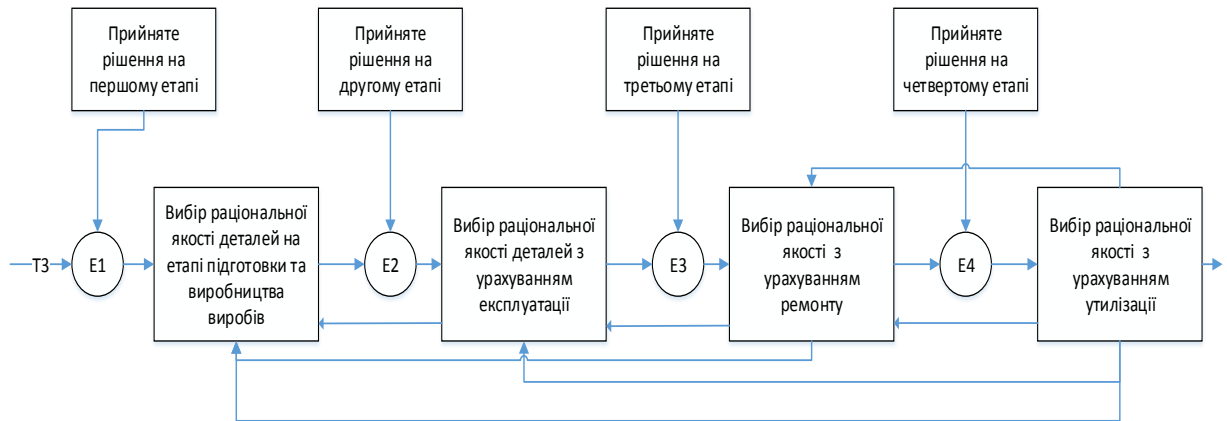


Рисунок 2.8 – Модель багаторівневого процесу прийняття рішення про якість деталей виробу, де : T3 – технічне завдання; E1 ... E4 – етапи прийняття рішення про якість виробу.

На кожному із рівнів проектування вибирається декілька раціональних варіантів. При прийнятті рішення на i -му рівні кількість варіантів, які розглядаються може бути збережено, зменшено або збільшено.

На основі зібраних даних, розроблена методологія послідовності використання різних етапів дослідження відновлення чавунних фрикційних клинів візка вантажного вагону, відновлення його геометричних розмірів та структурно-фазового стану (рис. 2.9).

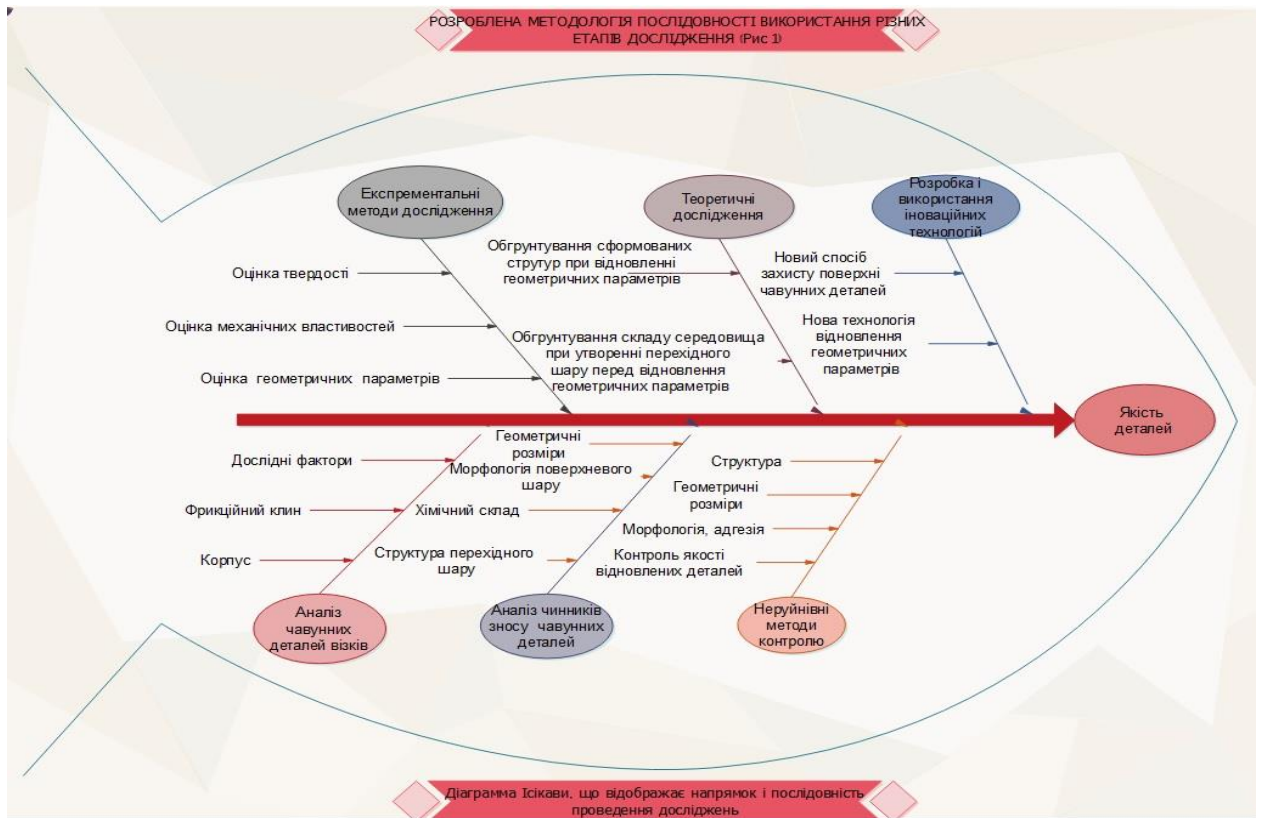


Рисунок 2.9 – Діаграма Ісікаві

2.3 Методики виміру товщини і твердості антифрикційного зносостійкого покриття

Для виміру товщини покриття використовувався неруйнівний метод контролю по ослабленню інтенсивного відображення рентгенівського залізного випромінювання від площини підкладки в залежності від товщини покриття [96]. За міру ослаблення було прийнято логарифм відношення інтенсивності відображення для підкладки з покриттям та без нього.

Для визначення міцності покриття та виявлення змін в покритті проводили адгезійні випробування та виміри твердості.

Визначення міцності поверхневого шару визначає оцінку адгезії нанесеного шару покриття з основною. Цей зв'язок може бути оцінений за допомогою об'єктивного показника адгезійної міцності, який визначається експериментально різними методами відриву покриття. Робота адгезії може бути представлена формулою:

$$W_1 = W * N , \quad (2.4)$$

де W – посередня енергія одиниці зв'язку, котра визначає адгезію
 N – кількість зв'язків в розрахунку на одиницю площі покриття і основи.

Рівняння дає змогу визначити характеристики адгезії, яка обумовлена різними видами взаємодії між молекулами, що в свою чергу приводить до виникнення міжмолекулярних і хімічних зв'язків.

Величина адгезії, як видно з рівняння, залежить також від числа зв'язків між поверхнями, які контактують, які визначаються фактичною площиною контакту покриття з основою. Величина цієї площини обумовлена безпосередньо процесом формування покриття в залежності від його властивостей.

Для оцінки адгезійної міцності пропонується використовувати акустичний метод. Він оснований на використанні змінного навантаження, який прилягає на конічний індикатор, за допомогою навантажуючого пристрою з плавним регулюванням швидкості навантаження і розвантаження. При досягненні критичного навантаження на індикаторі, відбувається відділення покриття зразка від підкладки. Процес відділення супроводжується акустичними сигналами. При досягненні цими сигналами заданої інтенсивності і амплітуди, керуючий прибор фіксує параметри глибини впровадження. Згідно отриманих даних, по формулі розраховується адгезійна міцність покриття, яка отримана при аналізі напруженого стану на границі поділу фаз в процесі вдавнення індентора в зразок.

Мікротвердість визначається при вдавлюванні алмазної піраміди по методу Віккерса. Метод призначений для визначення твердості дуже маленьких (мікроскопічних) об'ємів матеріалу. Його застосовують для виміру твердості мілких деталей, тонких поверхневих шарів, покриттів і т.д.

Значення мікротвердості визначається за формулою:

$$H = \frac{P \cdot k}{D^2}, \quad (2.5)$$

де P – навантаження;

D – середнє арифметичне двох діагоналей відбитку в квадраті;

k – постійна прибору.

При вимірах підбиралося навантаження в залежності від твердості і розмірів зразка, який випробовується [16]. Згідно методики проведення дослідів вимір мікротвердості покриття проводився від краю і до досягнення відстані 50 мкм через 10 мкм, далі вглиб основи металу випробування проводилися через 25 мкм. Значення мікротвердості визначалося по результатам усереднення 10 – 15 замірів.

Точність і достовірність результатів випробування визначалась за допомогою статичної обробки даних [97].

2.4 Методика дослідження триботехнічних характеристик матеріалів зразків

Найбільший інтерес при дослідженні являють собою такі триботехнічні характеристики, як зносостійкість, навантаження задируутворення і коефіцієнт тертя. Для оцінки цих властивостей поверхневого шару в умовах роботи пари тертя, були проведені експлуатаційні випробування.

При дослідженні триботехнічних характеристик використовувалися машини тертя типу СМТ-1 та СМЦ-2.

З метою досягнення задовільної повторюваності отриманих результатів та збереження в процесі експерименту постійних значень показників швидкості, температури та тиску, необхідно встановити геометричну форму

матеріалу фрикційного клину як ролик, а в якості вкладишу використовувати сегмент, внутрішній радіус якого дорівнював би зовнішньому радіусу ролика. Таким чином, процес тертя проходить по поверхні, де питомий тиск залишається постійним. До початку випробувань, поверхні тертя зразків піддавалися приробітку, з метою більш якісного визначення показника опору зносу. Досліди проводилися з регулюючим капілярним способом підводу змазки на поверхню тертя.

Для створення умов роботи пари тертя задавалися такі режими, які в певній мірі відповідали умовам роботи в експлуатації фрикційного клину. Для визначення зносостійкості задавали швидкість ковзання в 2 м/с, а навантаження регулювалося в межах 100 – 2000 Н. навантаження задиротворення і коефіцієнт тертя визначали при швидкості 1 – 3 м/с і діапазоні навантаження 500 – 2000 Н. при проведенні досліду використовувалися постійний підвід змазки, обмежена подача, для забезпечення умов граничного тертя та сухе тертя без змазки.

Так, як на машинах тертя важко зафіксувати момент задиротворення по стану поверхні тертя, тому в якості характеристики для визначення задиротворення приймалися навантаження, при якій з'являються задиротворення та проходять рівне зростання величини моменту тертя.

Критерієм зносостійкості є втрата ваги зразків, які досліджувалися. Після кожного досліду був визначений ваговий знос зразків ролику і вкладишу, шляхом зважування на аналітичних вагах типу ВЛР-200 2-го класу точності. Фіксували навантаження, при якому відбувається зміна моменту тертя, а коефіцієнт тертя розраховується аналітично.

Відтворюваність експериментів перевірялися по критерію Кохрена:

$$G = \frac{s_u^2 \max}{\frac{m}{z_p} \cdot s_u^2} \leq G(0.05; f_n; f_u), \quad (2.6)$$

де S_u^2 – дисперсія, яка характеризує розсіяння результатів дослідів на u -тому рівні факторів;

$$S_u^2 = \frac{\sum_{p=1}^m (Y_{up} - Y_u)^2}{m-1}, \quad (2.7)$$

де $S_u^2 \max$ – найбільша із дисперсій в матриці;

$P = 1, 2 \dots m$, де m – число паралельних дослідів;

$G(0.05; f_n; f_u)$ – табличне значення критерій Кохрена при 5% рівні значення.

В процесі аналізу результатів експерименту нерівність виконалась, що свідчить про відтворюваність процесу.

Дисперсія відтворюваності, тобто помилки дослідів, визначалося по формулі

$$S_y^2 = \frac{\sum_{n=1}^n S_u^2}{n}, \quad (2.8)$$

Серії дослідів по визначенню експериментальних значень зносу й коефіцієнта тертя проводилися двічі. При цьому значення оцінок дисперсії розраховувалися по формулі:

$$S_u^2 = \frac{b^2}{2}, \quad (2.9)$$

де b^2 – різниця між паралельними дослідженнями [98-100].

2.5 Висновки до другого розділу

1. Для проведення експериментальних досліджень по розробці нової технології відновлення фрикційних клинів візків вантажних вагонів була завчасно створена програма досліджень та розроблений алгоритм проектування нової технології відновлення.

2. На основі розробленого системного підходу до вибору технології відновлення встановлено, що багаторівневий підхід дозволяє спростити складну задачу шляхом декомпозиції її на кілька більш простих та одночасно зменшити число аналізуючих варіантів.

3. Експериментальні дослідження по розробці та використанню нової технології відновлення реновації здійснювалися на основі прийнятих методик, а саме: металографічних, мікрогеометричних та рентгеноспектральних досліджень адгезій, триботехнічних властивостей.

4. Розроблена діаграма Ісікава, яка відображає причинно-наслідні зв'язки при відновленні геометричних розмірів та структурно-фазового стану чавунного фрикційного клину візка вантажного вагону.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ІНОВАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ТА СТРУКТУРНОФАЗОВОГО СТАНУ ЗНОШЕНИХ ЧАВУННИХ ДЕТАЛЕЙ

3.1 Вплив параметрів технологічного процесу на формування перехідного шару

При виборі параметрів технологічного процесу одержання перехідного шару в якості матеріалу для зразків, при проведенні дослідження, застосовувався сірий чавун марки СЧ35, який використовують для виготовлення фрикційних клинів вантажних залізничних вагонів.

Для знаходження особливостей мікроструктури, фазового і хімічного складу, експлуатаційних властивостей, в результаті процесу модифікування поверхні деталей із залізовуглецевих сплавів окислюванням.

Модифікування оксидів можливо здійснити шляхом обробки сталей та чавунних деталей перегрітим паром водяних розчинів солей, які у своєму складі мають легуючі хімічні активні елементи [29].

Розглянемо перераховані процеси модифікації докладніше. Перший шлях модифікування – формування легованого шару забезпечується хімічними реакціями, які проходять на кордоні розділу оксид – насичуванню середовище, яка містить ті або інші легуючі елементи.

Другий шлях модифікування – утворення складних оксидів заліза, які можуть бути отримані, якщо впливати на поверхню деталі із залізовуглецевих сплавів багатокомпонентної окислюючою середою, яка має у своєму складі хімічні елементи, які здатні приймати участь в формуванні складних оксидів. В технологічній практиці розроблені різні способи отримання складних оксидів при одночасному або послідовному насиченні поверхні металів

певним газоподібним середовищем. Так отримують, зокрема, в покриттях оксінітриди, оксікарбонітриди, оксісульфіди та інші.

Третій шлях модифікування – отримання спеціальних оксидів легуючих елементів. В таких оксидах може міститися та або інша кількість заліза. Отримати такі оксиди можна впливаючи на поверхню сталей або чавунних деталей не чистим перегрітим водяним паром, а перегрітим паром водяного розчину солі або іншого хімічного з'єднання. Водяний розчин необхідно підібрати таким чином, щоб речовини, які розчинені в ньому, містили в насичуваній газовій атмосфері хімічних активних елементів, які викликають формування спеціальних оксидів [31].

В той же час окислення має значну перевагу у порівнянні з іншими способами отримання модифікованого поверхневого шару з заданими триботехнічними властивостями. Процес здійснюється в одну технологічну операцію та не потребує застосування спеціального та дорогого обладнання, забезпечуючи при цьому екологічну чистоту процесу.

Таким чином формування покриття, яке буде виконувати роль перехідного шару здійснюється за рахунок:

- впровадження хемосорбованих іонів, катіонів і аніонів в кристалічну решітку оксидів при взаємодії іонів заліза в решітку матриці с формуванням нового шару на поверхні оксидного покриття;
- перехід іонів і електронів із матричного сплаву в кристалічну решітку оксидного покриття;
- реакція між іонами, які потрапляють на межу метал – оксидне покриття;
- дифузія катіонів і аніонів, яка обумовлена градієнтом хімічного потенціалу або взаємна дифузія тих чи інших, в протилежних напрямленнях, через шар оксидного покриття по дефектам кристалічної решітки.

Таким чином, на поверхні із залізовуглецевих сплавів в присутності легуючих елементів в реакційній зоні будуть реалізовуватися термодинамічні умови, при яких якась із фаз повинна зароджуватися та розвиватися в умовах

самоузгодженості з зародженням та ростом інших фаз[15]. При цьому, може здатися, що в режимі росту деякі фази попадуть в умови переваги, а зріст інших може виявитися скрутним і навіть неможливим, що обумовлено особливостями процесів на границях фаз

В формуванні модифікованого шару одночасно приймають участь легуючі елементи матеріалів сталі та чавуну і ті хімічні елементи і комплекси, які знаходяться в легуючій парогазовій атмосфері.

В утворенні модифікованого шару одночасно приймають участь легуючі елементи матриці, так і елементи, які знаходяться в насиченій атмосфері. Так в першій стадії утворення головну роль мають легуючі елементи матриці, а потім перевагу необхідно віддати комплексам, які знаходяться в насичуванному середовищі так, як їх концентрація в парогазовому середовищі значно вища. Окрім цього, на першій стадії формування покриття легуючі елементи основного металу вже будуть використані на утворення шпінелей в нижньому шарі покриття

Це характерно для таких елементів, як Ni, Cr, Wn, Fe так, як їх шпінелі термодинамічно стабільні [32].

Оксиди заліза мають таку кристалічну структуру, що заміщення атомів заліза іншими металічними атомами може відбуватися без істотного змінення параметрів решітки [33].

Слід відмітити, що кальцій, магній, які знаходяться в воді, характеризують її жорсткість, у перегрітому парі не утворюють шпінелей. Ці елементи можуть утворювати власні оксиди або силікати [34-36].

Таким чином, модифікування призвело до того, що на поверхні залізовуглецевих сплавів формується багатошарове покриття, яке складається з трьох зон.

Згідно рис. 3.1 а, б маємо: 1 – зона покриття, прилегла до підкладці, має високу дисперсність і може бути інтерпретована як суміш оксидів заліза; 2- зона покриття явно має виражену кристалічну будову і характеризується вираженою направленістю (стовбчаста структура); 3 – зона покриття має

крупнозернисту і рівноосну структуру. В цій зоні має місце осадження розчинених в воді солей.

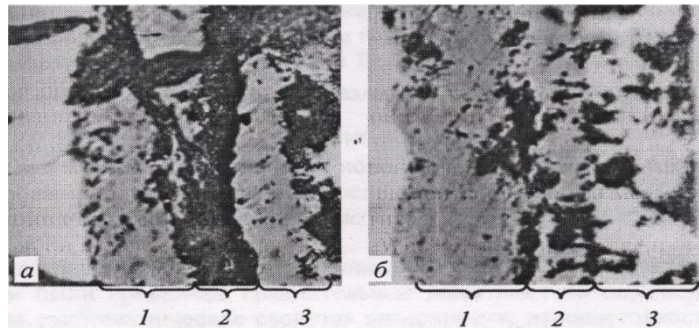


Рисунок 3.1 – Мікроструктура поверхневого шару чавунного (а) і сталевого (б) зразків після окислення

Були проведені дослідження розподілу хімічних елементів по товщині поверхневого шару оброблених деталей, таких як: Fe, O, C, Si, Ni, Cr, Mn, Mo, N, S, Cu рис. 3.2.

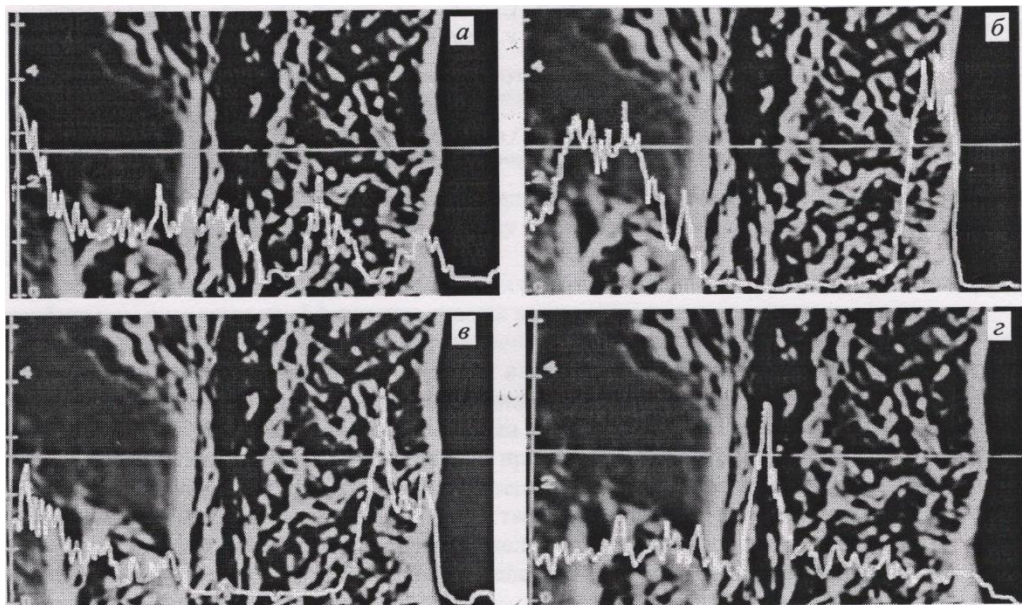


Рисунок 3.2 – Розподіл хімічних елементів в поверхневому шарі чавунних зразків; а – залізо, б – кисень, в – вуглець, г – мідь.

По мірі зменшення концентрації хімічних елементів і комплексів насичуванні парогазового середовища при формуванні поверхневого шару відбувається їх асоціація з утворенням молекул, які складають розчинну соль, які надалі абсорбуються на поверхневому шарі.

Однак, якщо для обробки було застосоване парогазове середовище водяного розчину солі, де йде накопичення іонів гідрооксонія ($\text{pH} > 7$), то в поверхневому шарі, за даними рентгеноструктурного аналізу, будуть знаходитися з'єднання, які мають групу (OH^-) . В результаті хімічної взаємодії з шпінелями утворюються з'єднання типу $\text{Fe}_3\text{SiO}_5(\text{OH})_4$. В насичуваному середовищі – перегрітому парі водяного розчину деякі солі можуть знаходитися комплексні іони типу CrO_4^{2-} , MoO_4^{2-} , $\text{Mo}_2\text{O}_7^{2-}$ та інші. Ці та інші такого типу комплексні іони не можуть дифундувати в оксидну плівку заліза в силу того, що мають великий радіус іона. Але в поверхневому шарі рентгеноструктурним і ОЖ-рентгеноструктурним аналізом виявлені з'єднання типу FeMoO_4 , FeCrO_4 та інші, тобто в утворенні шару приймають участь і ті комплексні іони, які були спочатку у водяному розчині.

Для підтвердження переваг модифікування поверхні окисленням по відношенню до парооксидування були проведені порівняльні випробування по виявленню впливу даних способів обробки на триботехнічні властивості поверхні: зносостійкість і значення коефіцієнта тертя.

Як видно з рис.3.3 та рис. 3.4 в зразках, які пройшли парооксидування, різко зросло значення зносу та коефіцієнта тертя вже на третій годині випробувань, що по факту привело до заклинювання пари, яка третяся.

Для зразків, які пройшли окислення, характерно підвищення зносостійкості при одночасному стабільному значення коефіцієнта тертя в заданому часовому режимі.

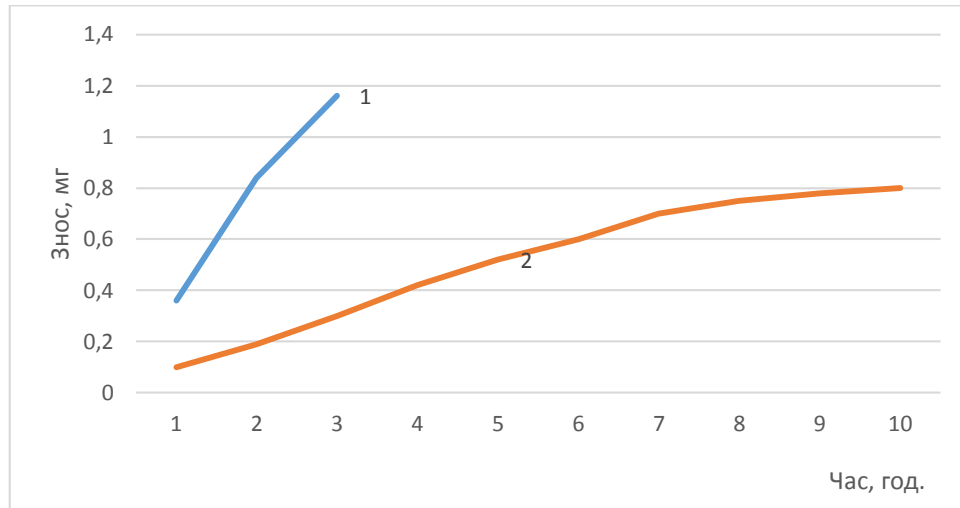


Рисунок 3.3– Залежність зносу матеріалу чавунних зразків від часу випробування при обробці: 1 – пароксидуванням; 2 – окислегуванням

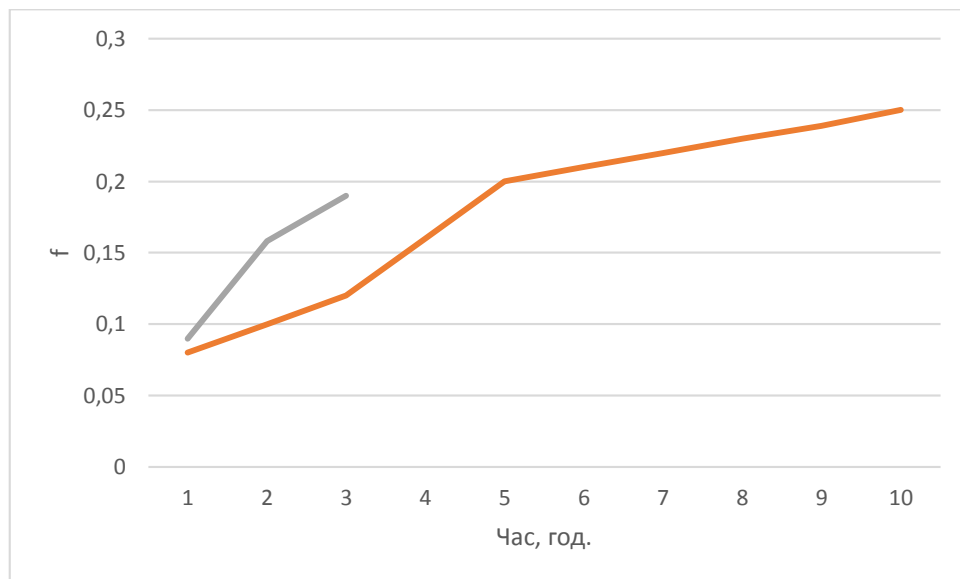


Рисунок 3.4– Залежність коефіцієнту тертя f матеріалу чавунних зразків від часу випробування при обробці: 1 – пароксидуванням;
2 – окислегуванням

Проведені комплексні дослідження поверхні деталей з залізовуглецевих окислегуванням дозволяє отримати висновки про те, що хімічні і фазові склади, структура модифікованого шару визначаються вмістом хімічних елементів, які знаходяться в насичуваному середовищі. Формування складу і структури шару є регулюючим процесом, як по технологічним параметрам, так і по реагентам.

На основі отриманих даних можна стверджувати, що наявність в модифікованому поверхневому шарі шпінелей заданого складу, задовольняють заданим властивостям в залежності від умов експлуатації деталей вузлів та механізмів із залізовуглецевих сплавів.

Таким чином, проведені комплексні дослідження підтвердили перевагу модифікування поверхні залізовуглецевих сплавів окислегуванням у порівнянні з парооксидуванням. Спосіб модифікування поверхні окислегування може бути рекомендований як один із способів хіміко-термічної обробки деталей із залізовуглецевих сплавів, які працюють в умовах тертя і зносу, з метою отримання у таких деталей поверхневих шарів з заданими експлуатаційними особливостями.

Була знайдена залежність технологічних параметрів процесу підвищення зносостійкості фрикційного клину від технологічних параметрів (рис.3.5-3.7).

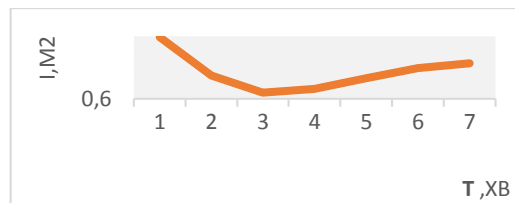


Рисунок 3.5 – Залежність величини зносу поверхні фрикційного клину від часу витримки в розчині

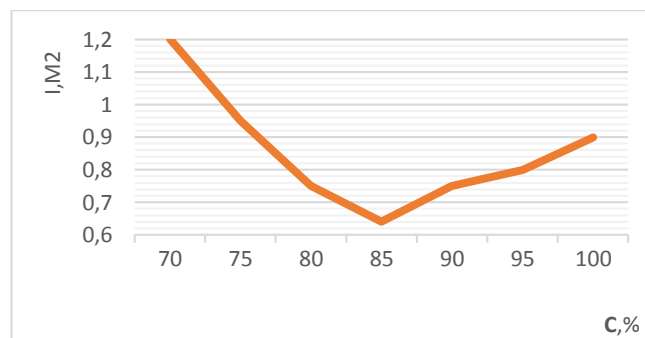


Рисунок 3.6 – Залежність величини зносу поверхні фрикційного клину від концентрації розчину

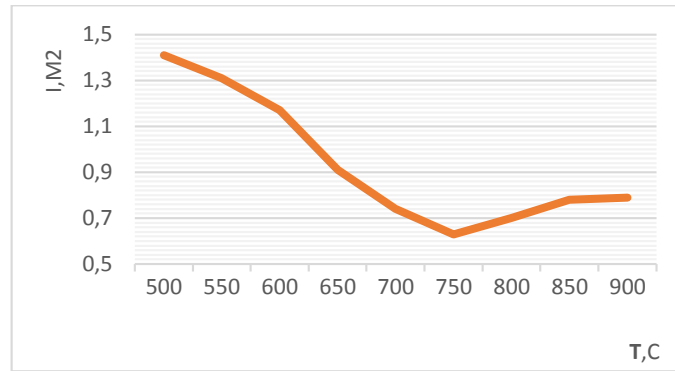


Рисунок 3.7 – Залежність величини зносу поверхні фрикційного клину від температури загартування

3.2 Визначення раціональних параметрів інноваційної технології відновлення фрикційних клинів

Отримані результати експериментальних досліджень та результати проведеного регресивного аналізу показують характер впливу технологічних параметрів температури закалювання, концентрацію розчину, часу витримки на властивості отриманого покриття, а саме товщину, твердість, шорсткість та знос при контакті з парою тертя. Проведений аналіз дозволяє прогнозувати властивості покриття в залежності від технологічних параметрів їх отримання.

Залежність зносу від параметрів представлені на рис. 3.8 - 3.10. Мінімальний знос спостерігається в межах втрати маси 0,6 – 0,7 мг, данні показники досягаються при значеннях температури загартування 750 – 780 °С, концентрація розчину солі міді $c=85\%$, час витримки $\tau=3 - 4$ хв[7,8].

Рівняння регресії, апроксимує функцію відгука, записувалося в виді полінома деякого ступеня

$$Y = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_kx^k$$

Перехід до координування значеннями змінних здійснювалося за формулою

$$x_i = \frac{x_i - x_i^0}{\Delta x_i}$$

Коефіцієнти рівняння регресії вираховувалися за формулою

$$b_1 = \frac{\sum_{n=1}^N x_{in}y_n}{N}$$

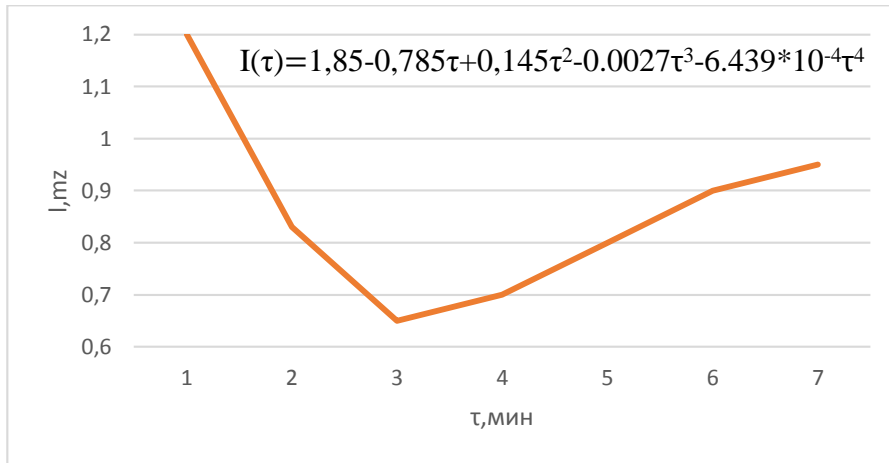


Рисунок 3.8 – Регресійна залежність зносу I , від часу витримки

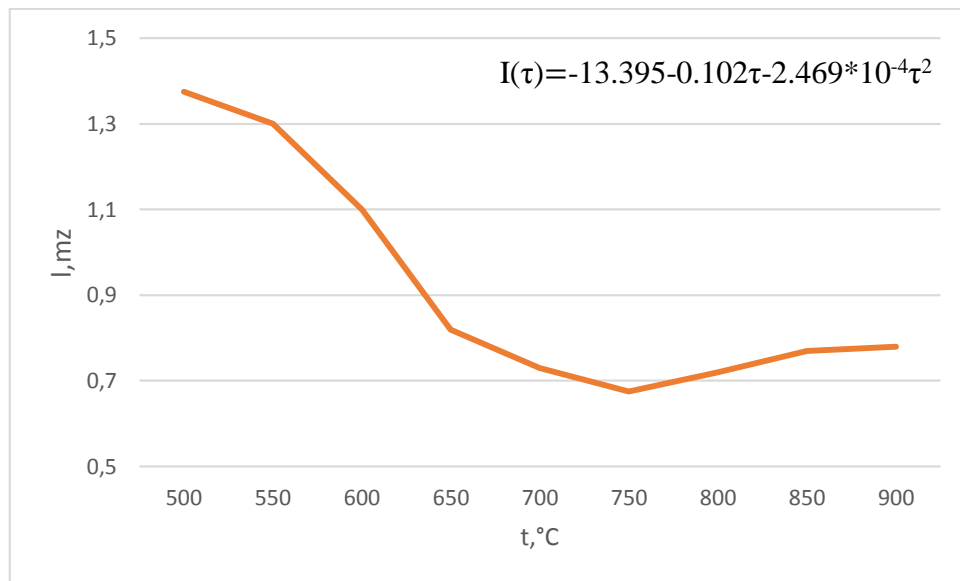


Рисунок 3.9 – Регресійна залежність зносу I , від температури загартування

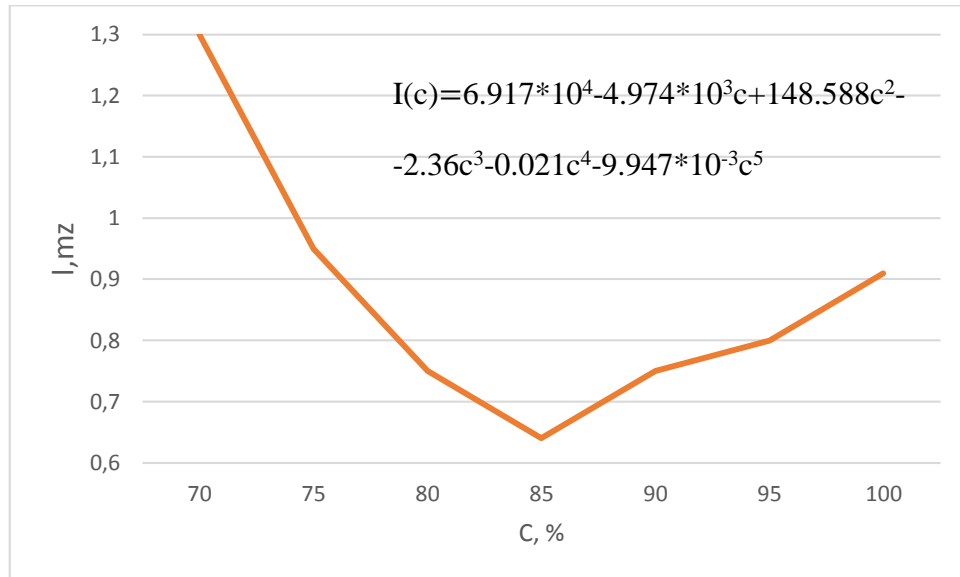


Рисунок 3.10 – Регресійна залежність зносу I, від концентрації розчину

$$\begin{aligned}
 I = f[t^0, C, \tau] = & -13.395 - 0.102\tau - 2.469 \cdot 10^{-4}\tau^2 + \\
 & + 6.917 \cdot 10^4 - 4.974 \cdot 10^3 c + 148.588 c^2 - 2.36 c^3 - 0.021 c^4 - 9.947 \cdot 10^{-3} c^5 \\
 & + 1,85 - 0,785\tau + 0,145\tau^2 - 0,0027\tau^3 - 6,439 \cdot 10^{-4}\tau^4
 \end{aligned}$$

На рис. 3.11 - 3.13 представлені залежності товщини шару покриття від параметрів обробки. Рациональна товщина покриття в 55 – 60 мкм досягається при температурі загартування 780 – 820 °С, концентрація розчину солі міді $c=85 - 90\%$, час витримки $\tau=3 - 4$ хв.

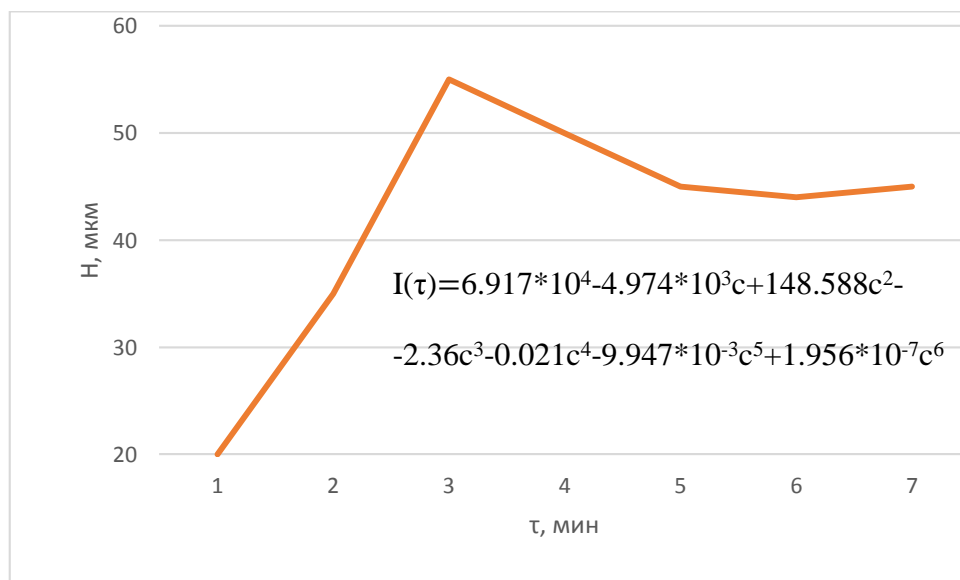


Рисунок 3.11 – Регресійна залежність товщини покриття H, від часу витримки τ

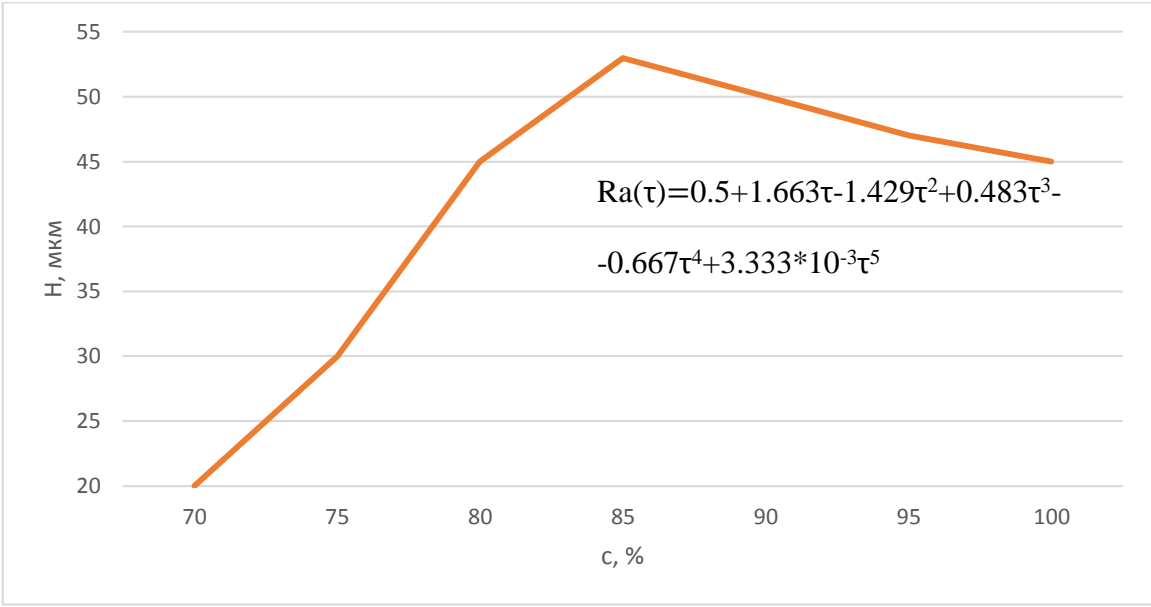


Рисунок 3.12 – Регресійна залежність товщини покриття Н, від концентрації розчину

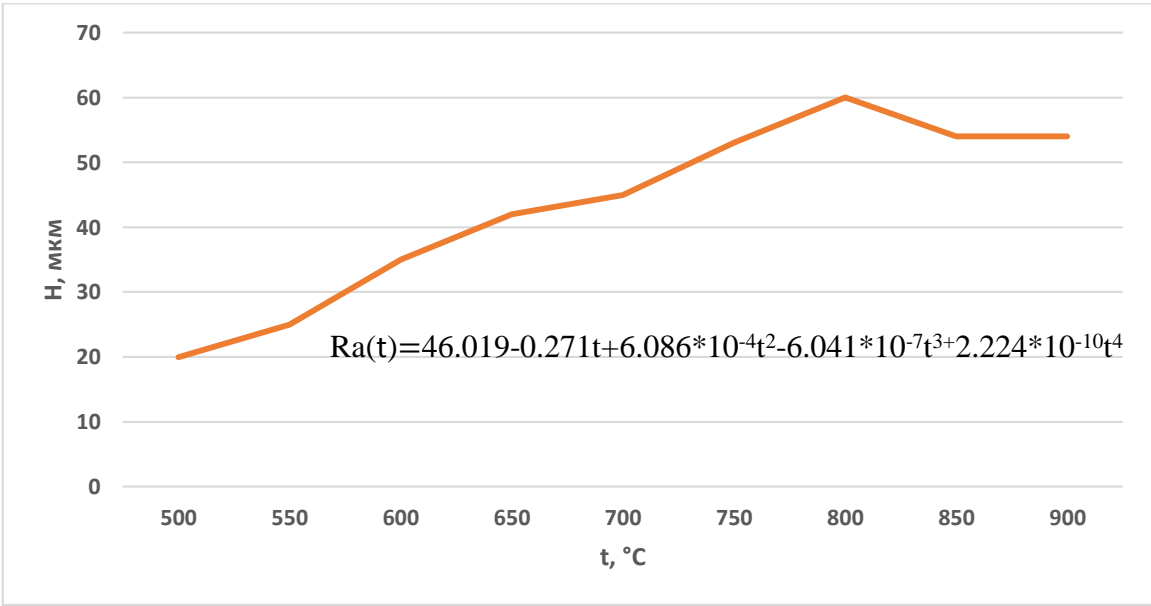


Рисунок 3.13 – Регресійна залежність товщини покриття Н, від температури загартування

Залежність значень твердості від технологічних параметрів приведені на рис. 3.14 - 3.16. Задана твердість лежить в межах 60 – 64 HRC та досягається при температурі загартування 780 – 830 °С, концентрація розчину солі міді $c=85 – 90\%$, час витримки $\tau=3 – 4$ хв.

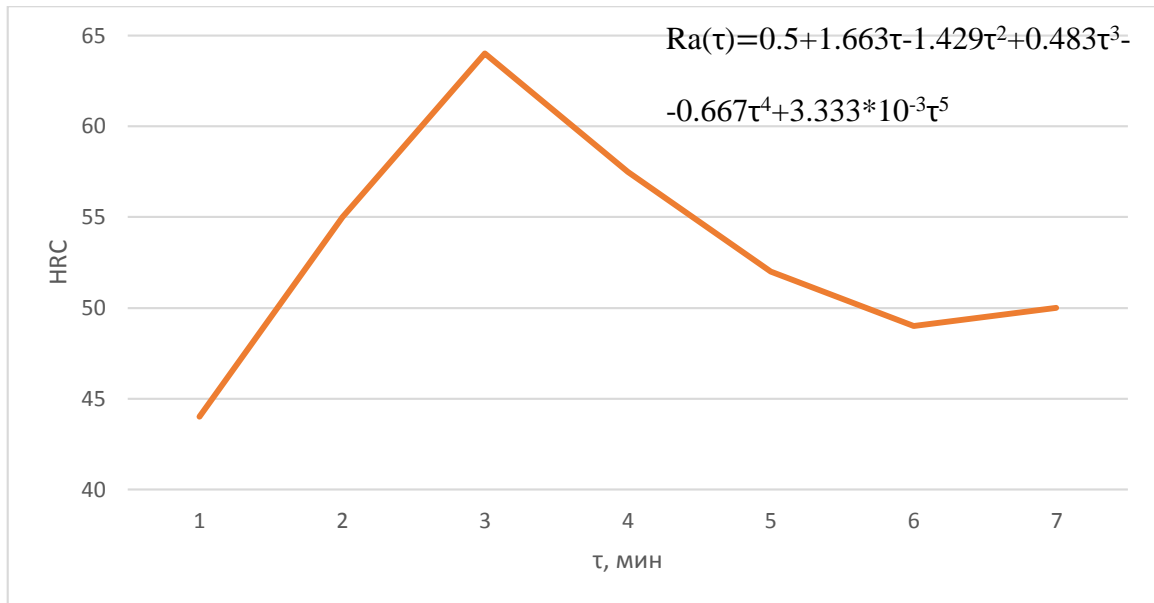


Рисунок 3.14 – Регресійна залежність товщини міцності HRC, від часу витримки

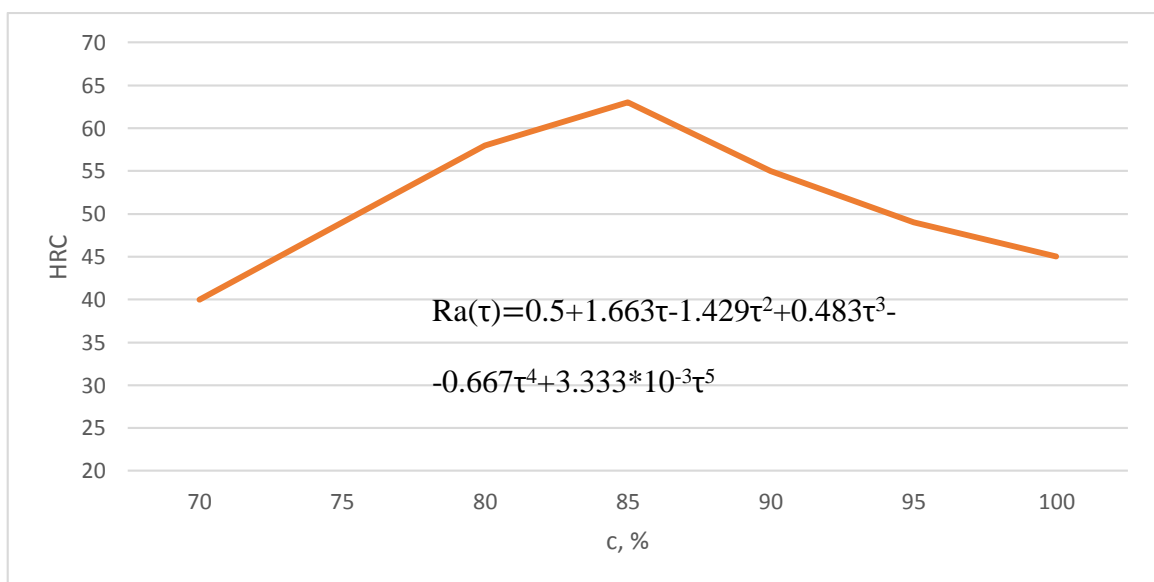


Рисунок 3.15 – Регресійна залежність товщини міцності HRC, від концентрації

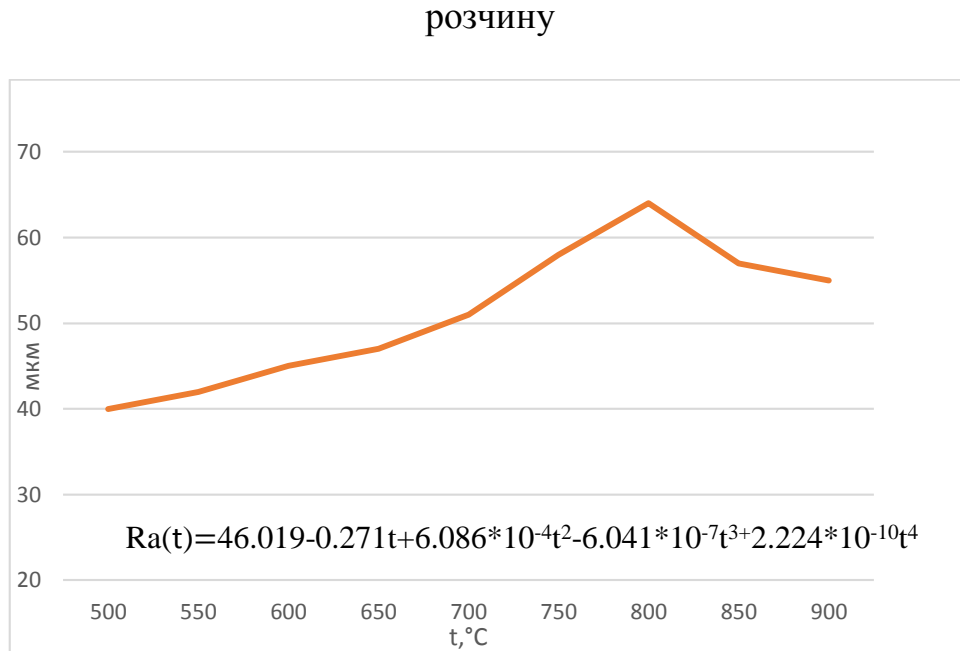


Рисунок 3.16 - Регресійна залежність твердості *HRC*, від температури загартування

Графічна залежність шорсткості від параметрів обробки представлений на рис. 3.17 - 3.19. На графіках показано, що мінімальні показники шорсткості $Ra = 0,6 - 0,65$ мкм забезпечуються температурою загартування $770 - 800$ °C, концентрація розчину солі міді $c = 85\%$, час витримки $\tau = 3 - 4$ хв.

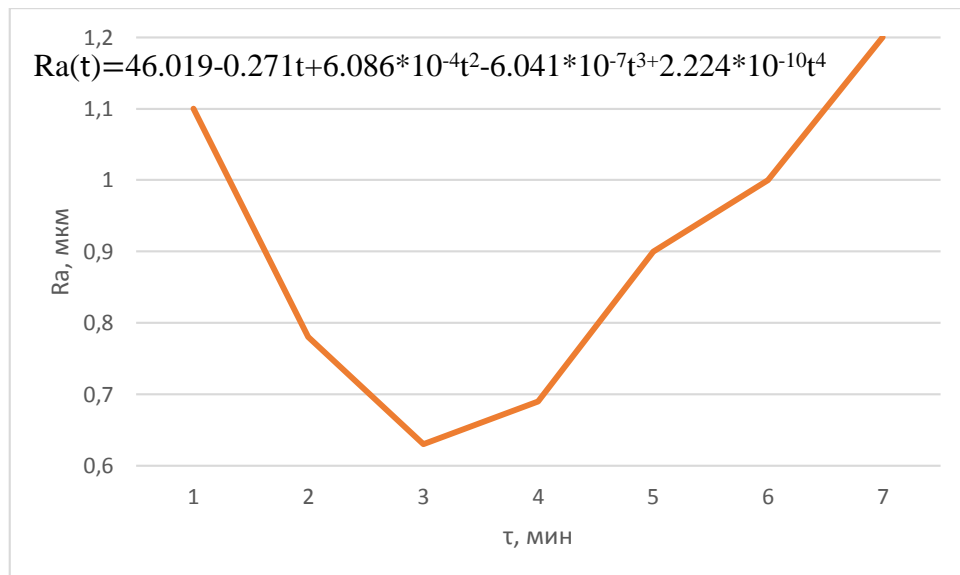
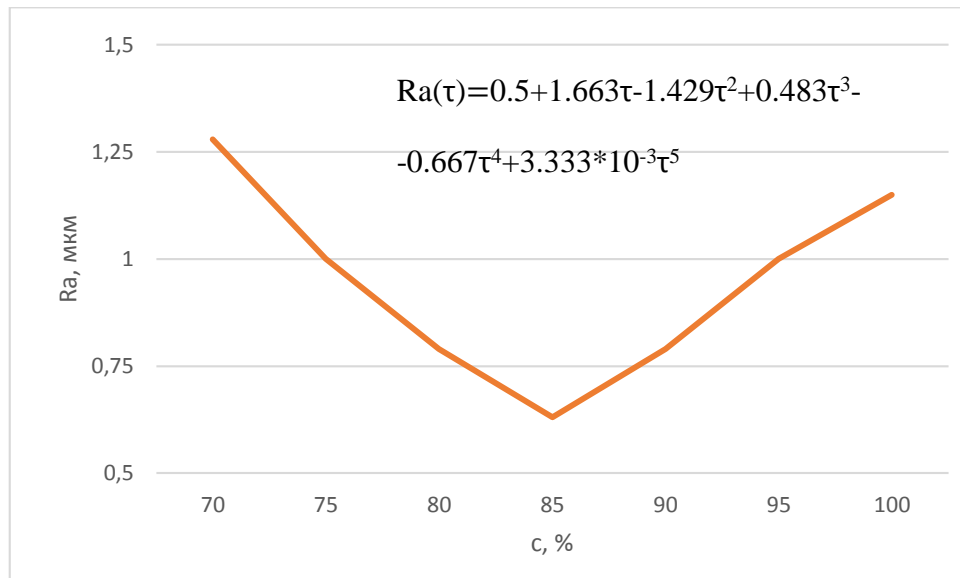
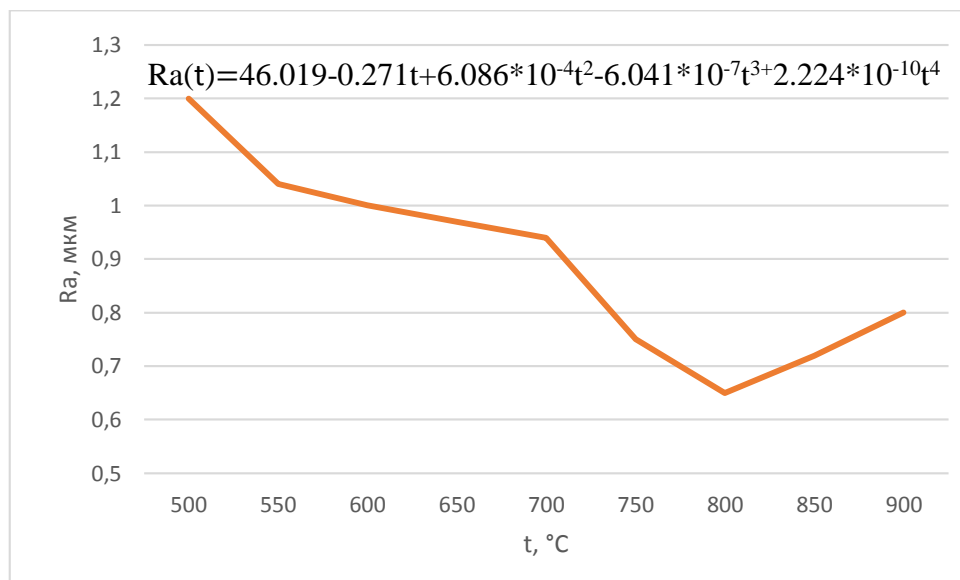


Рисунок 3.17 – Регресійна залежність шорсткості Ra , від часу витримкиРисунок 3.18 – Регресійна залежність шорсткості Ra , від концентрації розчинуРисунок 3.19 – Регресійна залежність шорсткості Ra , від температури загартування

Результати дослідів впливу параметрів розробленої технології на якість поверхні деталі показують, що мінімальний знос фрикційного клину буде забезпечуватися при температурі загартування 750 – 780 °С, концентрація

розчину солі міді 85% та час витримки у розчині 3 – 4 хв. Отримане покриття характеризується товщиною 55 мкм, твердістю в 60 – 64 HRC, шорсткістю $Ra=0,6 - 0,65$ мкм.

Також були встановлені: залежність адгезії від технологічних параметрів формування перехідного шару (рис. 3.20 - 3.22)

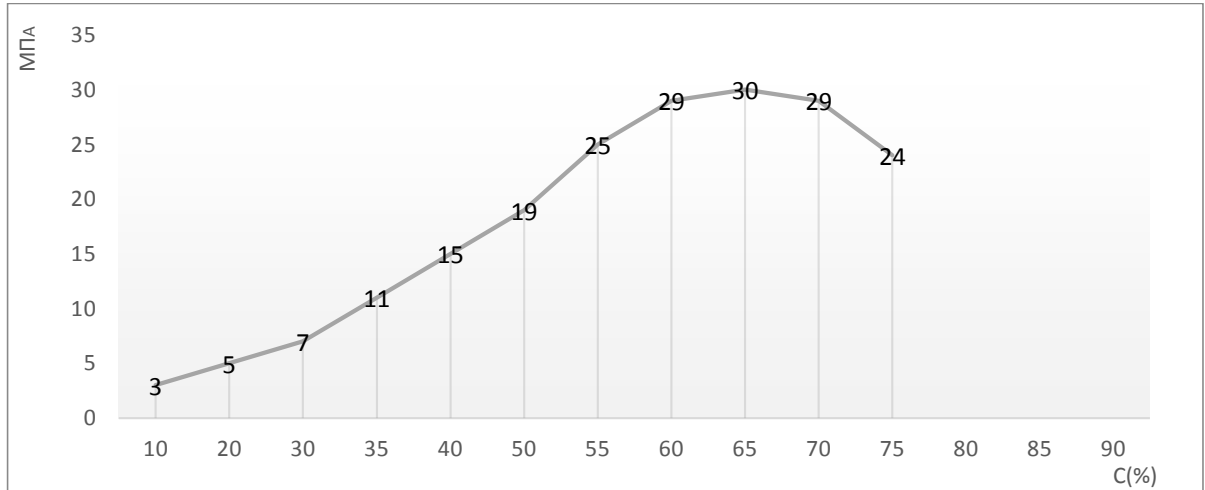


Рисунок 3.20 – Залежність адгезії від концентрації розчину

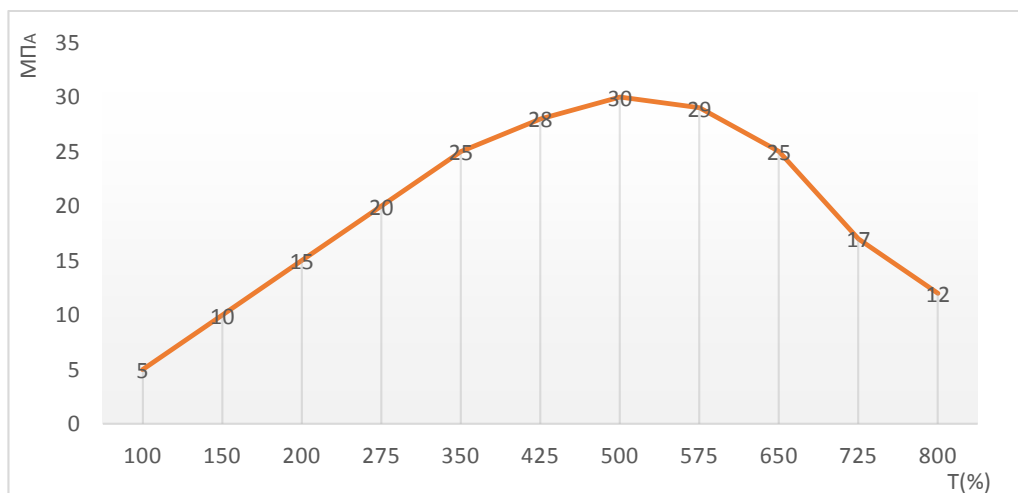


Рисунок 3.21 – Залежність адгезії від температури

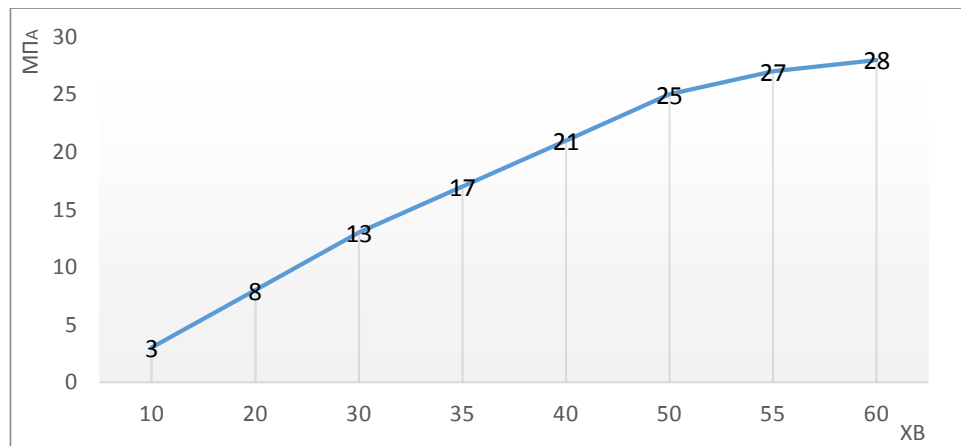


Рис. 3.22 – Залежність адгезії від охолодження

3.3 Підвищення триботехнічних властивостей деталей із залізовуглецевих сплавів

Методами поверхневого зміцнення, як ефективному засобу підвищення надійності і довговічності деталей машин, приділяється все збільшення уваги в машинобудуванні.

В теперішній час відома багата різноманітність методів поверхневого зміцнення, яке сприяє підвищенню експлуатаційних особливостей матеріалу. Серед таких методів можна виділити: пластичне деформування (дробеструйна обробка, обкатування роликami, центробіжно-шариковий наклеп та інші), поверхневий гарт (газокисневим полум'ям, нагрівом ТВЧ та інші), вакуум-плазма напилення, нанесення гальванічним способом металічних та неметалічних матеріалів (хромування, нікелювання, борування, оксидування), хімічні способи (хромування, нікелювання, фосфатування), поверхнєве зміцнення за рахунок наплавлення (електродугова, електрошлакова, вібродугова та інші) та багато інших.

Серед відомих переваг описаних методів поверхневого зміцнення можна виділити загальні, які належать їм всім, недоліки:

- необхідність застосування дорогого обладнання та хімікатів;

- забезпечення підвищення лише якогось одного або декількох із необхідного комплексу властивостей матеріалу, що потребує додаткових мір для забезпечення підвищення рівня інших особливостей; це пов'язано з технологічними та іншими труднощами.

Вказані недоліки поверхневого зміцнення не властиві хіміко-термічній обробці (ХТО) завдяки формуванню різних по стану та властивостям металічних та металоподібних фаз, одно- або багатофазових дифузних шарів, які забезпечують високий опір зносу і корозії, а також підвищують опір втомленому руйнуванню. При ХТО можуть використовуватися тверді, рідкі або газоподібні насичені середовища.

Все більш знаходять застосування комплексні методи, які дозволяють поєднувати різні варіації відомих методів поверхневого зміцнення. Для цих методів характерно збільшення кількості технологічних операцій. В той же час вони також не забезпечують необхідний комплекс властивостей поверхневого шару.

Основні вимоги, які висувають до властивостей поверхневого шару деталей, які працюють в умовах тертя та зносу, які забезпечують довговічність та працездатність матеріалу – припрацювання, зносостійкість, а також певні значення антифрикційних характеристик. Як правило, зносостійкість забезпечується високою твердістю, а припрацювання – низькою. Такий комплекс властивостей складно забезпечити в покритті, який складається з одного шару. Одним із варіантів рішення даної задачі є нанесення на поверхню декількох шарів, кожен з яких може мати свої, властиві тільки йому, фазовий і хімічний склад та властивості.

Для отримання багат шарових покриттів в теперішній час частіше всього роблять обробку послідовно, в декілька стадій з застосуванням різних по природі насичуваних середовищ. При цьому слід врахувати необхідність підбору таких середовищ, які кожен раз забезпечували би необхідну адгезію з поверхнею, яка є. Окрім того, насичуване середовище, яка застосовується для отримання багат шарового поверхневого покриття, повинна бути екологічно

чистою, що являє собою в теперішній час однією з головних проблем, яка стоїть перед промисловістю.

Підвищення триботехнічних властивостей залізовуглецевих сплавів можливо шляхом формування багат шарових покриттів[2].

Об'єктом дослідження триботехнічних властивостей, які наносяться на залізовуглецеві сплави при комплексній обробці, була вибрана сталь 18ХТГ и чавуни ВЧ-60, найбільш часто застосовані в транспортному машинобудуванні. З урахуванням цілі роботи і доказів переваги вибраного напрямлення були проведені випробування, які включали в себе певні антифрикційні властивості, які представляють собою найбільший інтерес при експлуатації деталей вузлів та механізмів.

Найбільш повну оцінку цих властивостей поверхневого шару стосовно до конкретним умовам роботи пар тертя дають експлуатаційні випробування[3]. Отримання результатів експлуатаційних випробувань являє собою довгий процес. До недоліків цих випробувань слід віднести їх велику вартість, труднощі виміру та необхідність великої кількості спостережень.

У зв'язку з цим для виявлення тенденції впливу складу і структури поверхневого шару на тертя були використані лабораторні випробування. Лабораторні випробування проводилися на машині СМЦ-2 в умовах, які імітують відповідну роботу деталей при експлуатації: навантаження, швидкість, час, вид і характер тертя (граничне і абразивне). На машинах тертя важко отримати фіксацію моменту приходу задиру по стану поверхні тертя, тому в якості характеристики було прийняте навантаження, при якому з'являються задири та відбувається різке підвищення моменту тертя. В процесі дослідження вираховувалися коефіцієнт тертя и фіксували навантаження, при якому відбувається зміна моменту тертя. Відтворюваність експерименту перевіряли по критерію Кохрена. Для дослідження структурно-фазового складу зразків, які піддавалися випробуванням, використовували методи металографічного та рентгеноструктурного аналізів, електронний мікроскоп.

В останні роки все більш увагу отримують розробка методів поверхневого зміцнення, які забезпечують формування тонкоплівочних покриттів. Одним з найбільш розповсюджених методів є метод конденсації при іонному бомбардуванні (КІБ).

Покриття, яке отримується методом конденсації при іонному бомбардуванні, мають високу адгезію до сталей. Варіюючи складом катодів і газоаргентів, цим методом можна отримати покриття з максимальною твердістю, що необхідне при утворенні або зносостійких шарів, або покриття з високими антифрикційними властивостями. Покриття, отримане таким методом, майже не змінює розміри деталей так, як товщина шару не перевищує 5 мкм.

Однак цей метод володіє значними недоліками, які обмежують його застосування в машинобудуванні. Часто зустрічаються великогабаритні сталеві деталі, наприклад штоки підбивних машин (із сталі 18ХСГ), покриття на яких відрізняються низькою адгезією та механічною міцністю. Вони схильні до здуття, луценню і легко відшаровуються при додатку навантаження. Причина різкого погіршення якості покриття полягає у тому, що при іонній очистці великогабаритних масивних деталей, які мають високу теплостійкість і більшою поверхнею, яка випромінює, між деталлю і покриттям утворюється проміжний «шкідливий» шар із матеріалу катода, який формується із недоліку очищеної холодної поверхні. Більша теплоємність деталі та її висока випромінюваність приводять до стабілізації низьких температур на оброблених ділянках поверхні [40].

Покриття, яке наноситься методом КІБ на деталі з чавуну: гільзи циліндрів тепловозних дизелів і поршневі кільця (СЧ ХНМ, ВЧ-60), мають низьку адгезію, пористістю і високою мікронеоднорідністю. Це обумовлено тим, що швидкість іонного розпилення графітних включень перевищує швидкість розпилення матеріалу основи и це приводить до порушення структури і хімічного складу поверхневого шару деталі ще на стадії іонної очистки [41].

Для підвищення якості покриття пропонується максимально скоротити радіаційну дозу високоенергетичних іонів, які падають на поверхню деталі, зменшити час іонної очистки, що може бути досягнуто дегазацією поверхні перед іонним обробленням, зокрема, попереднім нагрівом деталей із залізовуглецевих сплавів або їх комплексною обробкою[43].

Попередній нагрів деталей може бути виконаний в самому просторі установки, а комплексна обробка може бути створена на базі поєднання хіміко-термічної обробки за допомогою пароводяних розчинів солей і вакуум-плазмового напилення з сольовими катодами [42].

Враховуючи переваги хіміко-термічної обробки з застосуванням перегрітого пару водяних розчинів солей і вакуум-плазмового напилення, при їх поєднанні може бути розроблена комплексна технологія[13]. Сутність цієї технології полягає в тому, що на першому етапі проводиться вакуум-плазмове напилення, а потім хіміко-термічна обробка насичуванням в перегрітому парі водяних розчинів солей.

В промисловості найчастіше в якості захисного покриття на залізовуглецевих сплавах приймаються покриття із нітриду титану, тому розглянемо вплив додаткової обробки на прикладі складу цього покриття. Хоча в літературі описаний склад таких покриттів, однак відомі нітридні покриття отримані на стандартному серійному обладнанні.

В передбачуваній комплексній обробці нанесення покриття із нітрида титану здійснювали на поверхні деталей після попереднього нагріву в печі опору. Такий нагрів дозволяє очікувати утворення перехідного шару товщиною до 0,2 мм. При виборі режимів обробки деталей слід враховувати залежність швидкості росту товщини покриття від величини прискорюючих напругу. Струм катодного розряду підбирається таким чином, щоб при тиску газу-реагента $(3-5) \times 10^{-3}$ мм рт. ст. відношення компонентів в покритті було близько до стехіометричному. При виборі газу-реагента в робочій камері враховували їх вплив на фазовий склад і структуру плівки покриття. Особливе значення звертали на недопустимість розвитку плазмохімічних реакцій

плазмового пузиря та в його об'ємі, що призводить до різкого погіршення якості покриття. Струм магніту катодного вузла підбирали у відповідності з струмом дугового розряду таким чином, щоб забезпечити оптимальну виробку торця катода. За оптимальні приймали режими, при котрих виробка торця катода має стаканоподібну форму, що призводить до збільшення направленості (фокусуванню) іонного потоку і допомагає зменшенню витрат матеріалу катода. Інші параметри процесу відповідають стандартній технології. Після вакуум-плазмового напилення деталі піддавали хіміко-термічній обробці з застосуванням в якості насичуваної середовища перегрітого пару водяного розчину з заданими параметрами процесу. Для цього деталі з покриттям додатково поміщали в герметичний контейнер при температурі 600 ± 20 °C, в якості насичуваного середовища використовували перегрітий пар амонія молібденокислого з концентрацією водяного розчину 60 г/л та витримці протягом 20 хвилин з подальшим охолодженням в контейнері до 100 °C, а потім на повітрі.

В результаті покриття, сформовані на першій стадії комплексної обробки, взаємодіють з парогазовим середовищем з утворенням оксидів, оксинітридів та інших сполук в залежності від матеріалу підкладки та складу покриття[5].

Спостерігається окислення залізовуглецевого сплаву по дефектам будови покриття, сформованого при вакуум-плазмовому напиленні, в результаті дрейфу атомів заліза назустріч кисню, а кисень (залишковий) переміщується назустріч залізу з утворенням під первинним шаром оксидної підкладки[4].

Таким чином, в результаті комплексної обробки на поверхні залізовуглецевих сплавів формується композиційні покриття, які складаються із декількох шарів. Зокрема, нітрид титану взаємодіє з парогазовим середовищем з утворенням оксидів (TiO_2) і оксинітридів титану ($TiNO$), оксидів заліза (Fe_3O_4).

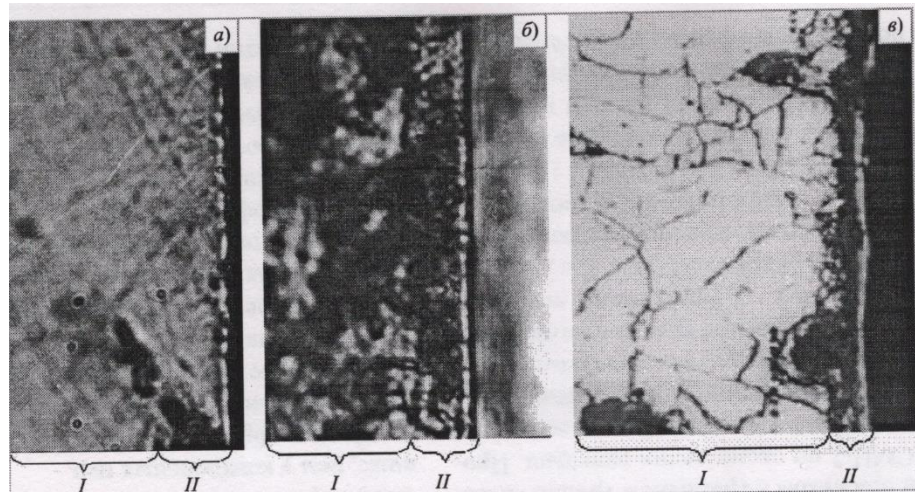


Рисунок 3.23 – Мікроструктура поверхневого шару сталевих (а, б) та чавунних (в) зразків після комплексної обробки до травлення (а) та після травлення (б): I – матриця; II – багатошарове покриття; а, б – х 500; в – х 340

Наявність отриманих сполучень підтверджено результатами металографічних досліджень і рентгеноструктурним аналізом. Нижній підшар покриття складається в основу з оксидів заліза, а верхній – з оксидів і оксинітридів титану. На рис. 3.23а, 3.23б, представлена мікроструктура композиційного покриття на сталевих зразках, а на рис. 3.23в – на чавунних після комплексної обробки.

Зовнішня поверхня плівки покриття як на сталевих, так і на чавунних зразках має велику кількість кисню, концентрація якого зменшується по мірі віддалення від поверхні покриття. Відношення змісту титана і азоту в верхньому шарі покриття залишається приблизно постійним. Підвищення концентрації заліза поблизу внутрішньої поверхні покриття вказує на утворення дифузного перехідного шару, обумовленого перерозподілом елементів основи матеріалу (рис. 3.24).

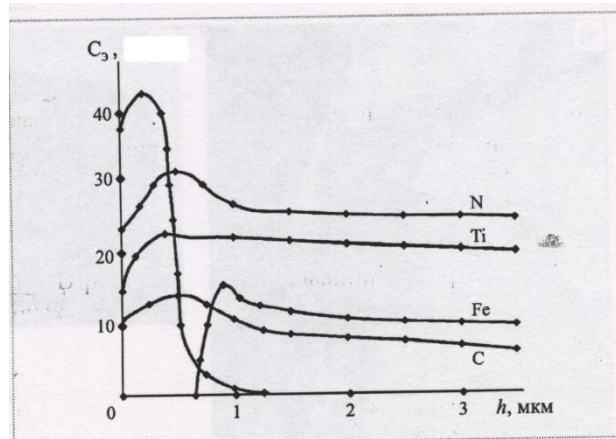


Рисунок 3.24 – Розподіл елементів покриття за товщиною зміцненого шару
(C_3 – концентрація елемента, h – товщина шару)

Все це свідчить про те, що при формуванні композиційного покриття матеріал зразків не впливає на хімічний склад покриття, а визначається хімічними реакціями на поверхні покриття, сформованого при вакуум-плазмовому напиленні.

В результаті дослідів в покритті не знайдено вуглець. Відсутність вуглецю слід пояснити тим, що цей елемент не випаровується з поверхні чавунних виробів за рахунок застосування попереднього нагріву та пониження прискорюваної напруги під час синтезу покриття при вакуум-плазмовому напиленні, а при наступній хіміко-термічній обробці з використанням перегрітого пару відбувається окислення покриття, яке йде уздовж пластинок графіту (рис. 3.25а), або навколо його глобулу (рис. 3.25б), утворюючи мікрорельєф покриття. Таким чином, в формуванні композиційного покриття в основному визначну роль має друга стадія комплексної обробки, а саме, хіміко-термічна обробка з застосуванням парогозового насичуваного середовища, в результаті якої на поверхні покриття, яке отримане при вакуум-плазмовому напиленні, відбувається перерозподіл хімічних елементів матриці та покриття внаслідок хімічних реакцій на його поверхні. Такий розподіл хімічних елементів за товщиною композиційного покриття сприяє

формуванню внутрішнього, перехідного та зовнішніх підшарів, що забезпечує підвищену адгезію композиційного покриття з основою матеріалу.

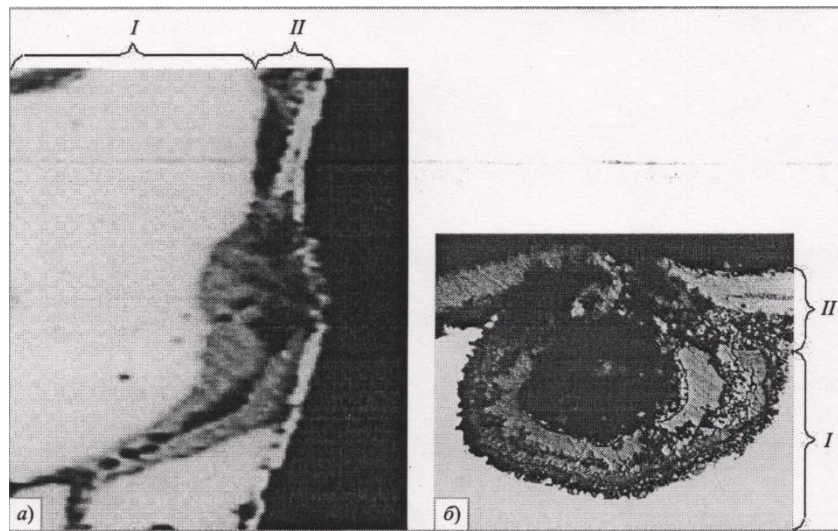


Рисунок 3.25 – Мікроструктура поверхневого шару чавунних зразків з графітно пластинчатою (а) та глобулярної форми (б) після комплексної обробки

(I – матриця; II – багатoshарове покриття): в – х 500; б – х 750

Проведені порівняльні випробування триботехнічних властивостей зразків після комплексної обробки, а також контрольних. В якості контрольних застосовували зразки з покриттям, отриманим вакуум-плазмовим напиленням (TiN) [12]. Дослідження проводилися при сухому та граничному терті на машині тертя СМЦ-2 по схемі ролик-вкладиш. Проведені дослідження виявили загальні закономірності в властивостях композиційних покриттів, які полягають в наступному: момент сили тертя, а отже і коефіцієнт тертя на окремих ділянках приробітку, в 2 – 2,5 рази вище, ніж у пар тертя з контрольним покриттям (рис. 3.26а).



Рисунок 3.26 – Залежність моменту сили тертя від нароблених при сухому (а) та граничному (б) терті в різних зонах покриття (n – частота оберту): 1 – поверхні тіла і контролеру з композиційним покриттям; 2 – композиційне покриття на поверхні одного з тіл пари тертя; 3 – поверхні тіла та контролеру з покриттям TiN

Важливо відмітити, що по мірі приробітку момент сили тертя пар с композиційним покриттям рівномірно знижується (рис. 3.26а, криви 1) та в зоні встановленого зносу (зона II) він вже на 20% нижче, ніж в аналогічних пар з контрольним покриттям (рис. 3.26а, крива 3). Ця тенденція зберігається і в зоні III, де покриття вже фактично зникає.

Характер зміни моментів сил тертя у пари з однією зміцненою поверхнею (композиційне покриття тільки на одній із пар тертя) займає проміжне положення між парами з композиційним покриттям і контрольним (рис. 3.26а, крива 2). Режим припрацювання у такої пари протікає досить жорстко та закінчується вдвічі швидше, ніж в контрольних.

В умовах граничного тертя момент сили тертя і коефіцієнт тертя для зразків с композиційним покриттям (рис. 3.26б, крива 1) більш чім в 5 разів нижча, ніж в контрольних пар (рис. 3.26б, крива 3). По мірі руйнування шарів покриття (рис. 3.26б, зона II) момент сил тертя плавно підвищується в 2 – 2,5 рази, залишаючись, тим не менш, в 2 – 2,5 рази нижче, ніж в контрольних зразках.

Крива 2 на рис. 3.26б, ілюструє зміну сили тертя при взаємодії тіла з композиційним покриттям з контртілом, поверхня якого не піддавалася зміцненню.

Момент сили тертя, а отже, і коефіцієнт тертя, в цьому випадку в 3- 3,5 рази вище, ніж в пар с композиційним покриттям та в 1,5 рази нижче, ніж в контрольних пар.

Таким чином, композиційні покриття (з попереднім нагрівом на I стадії обробки) приводить до різкого підвищення коефіцієнта тертя в умовах сухого тертя та його зниження при граничному терті. Це підтверджує, що в умовах сухого тертя підвищена абсорбційна властивість призводить до підвищення адгезійної складової коефіцієнта тертя. При граничному терті адгезійна властивість поверхні різко підвищує мастильні властивості мастил, що призводить до зниження коефіцієнта тертя[9].

Заслужує уваги той факт, що після стирання покриття триботехнічні властивості зразків, які зазнали комплексну обробку, залишаються вище, ніж в контрольних пар тертя.

Це свідчить про те, що композиційні покриття, які мають перехідний шар, який утворений в поверхневій області деталей (в результаті попереднього нагріву), має зносостійкість і поверхневу міцність[10].

Композиційні покриття підвищують навантаження задироутворення, при терті вони блокують осередки схоплення. Так, як схоплювання на зразках з контрольними покриттями спостерігається при навантаженні 400 – 600 Н, тоді на зразках з композиційним покриттям ці процеси не спостерігалися при збільшені навантаження до 1000Н.

Аналіз результатів роботи по підвищенню триботехнічних властивостей деталей із залізовуглецевих сплавів показав, що вирішити дану проблему за допомогою формування багатошарового покриття, отриманого поєднанням КІБ і ХТО.

Сутність такої комплексної обробки полягає в тому, що на першому етапі проводиться вакуум-плазмове напилення, а потім хіміко-термічна обробка насиченням в перегрітому парі водяних розчинів солей. На утвореному покритті, який складається із нітритів, за допомогою послідовного оксидування формується композиційне покриття, яке складається із оксидів і оксинітрідів, яке дозволяє підвищити триботехнічні властивості і ресурс роботи матеріалу деталей.

Проведені лабораторні дослідження підтвердили ефективність комплексної обробки сталевих та чавунних деталей, які забезпечують підвищення їх робочого ресурсу на менше, ніж в 3 – 4 рази, що дає основу рекомендувати таку обробку для підвищення триботехнічних властивостей деталей із залізовуглецевих сплавів[11].

3.4 Висновки до третього розділу

1. Результати дослідів впливу параметрів розробленої технології на якість поверхні деталі показують, що мінімальний знос фрикційного клину буде забезпечуватися при температурі загартування 750 – 780 °С, концентрація розчину солі міді 85% та час витримки у розчині 3 – 4 хв. Отримане покриття характеризується товщиною 55 мкм, твердістю в 60 – 64 HRC, шорсткістю Ra=0,6 – 0,65 мкм.

2. Проведені комплексні дослідження підтвердили перевагу модифікування поверхні залізвуглецевих сплавів окислегуванням у порівнянні з парооксидуванням. Спосіб модифікування поверхні окислегування може бути рекомендований як один із способів хіміко-термічної обробки деталей із залізвуглецевих сплавів, які працюють в умовах тертя і зносу, з метою отримання у таких деталей поверхневих шарів з заданими експлуатаційними особливостями.

3. Були встановлені: залежність адгезії від технологічних параметрів формування перехідного шару.

РОЗДІЛ 4
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
ВІДНОВЛЕНИХ ФРИКЦІЙНИХ КЛИНІВ ПІСЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ
ІННОВАЦІЙНОЇ КОМПЛЕКСНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

4.1 Управління якістю роботи фрикційного клину

Властивість фрикційних клинів полягає в пристосованості до попередження та виявлення причин появи відказів, пошкоджень та відновленню працездатного стану шляхом проведення технічного обслуговування та ремонтів називається ремонтпридатність. Ремонтпридатність – одна з властивостей, яка складає надійність об'єкта. Управління надійністю фрикційних клинів, підвищення їх працездатності при ремонті при незмінному середньому напрацюванні між відказами досягається:

- збільшенням ймовірності безвідмовної роботи при заданому напрацюванні t_1 , тобто $P_2(t_1) > P_1(t_1)$, де $P_1(t_1)$ – вихідна функція ймовірності безвідмовної роботи (рис. 4.1);
- збільшенням напрацювання $t_2 > t_1$ при заданій ймовірності безвідмовної роботи P , тобто $P_2(t_2) = P_1(t_1) = P$.

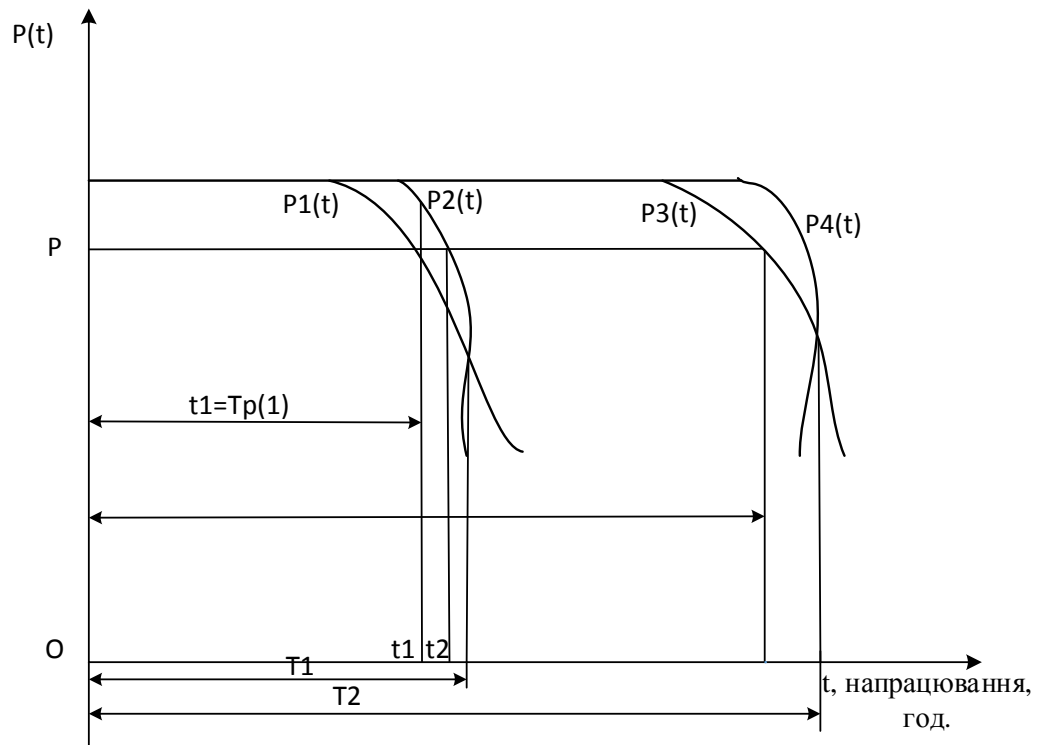


Рисунок 4.1 – Функція ймовірності безвідмовної роботи фрикційного клину

При збільшенні середнього напрацювання між відказами T_2 досягається одночасно збільшенням гамма-процентного напрацювання:

$$T_{P(3)} > T_{P(1)} \quad (4.1)$$

з заданою ймовірністю безвідмовної роботи для будь-яких t , тобто,

$$P_3(t) > P_1(t) \quad (4.2)$$

При поєднанні вказаних методів управління надійністю фрикційного клину, якістю його функціонування, безвідмовність останнього буде характеризуватися функцією $P_4(t)$. Цього можна досягнути спеціальними технологічними заходами.

Працездатність характеризується таким станом фрикційного клину, при якому він здатен виконувати вимоги експлуатації, які встановлені нормативно-

технічною документацією. При цьому фрикційний клин також характеризується сукупністю значень його параметрів на даний момент часу. Наприклад – товщина, фізико-механічних – час опору, твердість та інші.

Розглянемо деякі напрямлення технологічного забезпечення працездатності фрикційного клину, його функціонування на стадії ремонту.

Відновлення працездатності фрикційного клину в процесі експлуатації передбачає дії, які направлені на відновлення клину до стану, при якому він буде здатний виконувати вимогу експлуатації при встановлених вимогах функціонування.

Технологія термічної обробки фрикційних клинів забезпечує при їх виготовленні нерівномірну (спадну) твердість по перетину. В процесі експлуатації частина металу зношується, а частина зрізається під час ремонту при відновленні працездатності клину. Після двох-трьох циклів «експлуатація – відновлення працездатності» клин має низьку твердість у порівнянні з початком експлуатації і, відповідно, понижену зносостійкість. Для підвищення працездатності клину на стадії експлуатації необхідно періодично виконувати його термічну обробку з метою отримання перед початком чергової експлуатації фізико-механічних характеристик металу близьких до верхньої межі.

Розглянемо питання підвищення працездатності, якості функціонування клину, як систему управління. Під системою управління розуміється комплекс взаємозв'язаних елементів, функціонування яких приводить до виконання поставленої цілі.

Об'єкт управління. Це є якість функціонування клинів, які складаються із сукупності властивості окремих клинів (надійність, ремонтпридатність, працездатність та інші) та безліч клинів (взаємозаміна та інші).

Керуючий об'єкт – сукупність керуючих впливів на клин у вигляді прийняття технічних рішень, технологічного, метрологічного забезпечення, стандартизації. Вибір керуючого впливу приймають в залежності від стану життєвого циклу клину. Рівень якості функціонування клину формується на

стадії проектування, забезпечується на стадії виробництва та підтримується на стадії експлуатації.

При управлінні якістю функціонування фрикційного клину необхідна оцінка показників якості клину, обмежень, критеріїв, параметрів процесів. Сукупність номенклатури показників якості и обмежень формують на першому етапі (рисю)програму управління. Одночасно уточнюються межі комплексного управління якістю. На другому етапі розробляється схема структури і функціонування системи. Третій етап визначає процедуру управління якістю – моделювання та побудова математичних моделей. При моделюванні вирішуються три задачі: аналізу, синтезу та математичного контролю. На четвертому етапі визначаються параметри та вирішуються питання їх технологічного забезпечення.

Вирішення задач аналізу і синтезу може бути проілюстровано загальним функціональним описом системи (рис. 4.2).

Інваріант розглянутої системи S (якість функціонування клину) визначається як перетворення входу X в вихід Y за допомогою деякого оператора F

$$S: X^F \rightarrow Y \quad (4.3)$$

де X та Y – множини, які мають реальний склад (аналіз).

Наприклад, входи – структура металу, фізико-механічні властивості та інші; виходи – зносостійкість, циклічна несуча властивість.

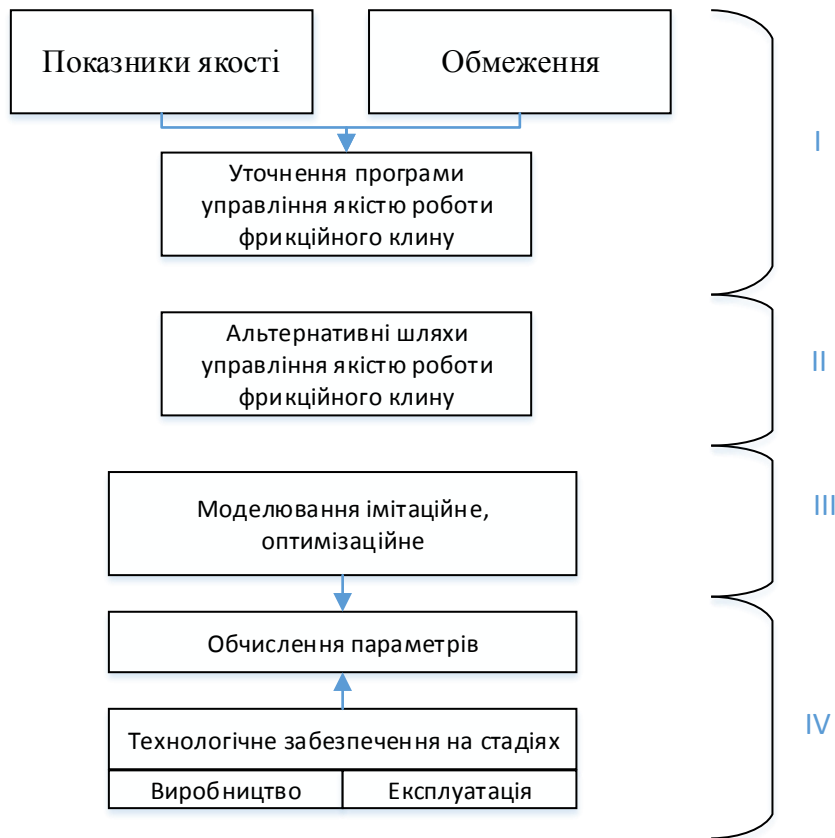


Рисунок 4.2 – Етапи управління якістю роботи фрикційного клину

В системі, крім вхідних і вихідних елементів, є управляюча множина. Якщо зафіксувати роль управляючої множини W , систему можна задати відображенням,

$$X * W^F \rightarrow Y \quad (4.4)$$

Якщо на систему діють невизначені зовнішні фактори, то система відображається,

$$S : X * W * E^F \rightarrow Y \quad (4.5)$$

Ціль управління якістю функціонування клину полягає в оптимізації функції цілі та рішення задачі синтезу. Аналітично це записується так. Задана система, здійснююча відображення:

$$X * W \rightarrow Y \quad (4.6)$$

відображена багатьма вхідними, керуючих і вихідних елементів в множині $\{G\}$, частково або повністю упорядковане відношенням. Функція g може бути задана двома функціями:

$$F: XW \rightarrow Y \text{ та } G: XW \{G\} \quad (4.7)$$

$$\text{або } g(x, u) = G[x, u, F(x, u)]$$

де $u \in W$; $x \in X$.

Оскільки ціль полягає в комплексній оптимізації параметрів фрикційного клину, то задачі синтезу при оптимізації зводиться до умови: дана підмножина $Df(x)$, треба знайти $x^* \in Df$ таке, що для всіх x із Df .

Тут Df – множина допустимих рішень, а елемент x^* - рішення задачі ($g_1 Df$). В визначенні $g(x^*)$ ціль системи полягає у знайденні $\sup g(x)$, $x \in Df$.

На кінцевий результат управління якістю функціонування клину впливають три рівні вимог до системи: к методології, до управління та об'єкту, який здійснює управління.

Загальні правила системного підходу визначають наступні вимоги до методології системи: відносний, ціленаправленість, адаптивність.

Об'єктами управління є якість функціонування готового клину, його формування, забезпеченість та підтримка (підвищення працездатності). Ці процеси – безпосередні об'єкти управління та разом з якістю функціонування клину інтерпретуються адекватним математичним описом.

При забезпеченні якості функціонування клину необхідно дотримуватися наступним вимогам: функціонування по сукупності показників якості, їх

повноту та деталізацію. Повнота показників якості характеризує рівень охоплення керуючих параметрів, які суттєво впливають на функціонування колеса.

Деталізація полягає в доведенні відхилення показників якості до допусків на кожен його вид.

4.2 Визначення кількісних показників безвідмовної роботи фрикційного клину

Імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ в проміжку часу (напрацювання) t визначають з виразу

$$P(t) = \int_t^{\infty} f(\tau) d\tau \quad (4.8)$$

де $f(t)$ – щільність розподілу часу безвідмовної роботи.

При невідомих значеннях $f(t)$ приближення визначення $P(t)$ здійснюють по формулі:

$$P(t) \approx \frac{N(t)}{n} \quad (4.9)$$

де $N(t)$ – число деталей, які залишилися працездатними для кінця напрацювання t , n – число випробуваних деталей.

В якості прикладу можна розглянути розподіл Вейбулла, для якого щільність розподілу $f(t)$ задається виразом

$$f(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right] \quad (4.10)$$

де a і b – параметри розподілу.

Для цього розподілу імовірність безвідмовної роботи

$$P(t) = \int_t^{\infty} \frac{b}{a} \left(\frac{\tau}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{\tau}{a}\right)^b\right] = \exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^b\right] \quad (4.11)$$

Середнє напрацювання на відмову для деталей, які не ремонтуються

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} \tau f_{cp}(\tau) d\tau \quad (4.12)$$

де f_{cp} – щільність розподілу напрацювання на відмову.

Наближено середнє напрацювання до відмови визначають за формуло

$$T_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (4.13)$$

де T_i – час напрацювання до відмови i -го виробу в партії з n деталей. Для розподілу Вейбулла

$$P(t) = \int_t^{\infty} \frac{b}{a} \left(\frac{\tau}{a}\right)^{b-1} \exp\left[-\left(\frac{\tau}{a}\right)^b\right] d\tau = a\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) \quad (4.14)$$

де $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функція.

Напрацювання на відмову, якщо воно виражено в одиницях часу, являє собою середній час безвідмовної роботи. Визначення цього показника для деталей, які ремонтуються та не ремонтуються, вимагає введення поняття інтенсивності відмови $\gamma(t)$ і параметра потоку відмови $\omega(t)$ (інтенсивності потоку відмов для деталей, які ремонтуються). Інтенсивність відмов для деталей, які не ремонтуються

$$\gamma(t) = \frac{f(t)}{P(t)} \quad (4.15)$$

Фізичний сенс визначення розкритий наближеною формулою

$$\gamma(t) \approx \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{\Delta t N(t)} \quad (4.16)$$

при достатньо малій Δt .

Наприклад, в випадку розподілу Вейбулла

$$\gamma(t) = \frac{b}{a} \left(\frac{t}{a}\right)^{b-1} \quad (4.17)$$

а при експоненціальному розподілі, якщо $b=1$,

$$\gamma(t) = \frac{1}{a} = \text{const.} \quad (4.18)$$

Інтенсивність відмов є параметром, який тісно пов'язаний з імовірністю безвідмовної роботи.

$$P(t) = \exp \left[- \int_0^t \gamma(\tau) d\tau \right] \quad (4.19)$$

Для виробу, який ремонтується середнє число відмов $m_{cp}(t)$ до напрацювання t при тестуванні n деталей визначають за формулою

$$m_{cp}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i(t)}{n} \quad (4.20)$$

де m_i – кількість відмов i -го виробу. В межі величина $m_{cp}(t)$ являє собою математичне очікування $H(t)$ кількості відмов до напрацювання t

$$H(t) = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^n m_i(t)}{n} \quad (4.21)$$

Параметр потоку відмов $\omega(t)$, які характеризують інтенсивність потоку відмов виробів, які ремонтуються, визначають з виразу

$$\omega(t) = \frac{dH(t)}{dt} \quad (4.22)$$

або приближено

$$\omega(t) = \frac{\sum_{i=1}^n m_i(t+\Delta t) - \sum_{i=1}^n m_i(t)}{n\Delta t} \quad (4.23)$$

де Δt – достатньо малий проміжок часу.

Вводячи ці параметри, можна визначити середнє напрацювання до першої відмови для деталей, які ремонтуються при пуасоновському потоці відмов.

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} t\omega(t) \exp\left\{-\int_0^t \omega(\tau) d\tau\right\} dt \quad (4.24)$$

І напрацювання на відмову T в інтервалі напрацювань від t_1 до t_2 :

$$T = \frac{t_0}{\int_0^{t_0} \omega(\tau) d\tau} \quad (4.25)$$

Сенс останнього виразу найбільше зрозумілий з формули напрацювання на відмову для кінцевої сукупності (партії) виробів

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (4.26)$$

Кількісний показник довговічності – γ - відсотковий ресурс $T_{p\gamma}$ – можна визначити за виразом

$$P(T_{p\gamma}) = \frac{\gamma}{100} \quad (4.27)$$

де

$$P(T_{p\gamma}) = \int_{T_{p\gamma}}^{\infty} f_p(\tau) d\tau \quad (4.28)$$

$f_p(\tau)$ – щільність розподілу ресурсу.

Наприклад, в випадку розподілу Вейбулла

$$T_{p\gamma} = a \sqrt[b]{-\ln \frac{\gamma}{100}} \quad (4.29)$$

у випадку експонентного розподілу

$$T_{p\gamma} = a(-\ln \frac{\gamma}{100}) \quad (4.30)$$

де $a = T_{cp}$ – середнє напрацювання на відмову.

До кількісних показників довговічності відносяться також середній ресурс, медіанний ресурс і середній термін служби.

Середній ресурс:

$$T_{p\text{ cp}} = \int_0^{\infty} \tau f(\tau) d\tau \quad (4.31)$$

або:

$$T_{p\text{ cp}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{pi}, \quad (4.32)$$

де T_{pi} - ресурс i -го компонента.

Медіанний ресурс $T_{p\text{ м}}$ визначають з рівняння

$$\int_0^{T_{p\text{ м}}} f(\tau) d\tau = 0.5. \quad (4.33)$$

Середній термін служби

$$T_{\text{сл ср}} = \int_0^{\infty} \tau f_{\text{сл}}(\tau) d\tau \quad (4.34)$$

де $f_{\text{сл}}(\tau)$ – щільність розподілу терміну служби.

В кінцевій сукупності (партії) деталей

$$T_{\text{сл ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{\text{сли}} \quad (4.35)$$

де $T_{\text{сли}}$ – термін служби i -ї деталі.

Гамма-відсотки і медіанний термін служби можна визначити по формулам 1.20 та 1.21, підставив замість $T_{p\gamma}$ $T_{\text{сл } \gamma}$.

Кількісний показник ремонтпридатності – імовірність відновлення в заданий час

$$P_{\text{в}}(t) = \int_0^t f_{\text{в}}(\tau) d\tau \quad (4.36)$$

де $f_{\text{в}}(\tau)$ – щільність розподілу часу відновлення.

Вираз для інтенсивності відновлення $\mu(t)$ і середнього часу відновлення $T_{\text{в}}$ аналогічні виразам

$$\mu(t) = \frac{f_{\text{в}}(t)}{F(t)}, \quad (4.37)$$

$$P_{\text{в}}(t) = \int_0^t \tau f_{\text{в}}(\tau) d\tau \quad (4.38)$$

або

$$T_{\text{в}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_{\text{ви}}, \quad (4.39)$$

де T_{bi} – час відновлення i -го виробу з сукупності однотипних виробів.

Показники зберігаємості при відомій щільності розподілу терміну збереження f_c визначають наступним чином. Середній термін збереження знаходять з виразу

$$T_{c\text{cp}} = \int_0^t \tau f_c(\tau) d\tau, \quad (4.40)$$

де γ – відсотковий термін збереження $T_{c\gamma}$ – з рівняння

$$\int_{T_{c\gamma}}^{\infty} f_c(\tau) d\tau = \frac{\gamma}{100} \quad (4.41)$$

і медіанний термін збереження $T_{c\text{м}}$ – з рівняння

$$\int_0^{T_{c\text{м}}} f_c(\tau) d\tau = 0.5. \quad (4.42)$$

Якщо при експлуатації в встановленому режимі періоди роботи відновлення після відмов чергуються, тоді коефіцієнт готовності

$$K_{\Gamma} = \frac{T}{T+T_B}. \quad (4.43)$$

Якщо порядок обслуговування відрізняється від вказаного, в виразі 1.36 повинно бути виведені відповідні параметри. Наприклад, замість напрацювання на відмову T , може фігурувати ремонтний ресурс $T_{p\text{м}}$.

Коефіцієнт технічного використання $K_{\Gamma\text{в}}$ визначають за формулою

$$K_{\Gamma\text{в}} = \frac{t_{\text{сум}}}{t_{\text{сум}} + t_{\text{рем}} + t_{\text{обсл}}}, \quad (4.44)$$

де $t_{\text{сум}}$, $t_{\text{рем}}$ та $t_{\text{обсл}}$ – відповідні сумарні величини напрацювання, простоїв та ремонт і технічне обслуговування.

Імовірність безвідмовного функціонування при виконанні очікуваного завдання

$$P_{0,3} = K_{\Gamma} P(t). \quad (4.45)$$

Визначення цього показника приведено для окремого випадку, коли імовірність безвідмовної роботи $P(t)$ за час t не залежить від моменту початку роботи. В загальному випадку показник $P_{0,3}$ визначають з урахуванням стратегії обслуговування деталі при експлуатації. Приведені показники надійності є основними стандартизованими параметрами.

4.3 Результати експлуатаційних випробувань відновлених фрикційних клинів з використанням комплексної технології

Для дослідження параметрів зносу та положення фрикційного клину відносно положення надресорної балки візка вагону (завищення), що відбувається в процесі експлуатації вагону із-за зносу вертикальної та похилої площин тертя фрикційного клину та похилої площини надресорної балки, при проведенні деповського ремонту вагонів № 62449223 ДР 429 22.11.2018 та № 62649132 ДР 429 07.11.2018 власності ТОВ «Ф.М.С. ГРУП», за попереднім письмовим погодженням з власником вагонів, представниками служби вагонного господарства регіональної філії «Південна залізниця» та представниками апарату безпеки руху поїздів та автотранспорту були встановлені дослідні фрикційні клини, відновлені за технологією окислегування. При цьому було встановлено контроль за даними вагонами при проходженні ними гарантійних ділянок обслуговування всіх експлуатаційних вагонних депо регіональної філії «Південна залізниця» в частині проведення вимірів параметру «завищення» фрикційних клинів відносно положення

надресорної балки у візку, який дозволяє встановити ступень зносу фрикційного клину без розбирання візка вагону для проведення вимірів фактичного зносу площин тертя фрикційного клину. Таким чином, на підставі експлуатаційних характеристик візка вагону було здійснено контроль ступеню зносу площин тертя дослідних фрикційних клинів в залежності від термінів експлуатації вагонів. Для проведення експлуатаційних випробувань були обрані вагони з максимально інтенсивним показником безперервної експлуатації, насамперед було обрано род вагона – напіввагон, як такий, що користується найбільшим попитом для перевезення вантажів серед інших родів рухомого складу, а по-друге для встановлення дослідних клинів обирались саме вагони власності промислових підприємств у порівнянні з вагонами власності Укрзалізниці, з причини того, що власник вагонів з метою скорочення неприбуткових холостих пробігів, дбає про максимальну інтенсивність експлуатації власних вагонів.

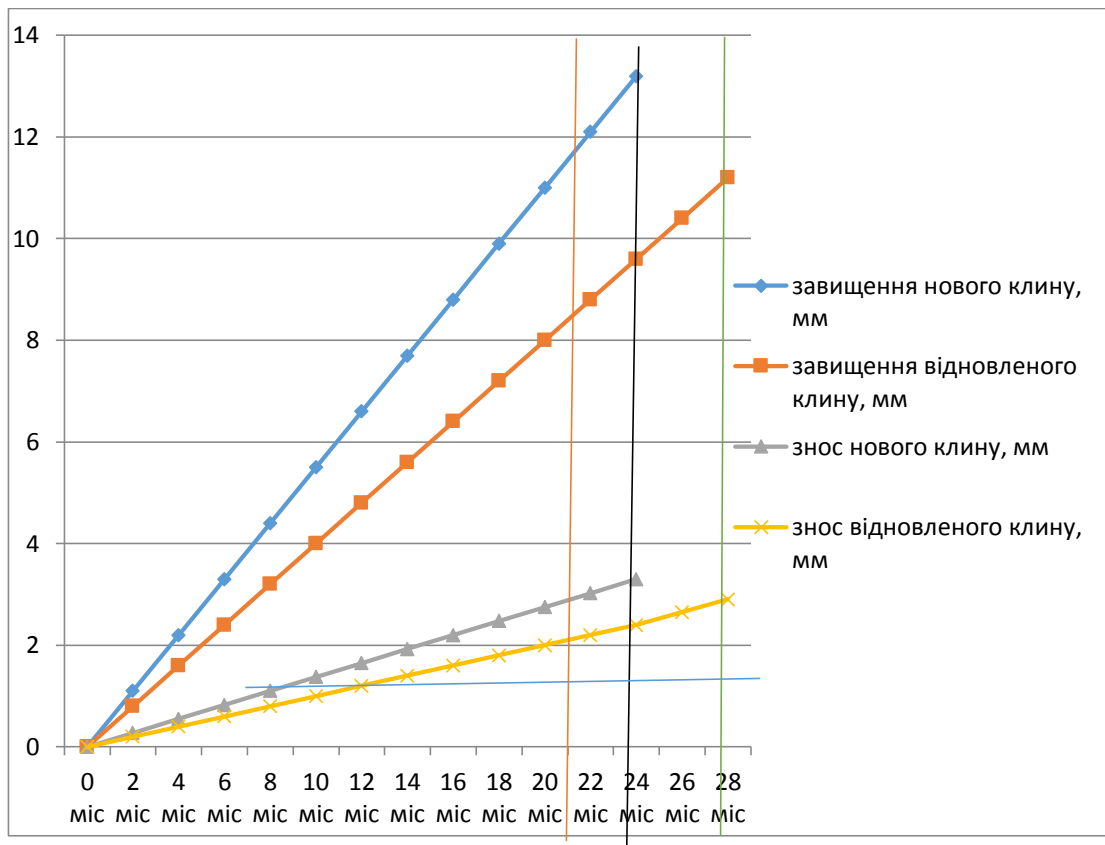


Рисунок 4.3 – Залежність зносу дослідних зразків у порівнянні з новими

Залежність зносу дослідних зразків (відновлених фрикційних клинів) у порівнянні зі зносом нових клинів, вироблених з чавуну марки СЧ35 за однаковий період їх експлуатації показано на рис. 4.3.

Наряду зі спостереженнями в експлуатації за вагонами з встановленими дослідними зразками фрикційних клинів, було організовано спостереження за вагонами інвентарного парку «Укрзалізниці», при деповському ремонті яких були встановлені звичайні нові фрикційні клини, виготовлені ТОВ «Ніжинський механічний завод».

Мікроструктура чавуну вилівка клину фрикційного має металеву основу з рівномірно розподіленими включеннями пластинчатого графіту. Параметри та позначення структури наведені в таблиці 5

Експлуатаційні випробування показали, що навіть при менш інтенсивній експлуатації вагонів інвентарного парку «Укрзалізниці» зі встановленими новими фрикційними клинами, знос площин тертя цих клинів був більший на 37.5% у порівнянні зі зносом площин тертя дослідних клинів, відновлених способом окислегування.

Таблиця 4 – Мікроструктура чавуну

Назва структурної складової	Параметр	Умовне позначення
Графіт	Форма включень	ПГф1, ПГф2, ПГф4
	Розмір включень	Від ПГд15 до ПГд180
	Розподіл включень	Від ПГр1 до ПГр3
Металева основа	Вид структури: ферит	Ф
	перліт пластинчатий	Пт1
	перліт зернистий	Пт2
	Дисперсність пластинчатого перліту	Від ПД 0,3 до ПД 1,6
	Вміст перліту	Від П до П70

4.4 Висновки до четвертого розділу

1. При забезпеченні якості функціонування клину необхідно дотримуватися наступним вимогам: функціонування по сукупності показників якості, їх повноту та деталізацію. Повнота показників якості характеризує рівень охоплення керуючих параметрів, які суттєво впливають на функціонування колеса.

2. Результати експлуатаційних випробувань виявили, що зносостійкість відновлених фрикційних клинів перед вихідними зразками перевищує в 2 - 2,5 рази.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВИКОРИСТАННЯ ІНОВАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВІДНОВЛЕННЯ

5.1 Розробка технологічного процесу відновлення фрикційних клинів вантажних вагонів з урахуванням інноваційної технології

Раціональна розробка технологічних процесів відновлення конкретних деталей визначається головним чином вибору способу, який забезпечує найбільшу довговічність деталі при найменших витратах за їх відновлення. В наш час ремонтні роботи підприємства мають значну кількість способів відновлення деталей, які застосовують для усунення різних дефектів (знос, механічні пошкодження, тріщини та інші). Для відновлення однієї і тієї ж деталі придатні декілька способів, які часто бувають нерівноцінні по своїм техніко-економічним показникам. Тому обґрунтування вибору оптимального способу відновлення деталі або групи деталей є важливою та складною задачею, яку треба вирішувати в комплексі технічних, економічних та організаційних питань.

Вибору способу відновлення деталей посвячені роботи багатьох відомих вчених В.І. Казарцева, В.А. Щадричева, М.А. Масино, І.С. Левитського, В.М. Кряжакова, В.Л. Воловика, В.І. Черноіванова та ін.

Перед тим, як обирати раціональний спосіб відновлення, необхідно вирішити питання о доцільності відновлення деталей того чи іншого найменування. При цьому велике значення має якісне проведення дефектувальних робіт, вмістом яких є контроль та визначення технічного стану деталей, їх сортування по групам: годні, негодні та які підлягають відновленню. По результатам контролю-сортування складають дефектні відомості, після статичної обробки котрих вираховують коефіцієнти придатності K_{Γ} , відновлення $K_{\text{В}}$ та змінності $K_{\text{СМ}}$:

$$K_{\Gamma} = n_{\Gamma}/N; K_{B} = n_{B}/N; K_{CM} = n_{CM}/N, \quad (5.1)$$

де n_{Γ} , n_{B} , n_{CM} – відповідне число однойменних годних деталей, які потребують відновлення, та негодних деталей;

N – число однойменних деталей всієї розглянутої партії.

Зібрані матеріали по дефекації та сортуванню сприяють розробці більш досконалих технологічних процесів, які впливають на якість та надійність відремонтованої машини, а також мають важливу роль при проектуванні спеціалізованих цехів, підприємств.

Для вибору раціонального способу відновлення деталей доцільно користуватися методикою, яку розробив В.А. Шадрічев, та уточнив М.А. Масіно, яка основана на послідовному розгляді відновлення деталей згідно трьом критеріям: застосовність, довговічність, техніко-економічна ефективність.

Критерій застосовність, або технологічний критерій, дозволяє із різних способів відновлення вибрати той, який найбільш повно задовольняє вимогам відновлення даної деталі. Цей критерій описується наступною функцією:

$$K_{T} = f (M_{д}; \Phi_{д}; D_{д}; И_{д}; H_{д}; \sum_{i=1}^m T_i), \quad (5.2)$$

де $M_{д}$ – матеріал деталі;

$\Phi_{д}; D_{д}$ – форма та діаметр відновлювальної поверхні деталі;

$И_{д}$ – знос деталі;

$H_{д}$ – величина та характер навантаження, яку сприймає деталь;

$\sum_{i=1}^m T_i$ – сума технологічних особливостей способу, який визначає область його раціонального застосування.

Критерій застосування не виражається числом, а є попереднім критерієм. Він дає змогу визначити способи, за допомогою яких групи деталей можуть бути відновленими, тобто дозволяє класифікувати деталі за способом їх відновлення.

За допомогою критерія довговічності, чисельно визначається коефіцієнтом довговічності K_d із числа способів, які відповідають критерію застосування, обирають способи, відновлення якими забезпечує подальший міжремонтний строк служби деталей:

$$K_d = f(K_z; K_v; K_{sc}), \quad (5.3)$$

де K_z – коефіцієнт зносостійкості;

K_v – коефіцієнт витривалості;

K_{sc} – коефіцієнт зчеплення.

Коефіцієнти K_z , K_v визначають в результаті проведення лабораторних випробувань (на машинах тертя, машинах для випробування на втому) на зразках, які відповідають за своїми параметрами новим або відновленим деталям. Для визначення K_{sc} найбільш широке застосування отримав метод відриву штифта.

При відновленні деталей наплавленням завжди забезпечується достатня міцність зчеплення, отже в залежності від умов роботи деталі K_d може бути функцією одного або двох аргументів. В ремонтній практиці пари тертя можуть сполучатися в різних поєднаннях: відновлені деталі з відновленими; відновлені деталі з новими; відновлені деталі з деталями, які були в експлуатації, але з допустимим зносом; нові деталі з деталями з допустимим зносом та інші.

Найбільшу інтенсивність зносу мають з'єднання відновлених або нових деталей, які працюють у парі з деталями з допустимим зносом. Ресурс таких

з'єднань знижується на 11-56,4%. Тому техніко-економічні обґрунтування для вибору оптимального способу відновлення слід давати не для однієї зношеної деталі, а для пар, які труться, тобто для з'єднань.

Для з'єднання коефіцієнт довговічності K_D виражається як відношення повного ресурсу відновленої деталі $T_{П.В.}$ до ресурсу нової T_H . У роботі K_D називають коефіцієнтом відновлення ресурсу з'єднання K_C , що найбільш повно відображає характер його значення:

$$K_D = K_C = \frac{T_{П.В.}}{T_H}. \quad (5.4)$$

Для оцінки ефективності відновлення деталей з'єднання найбільш раціонально використовувати наступну формулу:

$$\frac{[(C_{В.В} + EK_{уд}) + (C_{В.П} + EK_{уд})]}{K_C T_H} \leq \frac{(Ц_{Н.В} + Ц_{Н.П})}{T_H}, \quad (5.5)$$

де $C_{В.В}$, $C_{В.П}$ – собівартість відновлення відповідного фрикційного клину, грн.;

$Ц_{Н.В}$, $Ц_{Н.П}$ – ціна відповідного нового фрикційного клину, грн.;

E – нормативний коефіцієнт ефективності, який дорівнює 0.15;

$K_{уд}$ – питомі капітальні вкладення на відновлення, грн/шт.

Відобразимо коефіцієнт відновлення ресурсу відновлення через характеристики довговічності – швидкість зносу та зносостійкість;

$$K_C = \frac{T_{П.В.}}{T_H} = \frac{\left(\frac{I_{ПР.В.}}{D_{Д.В.}}\right)}{\left(\frac{I_{ПР.Н.}}{D_{Д.Н.}}\right)} = \frac{v_{Д.Н.}}{v_{Д.В.}}, \quad (5.6)$$

де $I_{ПР.В.}$, $I_{ПР.Н.}$ – гранично допустимий знос відповідно відновленої та нової деталі, зазвичай приймають $I_{ПР.В.} = I_{ПР.Н.}$;

$v_{д.н}$ $v_{д.в}$ – швидкість зносу нової та відновленої деталі.

Підставляємо значення K_C та T_H у формулу (1), виразимо її в остаточному виді:

$$\frac{[(C_{в.в}+EK_{уд})+(C_{в.п}+EK_{уд})]}{\frac{I_{пр.в}}{v_{д.в}}} \leq \frac{(C_{н.в}+C_{н.п})}{\frac{I_{пр.н}}{v_{д.н}}}. \quad (5.7)$$

Для того, щоб вирішити питання вибору способу відновлення, раціонального для конкретної деталі, необхідно знайти числове значення техніко-економічного критерію. Для цього слід розрахувати собівартість відновлення деталі C_B , котра враховує сумарні затрати на відновлення деталі:

$$C_B = C_{п} + C_{н.п} + C_M, \quad (5.8)$$

де $C_{п}$ – витрати на підготовку деталі до нанесення покриття, грн.;

$C_{н.п}$ – витрати на нанесення покриття, грн.;

C_M – витрати на механічну обробку деталі, грн.

Розкриваючи зміст елементів затрат, які складають собівартість відновлення деталі C_B , отримаємо:

$$C_B = C'_H \left[1 + \frac{H_1+H_2}{100} \right] + C'_{H.P} \left[1 + \frac{(H'_1+H'_2)}{100} \right] + C'_M \left[1 + \frac{H_1+H_2}{100} \right] + M, \quad (5.9)$$

де C'_H , $C'_{H.P}$, C'_M - основна та додаткова заробітна плата робітників, зайнятих відповідно підготуванням деталі, нанесенням покриття та механічною обробкою, грн.;

H_1, H_1' - цехові витрати по підготовці, механічній обробці та нанесенню покриття, %;

H_2, H_2' - загальнозаводські витрати відповідно по підготовці, механічній обробці деталі та нанесенню покриття, %;

M – витрати на матеріали для нанесення покриття, грн.

Вибір раціонального способу по приведеним критеріям характеризує в основному якісну та техніко-економічну сторони, які стосуються відновлення конкретних деталей з урахуванням умов їх експлуатації, геометричних, фізико-математичних, конструкційно-технологічних особливостей. В той же час повна собівартість залежить від річної програми відновлення та витрат на транспортування ремонтного фонду. Отже, при кінцевому виборі способу відновлення деталей для ремонтного підприємства, який обслуговує район, область, слід враховувати ці фактори. Для їх визначення запропонована методика, яку розробив професор І.С. Левитський [113] та доповнена професором Е.Л. Воловиком. В цій методиці собівартість відновлення визначається в залежності від річної програми та з урахуванням транспортних витрат. Оптимальна річна програма відновлення деталей відповідає найменша повна собівартість:

$$C_{\text{ПОЛ}} = C_{\text{В1}} + C_{\text{ТР}}, \quad (5.10)$$

де $C_{\text{В1}}$ – собівартість відновлення деталі без транспортних витрат, грн.;

$C_{\text{ТР}}$ – транспортні витрати, які припадають на одну деталь, грн.

Собівартість відновлення деталі $C_{\text{В1}}$ для різних програм без врахування транспортних витрат:

$$C_{\text{В1}} = \left(\frac{A}{W_B} + B \right) C_1, \quad (5.11)$$

де C_1 – собівартість відновлення деталі без транспортних витрат при програмі, прийнятою за вихідну, грн.;

W_B – програма відновлення, шт.;

B – коефіцієнт, який враховує частину витрат, які не змінюються зі зміною програми відновлення деталей;

A – коефіцієнт, який враховує частину витрат, які не змінюються зі зміною програми відновлення деталей; числові значення A та B визначаються по способу найменших квадратів

Транспортні витрати, які припадають на одну деталь:

$$C_{TP} = R_{CP} Q a \left(1 + \frac{1}{K_{B,\Gamma}} \right), \quad (5.12)$$

де R_{CP} – середній радіус перевезень, км;

Q – маса деталі, т;

a – коефіцієнт, який характеризує транспортні витрати, грн/(т*км);

$K_{B,\Gamma}$ – коефіцієнт виходу річних деталей в процесі відновлення.

$$K_{B,\Gamma} = \frac{N_{\text{ВІДН.}}}{N_B}, \quad (5.13)$$

де $N_{\text{ВІДН.}}$ – число деталей, визнаних після відновлення придатними, шт.;

N_B – число деталей, які потребують відновлення.

Середній радіус перевезень:

$$R_{CP} = \frac{2}{3} \left(\sqrt{S/\pi} \cdot n_d n_t \right), \quad (5.14)$$

де S – площа зони обслуговування, км²;

n_d – коефіцієнт, який враховує мережу доріг

n_T – поправочний коефіцієнт на конфігурацію теорії.

Площина зони обслуговування:

$$S = W_B / (K_{B.Г} \cdot K_K) \quad (5.15)$$

де K_K – коефіцієнт концентрації ремонтного фонду деталей, шт/км².

$$K_K = \frac{\Phi_P}{S}. \quad (5.16)$$

де Φ_P – об'єм ремонтного фонду деталей.

$$\Phi_P = \frac{A_B}{K_{B.Г}}, \quad (5.17)$$

де A_B – можливий річний об'єм деталей кожного найменування, шт.

$$A_B = n_P \cdot N_P \cdot K_B, \quad (5.18)$$

де N_P – число проведених ремонтів машин в рік;

n_P – число деталей одного найменування на одній машині.

$$n_P = n_K + n_T \cdot K_{OX}, \quad (5.19)$$

де n_K – число капітальних ремонтів машин даної марки;

n_T – число поточних ремонтів машини тої ж марки;

K_{OX} – коефіцієнт охоплення ремонтом агрегатів, на яких встановлені данні деталі, від загального розрахункового числа поточних ремонтів машин

$$K_B = \frac{K_{B,\Gamma} K_\Gamma}{1 + K_\Gamma^m K_B^m}, \quad (5.20)$$

де m – кратність відновлення деталей.

В розгорнутому вигляді повна собівартість відновлення деталі в залежності від програми та транспортних витрат буде мати вигляд

$$C_{\text{пол}} = \left(\frac{A}{W_B} + B \right) C_1 + \left(1 + \frac{1}{K_{B,\Gamma}} \right) \cdot Q a \frac{2}{3} \sqrt{W_B (\pi K_{B,\Gamma} K_K)} \cdot n_d n_T. \quad (5.21)$$

Таким чином, для вибору раціонального способу відновлення необхідно враховувати комплекс взаємозв'язаних факторів, які визначають доцільність і економічну ефективність застосування. Так, застосування нової технології реновації передбачає підвищення зносостійкості робочих поверхонь фрикційних клинів за рахунок поверхневого зміцнення та нанесення зносостійкого антифрикційного покриття в одному технологічному циклі. Використання нового способу відновлення дозволяє збільшити міжремонтний ресурс фрикційних клинів в порівнянні з широко використовуваною технологією індукційного загартування, при цьому технологічний процес відновлення не має додаткових операцій.

5.2 Розрахунок економічної ефективності відновлення чавунних деталей вагонів

Економічний ефект відновлення фрикційного клину, визначаємо з підставлення приведених затрат на відновлення за розробленою технологією та вартості нового фрикційного клину [119-121]:

$$E = (V_{\text{нов.}} - V_{\text{віднов.}} \cdot \frac{P_{\text{віднов.}}}{P_{\text{баз.}}}), \quad (5.22)$$

де $V_{\text{нов.}}$ – вартість нового фрикційного клину, $V_{\text{нов.}}$ = млн. грн.;

$V_{\text{віднов.}}$ – собівартість відновлення деталі по розробленому способу, грн;

$P_{\text{віднов.}}$, $P_{\text{баз.}}$ – середні міжремонтні ресурси деталей, відновленим розробленим способом ті базовим (нова деталь);

Проведені лабораторні і експлуатаційні дослідження показали, що прогнозуваний міжремонтний ресурс відновлених за новою технологією фрикційних клинів вище, ніж ресурс клинів відновлених за технологією, прийняту за базову. Підвищення ресурсу деталі проходить за рахунок підвищення зносостійкості клину в 1,5 – 2 рази.

Собівартість відновлених за передбачуваної технології визначається за формулою:

$$C_{\text{вінов.}} = ЗП + V_{\text{м}} + V_{\text{вр.}} + З_{\text{пит.}}, \quad (5.23)$$

де $ЗП$ – заробітна платня робочих, грн.;

$V_{\text{м}}$ – вартість матеріалів, грн.;

$V_{\text{вр.}}$ – виробничі витрати, грн.;

$З_{\text{пит.}}$ – питомі витрати на капітальні вклади, грн.

Заробітна плата виробничих працівників визначається за формулою:

$$ЗП = (ЗП_{\text{год.}} + C_{\text{под.відр.}}) \cdot t_{\text{віднов.}} \quad (5.24)$$

де $ЗП_{\text{год.}}$ – годинна тарифна ставка робітника 6-го розряду, $ЗП_{\text{год.}} = 22$ грн/год;
 $C_{\text{под.відр.}}$ – сума податкових відчислень на заробітну плату, $C_{\text{под.відр.}} = 4,3$ грн.;
 $t_{\text{віднов.}}$ – час, затрачений на відновлення клину, визначається на основі хронометражу, г.

Час, витрачений на відновлення:

$$t_{\text{віднов.}} = t_{\text{під.}} + t_{\text{напл.}} + t_{\text{відп.}} + t_{\text{охол.}} + t_{\text{шліф.ч.}} + t_{\text{шліф.б.}} + t_{\text{терм.обр.}} + t_{\text{нанес.покр.}} \quad (5.25)$$

де $t_{\text{під.}}$ – час, витрачений на підігрів фрикційного клину, $t_{\text{під.}} = 1$ год.;

$t_{\text{напл.}}$ – час, витрачений на наплавлення фрикційного клину, $t_{\text{напл.}} = 4,5$ год.;

$t_{\text{відп.}}$ – час, витрачений на відпуск, $t_{\text{відп.}} = 1$ год.;

$t_{\text{охол.}}$ – час, витрачений на охолодження клину до температури навколишнього середовища, $t_{\text{охол.}} = 2$ год.;

$t_{\text{шліф.ч.}}$ – час, витрачений на чорне шліфування, $t_{\text{шліф.ч.}} = 1,5$ год.;

$t_{\text{шліф.б.}}$ – час, витрачений на чисте шліфування, $t_{\text{шліф.б.}} = 0,5$ год.;

$t_{\text{терм.обр.}}$ – час, витрачений на процес термічної обробки (ТВЧ), $t_{\text{терм.обр.}} = 0,25$ год.;

$t_{\text{нанес.покр.}}$ – час, витрачений на витримку в розчині лігносульфоната, $t_{\text{нанес.покр.}} = 0,05$ год.

Вартість матеріалів визначається за залежністю

$$C_M = N_{\text{напл.мат.}} \cdot C_{\text{напл.мат.}} + N_{\text{шл.кол.чорн.}} \cdot C_{\text{шл.кол.чорн.}} + N_{\text{шл.кол.чист.}} \cdot C_{\text{шл.кол.чист.}} + N_{\text{ріж.інстр.}} \cdot C_{\text{ріж.інтр.}} + N_{\text{мат.покр.}} \cdot C_{\text{мат.покр.}} \quad (5.26)$$

де $N_{\text{напл.мат.}}$ – норма витрати наплавних матеріалів на один фрикційний клин,

$N_{\text{напл.мат.}} = 6,2$ кг;

$C_{\text{напл.мат.}}$ – вартість одного кілограму наплавних матеріалів на один фрикційний клин, $C_{\text{напл.мат.}} = 250$ грн.;

$N_{\text{шл.кол.чорн.}}$ – норма витрати шліфувального кола на чорнове шліфування одного фрикційного клину, $N_{\text{шл.кол.чорн.}} = 0,2$ %;

$C_{\text{шл.кол.чорн.}}$ – вартість шліфувального кола, $C_{\text{шл.кол.чорн.}} = 200$ грн.;

$N_{\text{шл.кол.чист.}}$ – норма витрати шліфувального кола на чистове шліфування одного фрикційного клину, $N_{\text{шл.кол.чист.}} = 0,15$ %;

$C_{\text{шл.кол.чист.}}$ – вартість шліфувального кола, $C_{\text{шл.кол.чист.}} = 150$ грн.;

$N_{\text{ріж.інстр.}}$ – норма витрати різця для обробки розплавлених слоїв, $N_{\text{ріж.інстр.}} = 0,1$ %;

$C_{\text{ріж.інтр.}}$ – вартість різця, $C_{\text{ріж.інтр.}} = 110$ грн.;

$N_{\text{мат.покр.}}$ – норма витрат розчину солей лігносульфонату на один фрикційний клин, $N_{\text{мат.покр.}} = 0,01$ %;

$C_{\text{мат.покр.}}$ – вартість водяного розчину лігносульфонату для нанесення покриття за річною програмою, $C_{\text{мат.покр.}} = 1000$ грн.

Виробничі витрати визначаються за формулою:

$$C_{\text{пр.}} = C_{\text{ел.}} + C_{\text{ум.}} + (ЗП_{\text{год.}} + C_{\text{нал.от.}}) \cdot t_{\text{ТО}}, \quad (5.27)$$

де $C_{\text{ел.}}$ – вартість витраченої електроенергії, грн.;

$C_{\text{ум.}}$ – витрати на опалення, водокористування та освітлення, грн.;

t_{TO} – час, витрачений на технічне обслуговування та настройку обладнання,
 $t_{TO} = 0,25$ год.

Вартість витраченої електроенергії складається з наступних складових:

$$C_{ел.} = (W_{ел.стан.} \cdot t_{напл.} + W_{під.} \cdot t_{під.} + (W_{ел.} (t_{шл.чор.} + t_{шл.чист.}) + W_{втом.} \cdot t_{терм.обр.} + W_{н.} \cdot t_{от.}) \cdot T_{ел.}, \quad (5.28)$$

де $W_{ел.стан.}$ – потужність наплавного верстата, 20 кВт;

$W_{під.}$ – потужність, яка використовується для підігріву перед наплавленням, 12 кВт;

$W_{н.}$ – потужність, яка використовується для підігріву перед правкою, 15 кВт;

$W_{ел.}$ – потужність шліфувального верстата, 15 кВт;

$W_{втом.}$ – потужність, встановлена для термічної обробки, 60 кВт;

$T_{ел.}$ – тариф на споживання електричної енергії, $T_{ел.} = 1,66$ грн.

Витрати на опалення, водокористування та освітлення визначаємо за формулою:

$$C_{ум.} = (O_{прим.} \cdot T_{опал.}) + C_{вод.} + (W_{осв.} \cdot T_{ел.} \cdot t_{осв.}), \quad (5.29)$$

де $O_{прим.}$ – об'єм приміщення, необхідного під ділянку відновлення,

$O_{прим.} = 200$ м³;

$T_{опал.}$ – середньорічний тариф на опалення, $T_{опал.} = 35$ грн/м²;

$C_{вод.}$ – вартість водокористування при витраті 0,42 м³, $C_{вод.} = 4,62$ грн.;

$W_{осв.}$ – потужність джерел освітлення, $W_{осв.} = 1,2$ кВт*год.;

$t_{осв.}$ – час роботи джерел освітлення в рік, $t_{осв.} = 1240$ год.

Питомі витрати на капітальні вклади розраховуються виходячи з необхідності необхідного обладнання для відновлення:

$$Z_{уд.} = E \cdot C_{шл.} + C_{напл.ст.} + C_{уст.т.об.} + C_{стр.} \cdot N_{ном.}, \quad (5.30)$$

де E – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, $E = 0,15$;

$C_{шл.}$ – вартість верстату для обробки різанням та шліфуванням, $C_{шл.} = 230$ тис. грн.;

$C_{напл.ст.}$ – вартість наплавочної установки, $C_{напл.ст.} = 150$ тис. грн.;

$C_{уст.т.об.}$ – вартість установки для індукційного гартування, $C_{уст.т.об.} = 200$ тис. грн.;

$C_{стр.}$ – вартість будівельно-монтажних робіт, $C_{стр.} = 250$ грн/м².

В табл. 5.1 приведені економічні показники розробленої технології відновлення фрикційних клинів. Розрахунки виконані, виходячи з цін на 2018 рік.

Таблиця 5.1 – Кількісні показники оцінки економічної ефективності розробленої технології відновлення

Показники	Позначення	Значення
Вартість нової деталі, грн.	Снов.	700
Собівартість відновлення, грн.	Свід.	137,8
Міжремонтний пробіг відновлених деталей, тис.км	Рвід.	57
Міжремонтний пробіг нових деталей, тис.км	Рнов.	29
Річний економічний ефект, грн.	E	281,1
Економічний ефект на вагон, грн.		2248,8
Економічний ефект виходячи з середньомісячної програми ДР одного ВЧД, грн.		337520

Економічний ефект від впровадження нової комплексної технології забезпечується за рахунок підвищення експлуатаційних властивостей деталі, підвищення міжремонтного ресурсу, низької собівартості матеріалів

розробленої технології, а також за рахунок того, що технологічний процес реновації не має додаткових операцій.

5.3 Висновки до п'ятого розділу

1. Встановлено, що для вибору раціонального способу відновлення фрикційних клинів вантажних вагонів необхідно враховувати комплекс взаємозв'язаних факторів, які визначають доцільність та економічну ефективність використання. На основі проведеного аналізу розроблений технологічний процес нової комплексної технології відновлення.

2. Визначено, що технологічний процес по застосуванню нової технології відновлення не передбачає введення додаткових операцій. За рахунок покращення експлуатаційних характеристик фрикційного клину збільшується його міжремонтний період в порівнянні з використанням широко застосованого способу індуктивного загартування.

3. Визначено, що річний економічний ефект від відновлення одного фрикційного клину вантажного візка вагону за новою технологією склав близько 281,1 грн.

4. Економічний ефект від впровадження нового способу відновлення в виробництві забезпечується за рахунок підвищення експлуатаційних властивостей фрикційного клину, збільшенні часу міжремонтних періодів, низькою собівартістю матеріалів розробленої технології, а також за рахунок того, що технологічний процес не має в собі додаткових операцій.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено актуальне наукове завдання розроблення технології ремонту фрикційного клина візків вантажних вагонів шляхом нанесення перехідного шару перед відновленням геометричних розмірів, що дозволить підвищити зносостійкість і в подальшому ремонтпридатність вантажного вагона. В результаті виконаної роботи одержані наступні основні результати:

1. На основі досліджень умов роботи, причин руйнування деталей пружинно-фрикційного комплексу візка групового вагону, а також способів і методів відновлення їх працездатності встановлено, що на сьогодні не існує технології відновлення чавунних клинів, яка відповідає б заданому рівню експлуатаційних характеристик з прийнятою технологічністю, ремонтпридатністю і економічністю процесу.

2. На основі вивчення особливостей зносу і руйнування встановлено, що зношені чавунні деталі і не відновлюються, в зв'язку з відсутністю технології ремонту з відновленням не тільки геометричних розмірів, але й структурно-фазового стану. Запропоновано нову технологію, при якій процес відновлення зношених чавунних деталей пропонується проводити в одному технологічному циклі з процесом формування покриття, що виконує функцію захисту структурно-фазового стану чавуну, як середовище для формування покриття пропонується використовувати водяний розчин солей, які містять у своєму складі мідь.

3. Розроблено оптимізаційну модель технологічного процесу, спираючись на принцип суперпозиції, що дозволяє одержати раціональні параметри нової комплексної технології відновлення, а саме температуру нагріву деталі, час витримки її в розчині та його концентрацію. Визначені раціональні параметри нового технологічного процесу відновлення і встановлено, що наявність перехідного шару перед відновленням геометричних параметрів забезпечує адгезію відновленого шару при

температурі 550-600 градусів за Цельсієм, концентрації водяного розчину солі міді і витримці 1-2 хвилини. Одержане покриття характеризується товщиною 60 мкм. Техніко-економічний аналіз нового способу відновлення підтверджує його ефективність і дає можливість відновлювати зношені чавунні деталі фрикційного вузла в умовах депо

Поведений аналіз роботи пружинно-фрикційного комплексу візка вантажного вагону показав, що має місце інтенсивний знос чавунних деталей. Введення кромки контакту при розрахунках дозволяє виявити дійсне навантаження розглядуваного фрикційного вузла і визначити характер розподілу питомого навантаження на поверхню контакту за величиною кромкових зусиль. Введення обпирання надресорної балки на спеціальну грань клину не призведе до додатковому зносу, адже таке спирання фактично реалізується при збиранні візка. Використовуючи метод оцінки досліджуваного параметра (швидкості зносу) базових елементів вагона з урахуванням впливу експлуатаційних факторів, ремонтні підприємства можуть визначати оптимальні терміни заміни базових елементів для своїх приписних вагонів.

4. Для проведення експериментальних досліджень по розробці нової технології відновлення фрикційних клинів була завчасно створена програма досліджень и розроблений алгоритм проектування нової технології відновлення. На основі розробленого системного підходу до вибору технології відновлення встановлено, що багаторівневий підхід дозволяє спростити складну задачу шляхом декомпозиції її на кілька більш простих та одночасно зменшити число аналізуючих варіантів.

Визначено раціональні параметри нового технологічного процесу відновлення та встановлено, що наявність перехідного шару перед відновленням геометричних параметрів забезпечує адгезію відновленого шару при температурі 750 – 780 0С, концентрації водяного розчину солі міді 85 % і терміну витримки 3 – 4 хвилини. Одержане покриття характеризується

товщиною 55 мкм, твердістю в 60 – 64 HRC, шорсткістю Ra=0,6 – 0,65 мкм, що підтверджено величиною адгезії.

5. Адекватність розробленої моделі для визначення параметрів технологічного процесу підтверджено лабораторними та експлуатаційними випробуваннями. Спосіб модифікування поверхні окисилегування може бути рекомендований як один із способів хіміко-термічної обробки деталей із залізовуглецевих сплавів, які працюють в умовах тертя і зносу, з метою отримання у таких деталей поверхневих шарів з заданими експлуатаційними особливостями.

6. Визначено, що технологічний процес по застосуванню нової технології відновлення не передбачає введення додаткових операцій. За рахунок покращення експлуатаційних характеристик фрикційного клину збільшується його міжремонтний період за рахунок збільшення зносостійкості в 1,25 разів. У результаті експлуатаційних випробувань встановлено, що припустима величина зносу відновленого клина забезпечує проходження всього міжремонтного періоду вагона без вибраковування порівняно з експлуатацією нових чавунних клинів.

7. Техніко-економічний аналіз нового способу відновлення підтверджує його ефективність і дає можливість відновлювати зношені чавунні деталі фрикційного вузла в умовах депо, що дає економічний ефект на рівні близько 338 тис. грн одного вагоноремонтного підприємства АТ «Укрзалізниця».

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. Вип. 12. С. 6 – 9.
23. Глушко М. И. Работа пружинно-фрикционного комплекта тележки грузового вагона. *Вестник ВНИИЖТ*. 2004. Вип. 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. Вип. 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. Вип № 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. *MиТОМ*. 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., Fundaental 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. *Диссертация 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., Nischihara 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. Hauffe 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. *Диссертация 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., Вождаев 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 методи формування зносостійких шарів. Москва. Росія. *Машинобудівництво*. 1991.

Додаток А

Патенти





Додаток Б

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про
апробацію результатів дисертації

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. Тимофеев 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. Тимофеева 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.

Відомості про апробацію результатів дисертації

Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалені на таких конференціях:

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) (заочна участь);

18-та Міжнародна науково-технічна конференція «Якість, стандартизація, контроль: теорія і практика» (03 – 07 вересня 2018 р., м. Одеса) (очна участь);

International scientific and practical conference “Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects” (Italy May 2018) (заочна участь);

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) (заочна участь);

19-та Міжнародна науково-технічна конференція «Інженерія поверхні та реновація виробів» (20 – 24 травня 2019 р., м. Свалява, Закарпатська область) (очна участь).;

1-ша міжнародна науково-технічна конференція «Інтелектуальні транспортні технології» (24 – 30 січня 2020 р., м.Трускавець - Харків) (очна участь).

Додаток В
Акти впровадження



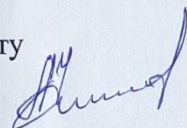
АКТ
про впровадження результатів дисертаційної роботи
Воскобойникова Дмитра Геннадійовича
«Розробка технології ремонту чавунних фрикційних клинів
візків вантажних вагонів»
у навчальному процесі
Українського державного університету залізничного транспорту

Основні результати дисертації Воскобойникова Д.Г., будуть використані у навчальному процесі Українського державного університету залізничного транспорту на кафедрі «Якість, стандартизація, сертифікація та технології виготовлення матеріалів», а саме:

1. У дисципліні «Технологія конструкційних матеріалів», в розділах «Обробка металів різанням» та «Зварювальне виробництво», буде введено підрозділ «Екологічно чисті технології одержання захисних покриттів на основі нових насичуючих середовищах».
2. У дисципліні «Матеріалознавство та організація технологічних процесів» розроблена нова лабораторна робота з використанням електродів нового складу.
3. У дисциплінах «Транспортна екологія» та «Неруйнуючі методи контролю якості» розроблений пакет прикладних задач при проведенні практичних занять з указаних дисциплін.

Дані розробки рекомендовано та впроваджено у навчальному процесі студентами механіко-енергетичного факультету спеціальностей Л,В, ВРС,ТЕ,МВТ, магістрів спеціальності ЯСС та студентами будівельного факультету спеціальності БКМ.

Декан механіко-енергетичного факультету
УкрДУЗТ, д.т.н., професор

 О.В.Устенко



АКЦІОНЕРНЕ ТОВАРИСТВО
«УКРАЇНСЬКА ЗАЛІЗНИЦЯ»
РЕГІОНАЛЬНА ФІЛІЯ «ПІВДЕННА ЗАЛІЗНИЦЯ»
ВИРОБНИЧИЙ ПІДРОЗДІЛ
«РЕМОНТНЕ ВАГОННЕ ДЕПО КУП'ЯНСЬК»
вул. Тополина, 36-в, м.Куп'янськ, смт.Куп'янськ-Вузловий, Харківська обл.,
63706
тел./факс: (05742) 7-22-83

15.01.2020

ВЧОР Куп'янськ Логоз/34

Довідка

про впровадження результатів дисертаційної роботи Воскобойникова Дмитра Геннадійовича «Підвищення зносостійкості та ресурсу деталей вузлів вагонів (фрикційних клинів) шляхом розробки інноваційних технологій їх відновлення»

Акт складено в тому, що згідно комплексу наукових та експлуатаційних досліджень, які проводилися науковцями Українського державного університету залізничного транспорту та співробітниками служби вагонного господарства регіональної філії «Південна залізниця» акціонерного товариства «Укрзалізниця» щодо розробленої інноваційної технології відновлення чавунних фрикційних клинів, дисертаційна робота Воскобойникова Д.Г. є частиною вищевідзначених досліджень.

Загальна оцінка розробок позитивна. По результатам випробувань визначено необхідність в подальшому використанні технології відновлення зношених поверхонь тертя фрикційних чавунних клинів при проведенні планових ремонтів вантажних вагонів.

В розробці підвищення зносостійкості та ресурсу деталей вузлів вагонів (фрикційних клинів) шляхом розробки інноваційних технологій їх відновлення, брав участь Воскобойников Д.Г. його наукові дослідження будуть використані при розробці технологічних процесів роботи підприємства.

Начальник виробничого підрозділу
«Вагонне депо Куп'янськ»
регіональної філії «Південна залізниця»
АТ «Укрзалізниця»



[Signature] О.Г.Жовтобрюх

Головний технолог виробничого
підрозділу «Вагонне депо Куп'янськ»
регіональної філії «Південна залізниця»
АТ «Укрзалізниця»

[Signature] А.П.Бондар