

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет залізничного транспорту

ВОСКОБОЙНИКОВ ДМИТРО ГЕННАДІЙОВИЧ



УДК 656.085.1:629.4.018

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

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі якості, стандартизація, сертифікація та технології виготовлення матеріалів Українського державного університету залізничного транспорту Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник** – доктор технічних наук, професор  
**Тимофєєва Ларіса Андріївна**,  
Український державний університет залізничного транспорту, кафедра якості, стандартизації, сертифікації та технології виготовлення матеріалів, завідувач кафедри.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Сапронова Світлана Юріївна**,  
Державний університет інфраструктури та технологій, кафедра вагонів та вагонного господарства, професор кафедри;

кандидат технічних наук, доцент  
**Рейдемейстер Олексій Геннадійович**,  
Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, кафедра вагонів та вагонного господарства, доцент кафедри.

Захист відбудеться «02» жовтня 2020 року об 13<sup>30</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 в Українському державному університеті залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

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

Автореферат розісланий « 31 » серпня 2020 року.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради

А. В. Прохорченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

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

Одна з цих вимог – безпека руху вантажних перевезень, що значною мірою залежать від надійності рухомого складу в умовах його інтенсивної експлуатації.

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

Для вантажного рухомого складу одним із відповідальних вузлів є чавунні візки вантажного вагона. Вони експлуатуються в складних умовах змінних навантажень. За статистичними даними, 50-70% випадків поломок візка припадають на дефекти фрикційних чавунних клинів, таких як задир, знос та утворення отворів. Передчасний знос фрикційного клина вище допустимих значень веде до значних витрат на ремонт або заміну фрикційних клинів, що у свою чергу збільшує час простою вагона в ремонті. У середньому відсоток вибракування фрикційних клинів через понаднормативний знос їхніх робочих поверхонь за один міжремонтний період вагона складає близько 90 % загальної кількості клинів, що надходять у ремонт.

На сьогодні існуюча технологія ремонту візків вантажних вагонів не передбачає відновлення чавунних фрикційних клинів у зв'язку з тим, що не існує технології реновації їхніх 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 і зносостійкість відновленого поверхневого шару.

Враховуючи вартість одного фрикційного клина візка вантажного вагона та збільшення терміну простою вагонів в очікуванні ремонту через несвоєчасну поставку 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, розроблення 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 і згідно з діючими програмами в період 2015-2020 років. Автор брав участь як виконавець 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 такі завдання дослідження:

- провести аналіз методів оцінювання 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 клина за рахунок технології окислегування;
- визначити техніко-економічну доцільність використання комплексної технології відновлення як способу удосконалення процесу ремонту в цілому.

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

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

**Методи дослідження.** У 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 у 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 розроблення технології відновлення чавунних фрикційних клинів візків вантажних вагонів шляхом розроблення способу підвищення їхньої зносостійкості під час ремонту рухомого складу, що 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 у водяному розчині солей міді для формування перехідного шару з подальшим відновлення геометричних розмірів чавунних клинів, що забезпечує підвищення зносостійкості та працездатності:

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

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

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

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

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

**Особистий внесок здобувача.** Дослідження, висвітлені в усіх наукових працях, проводилися в УкрДУЗТ. Основні наукові положення, одержані в роботі, отримано автором самостійно. У наукових працях, опублікованих зі співавторами, особистий внесок полягає в такому: у роботі [1] визначені умови експлуатації та розроблені способи підвищення зносостійкості робочих поверхонь вузлів вантажних вагонів; у роботі [2] запропоновано формування багатокомпонентного покриття, що забезпечує зносостійкість відновлених клинів; у роботах [3, 11] запропонований

спосіб відновлення зношених поверхонь чавунних деталей; у роботах [4, 9, 15] запропоновано модифікацію поверхні чавунних клинів; у роботах [5,12] визначені триботехнічні властивості відновлених клинів; у роботах [6, 14] визначено швидкість зносу базових елементів вантажних вагонів; у роботах [7, 8] розроблені параметри технологічних процесів відновлення фрикційних клинів; у роботі [10, 13] запропоновані підходи щодо управління якістю і конкурентоспроможністю залізничної продукції; у роботах [16,17] досліджені руйнування деталей рухомого складу та рейок.

**Апробація результатів дисертації.** Основні результати дисертаційної роботи розглядалися, обговорювалися та ухвалені на таких міжнародних науково-технічних конференціях у період 2018-2020 рр.: Modern methods, innovations, and experience of practical application in the field of technical sciences: international research and practice conference (Radom, Republic of Poland, December 27-28 2017); 18-та Міжнародна науково-технічна конференція «Качество, стандартизация, контроль: теория и практика» (03 – 07 вересня 2018 р., м. Одеса); International scientific and practical conference “Globalization of scientific and educational space. Innovations of transport. Problems, experience, prospects” (Italy May 2018); Materials of the 18<sup>th</sup> 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.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету і 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. Залізничний транспорт є однією з ведучих галузей промисловості України, він має важливе значення у вантажних і пасажирських перевезеннях. Загальною тенденцією розвитку залізничного транспорту вважається підвищення вимог до технічного рівня, якості рухомого складу та його складових. Одна з цих вимог - це безпека пасажирських та вантажних перевезень, що значно залежать від надійності рухомого складу в умовах інтенсивної експлуатації. Для

вантажного рухомого складу відповідальними є чавунні фрикційні клини візка вантажних вагонів, оскільки при проведенні планових і непланових ремонтів чавунні клини з загальним зносом похилої та вертикальної площин більше 3 мм підлягають заміні, що підвищує простій в очікуванні ремонту. За статистичними даними, 50-70 % випадків поломки візка вантажних вагонів припадає на дефекти фрикційних чавунних клинів, таких як задир, знос та утворення отворів.

У середньому відсоток вибраковування фрикційних клинів через понаднормативний знос їхніх робочих поверхонь за один міжремонтний період вагона складає 90 % загальної кількості клинів, що надходять у ремонт.

Фрикційні клини візків вантажних вагонів виготовляються з чавуну СЧ-35 з пластинчатою формою графіту. Основні вимоги, що висуваються до конструкції клину, - це твердість, достатня міцність, зносостійкість, надійність роботи при експлуатації.

Питанням дослідження технологічних процесів експлуатації, технічного обслуговування та ремонту транспортних засобів, підвищення зносостійкості, працездатності та відновлення деталей вантажних і пасажирських вагонів технологічними методами присвячено досить багато як теоретичних так й експериментальних досліджень відомих вчених: М. М. Горбунова, М. Б. Кельріха, Ю. В. Дьоміна, В. Г. Маслієва, В. І. Мороза, А. І. Фоміна, С. В. Мямліна, І.Е.Мартінова, С. Ю. Сапронової, О. Г. Рейдемейстра, М. І. Глушка, М. М. Тененбаума, С. І. Пашаріна та інших. У тому числі питанням відновлення чавунних деталей транспортного призначення присвячено 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.

Аналіз науково-технічної літератури вітчизняних і зарубіжних авторів показав, що існує багато способів відновлення чавунних деталей. Вивчення раніше розроблених технологій показало, що частина з них потребує дорогого обладнання, високої технологічності і через неможливість забезпечити задану адгезію основного й наплавленого металу. Це не дає можливість якісного відновлення геометричних розмірів зношених фрикційних клинів. У процесі експлуатації відновлений шар металу відшаровується. Усунути цей недолік можна, якщо розробити нову технологію відновлення чавунних фрикційних клинів, що гарантує формування захисного шару, який забезпечує зчеплення покриття основи за рахунок перехідного шару між металом – покриттям і наплавленим шаром.

Розроблення технології відновлення зношених поверхонь чавунних клинів візків вантажних вагонів дасть можливість не тільки економити фінансові витрати на закупівлю нових замість відбракованих, але й дозволить значно підвищити ритмічність ремонту вагонів за рахунок зменшення їх простою в очікуванні ремонту через несвоєчасну поставку запасних частин.

У **другому розділі** розроблено програму експериментальних досліджень і системний підхід до вибору технології відновлення чавунних клинів візків вантажних вагонів. При проведенні експериментальних досліджень з розроблення нової технології відновлення фрикційних клинів використовували попередньо складену програму досліджень, яка включала такі етапи: вибір приладів і обладнання для проведення експериментальних досліджень, визначення необхідних

приспосовувань і вибір технологічного оснащення; дослідження умов роботи, причин і наслідків відмов фрикційних клинів, визначення особливостей зносу фрикційних клинів, методів ремонту й відновлення фрикційних клинів; вибір матеріалу зразків для проведення дослідження; дослідження триботехнічних характеристик зразків, які пройшли обробку за допомогою застосування комплексної технології відновлення; визначення оптимального складу насичуючого середовища при формуванні покриття; визначення раціональних параметрів нової технології відновлення, при яких буде забезпечуватися найменший знос, а також задана твердість і шорсткість відновленої поверхні, необхідна товщина зносостійкого антифрикційного покриття; проведення металографічних, мікрогеометричних і рентгеноспектральних досліджень зразків, відновлених застосуванням комплексної технології реновації; дослідження топографічних властивостей і геометричних характеристик робочих поверхонь фрикційних клинів; розроблення технологічного процесу відновлення фрикційних клинів вантажних вагонів з застосуванням нової комплексної технології реновації; розрахунок економічної ефективності впровадження нової комплексної технології реновації у виробництво.

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

Під час підготовки програми проведення експериментальних дослідів був розроблений алгоритм проектування нової технології відновлення фрикційних клинів нанесенням перехідного шару в одному технологічному циклі (рис. 1).

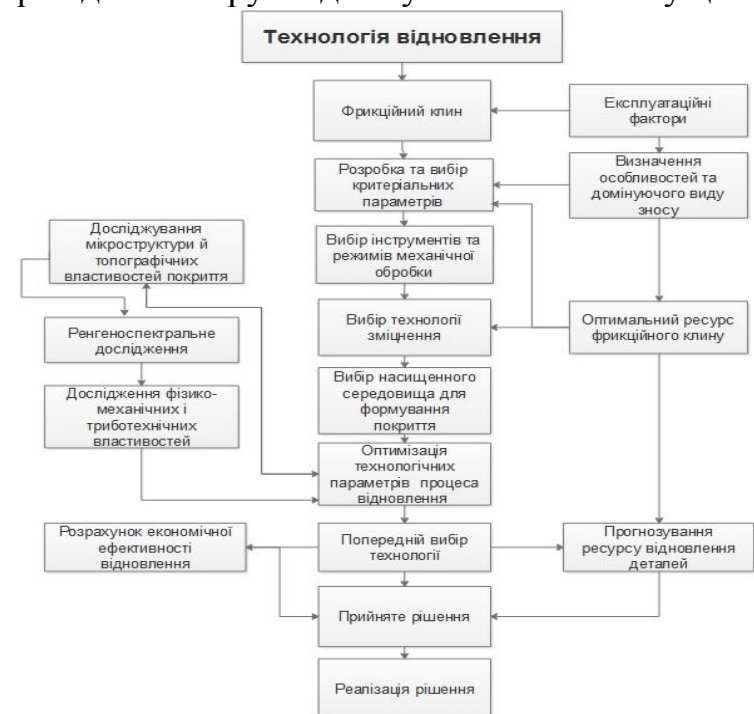


Рис. 1 – Алгоритм проектування



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

На основі зібраних даних розроблено методологію послідовності використання різних етапів дослідження відновлення чавунних фрикційних клинів візка вантажного вагона, відновлення його геометричних розмірів і структурно-фазового стану, що відображує діаграма Ісікави (рис. 2).

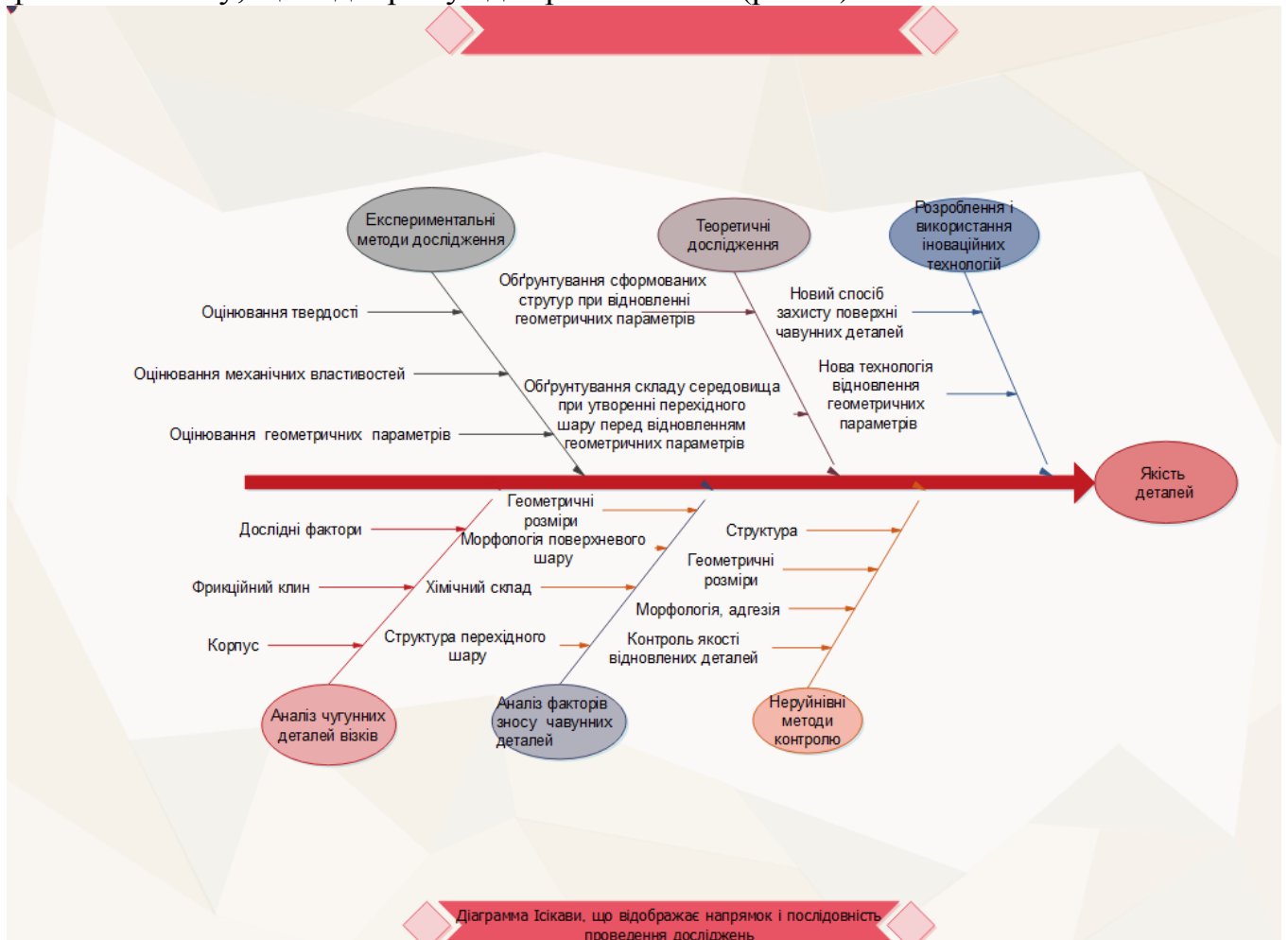


Рис. 2 – Розроблена методологія послідовності використання різних етапів дослідження

У **третьому розділі** розглянуто аналіз факторів, що впливають на процес відновлення поверхонь тертя чавунного фрикційного клина.

Розроблення технології ремонту базується на принципі введення в технологію відновлення геометричних розмірів чавунних фрикційних клинів технологічної операції, що забезпечує формування покриття, яке захищає основний метал від утворення знеуглецевого шару та виконує роль перехідного шару, що забезпечить адгезію основного і наплавленого металу. Було розроблено модель технологічного процесу підвищення зносостійкості, побудованого на принципі суперпозиції та зображеного у вигляді графіка на рис. 3.



Рис. 3 – Модель технологічного процесу підвищення зносостійкості

Виходячи з вищенаведених передумов цільову функцію математичної моделі в неявному вигляді та відповідну систему обмежень представлено таким чином:

$$I = f(C, t, \tau) \rightarrow \min,$$

$$\begin{cases} 500 \leq t^0 \leq 900, \\ 50 \leq C \leq 90, \\ 2 \leq \tau \leq 6. \end{cases}$$

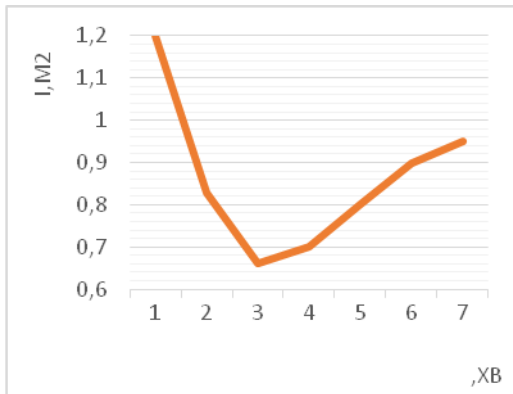
Метою планування експерименту було дослідження впливу технологічних факторів (параметрів) процесу комплексної технології відновлення (температури гартування, концентрації розчину солі міді, часу витримки в розчині) на критерії отриманого поверхневого шару (зносостійкість, товщину покриття, твердість, шорсткість поверхні).

Виходячи з результатів серії попередніх дослідів була вибрана точка та інтервали варіювання факторів (параметрів), (таблиця 1).

Таблиця 1 – Значення змінних факторів процесу комплексної технології відновлення при дослідженні критеріїв поверхневого шару

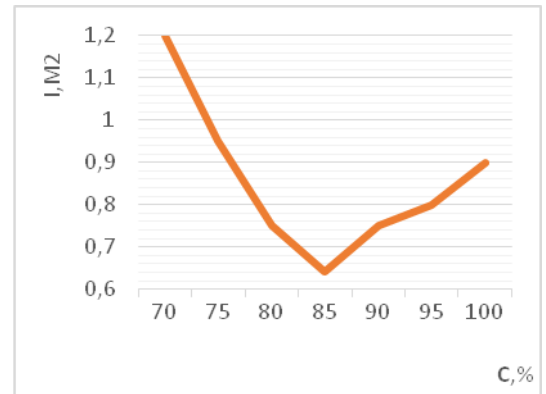
Фактори (параметри) Показники	Температура нагріву (t, °C)	Концентрація розчину (C, %)	Час витримки у розчині (τ, хв)
Кодова назва	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>
Основний рівень, x <sub>1</sub> = 0	700	80	4
Верхній рівень, x <sub>1</sub> = +1	900	90	6
Нижній рівень, x <sub>1</sub> = -1	500	50	2
Інтервал варіювання, Δx <sub>1</sub>	50	50	0,5

На підставі експериментальних досліджень зроблено припущення вважати технологічні параметри незалежними. Після реалізації експерименту і отримання залежностей у вигляді рівняння регресії (рис. 4-6), перевірялася гіпотеза про адекватність отриманих залежностей і визначалася раціональна область параметрів режиму технологічного процесу.



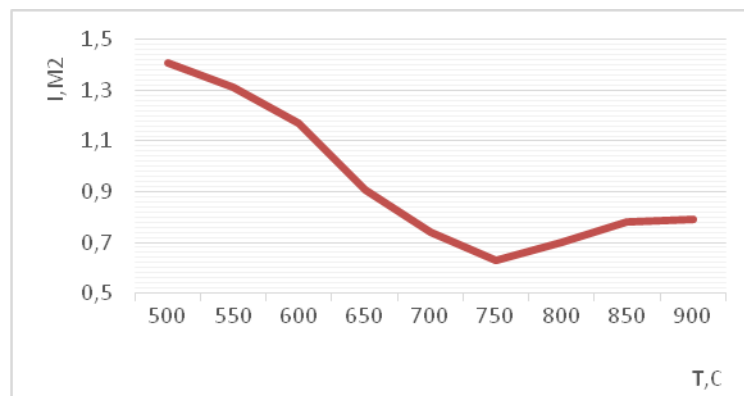
$$\tau = -13,395 - 0,102t - 2,469 \cdot 10^4 t^2 + 2,467 \cdot 10^3 t^3$$

Рис. 4 – Залежність величини зносу від часу витримки у розчині



$$I_c = 6,917 \cdot 10^4 - 4,974 \cdot 10^3 c + 145,588 c^2 - 2,36 c^3 - 0,021 c^4$$

Рис. 5 – Залежність величини зносу від концентрації розчину



$$I(t) = 1,85 - 0,785t + 0,145t^2 - 0,0027t^3 - 2,75 \cdot 10^{-3}t^3$$

Рис. 6 – Залежність величини зносу від температури деталі

Визначення точності проведення експерименту здійснювалося шляхом обчислення оцінки дисперсії відтворюваності експериментальних даних. Для отримання необхідних даних проводилися дублювання досліджень. Перевірка показала, що серія проведених експериментів є відтворюваною.

У **четвертому розділі** розроблено процес управління якістю роботи відновленого фрикційного клина візка вантажного вагона. Властивістю фрикційних клинів, що полягає в пристосованості до попередження та виявлення причин появи відмов, пошкоджень і відновлення працездатного стану шляхом проведення технічного обслуговування та ремонтів є ремонтпридатність. Ремонтпридатність – одна з властивостей, що характеризує надійність об'єкта. Управління надійністю фрикційних клинів, підвищення їхньої працездатності при ремонті при незмінному середньому напрацюванні між відмовами досягається:

- збільшенням імовірності 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. 7)

- збільшення напрацювання  $t_2 > t_1$  при заданій ймовірності безвідмовної роботи  $P$ , тобто  $P_2(t_2) = P_1(t_1) = P$ .

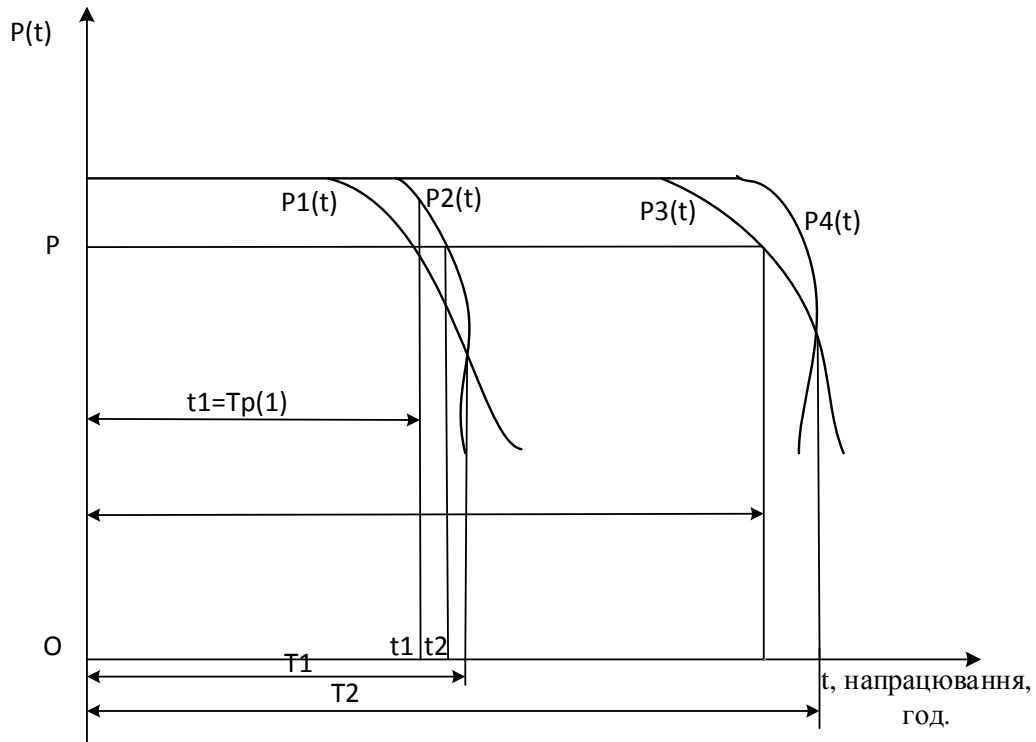


Рис. 7 – Управління надійністю фрикційного клину

При збільшенні середнього напрацювання між відмовами  $T_2$  досягається одночасно збільшенням гамма-відсоткового напрацювання:  $T_{P(3)} > T_{P(1)}$  з заданою ймовірністю безвідмовної роботи для будь-яких  $t$ , тобто,  $P_3(t) > P_1(t)$ .

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

Працездатність характеризується таким станом фрикційного клина, при якому він здатний виконувати вимоги експлуатації, встановлені нормативно-технічною документацією. При цьому фрикційний клин також характеризується сукупністю значень його параметрів на даний момент часу.

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

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

Технологія термічної обробки фрикційних клинів забезпечує при їх виготовленні нерівномірну (спадну) твердість за перерізом. У процесі експлуатації частина металу зношується, а частина зрізається під час ремонту при відновленні працездатності клина. Після двох-трьох циклів «експлуатація – відновлення працездатності» клин має низьку твердість порівняно з початком експлуатації і відповідно знижену зносостійкість. Для підвищення працездатності клина 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 клина

як систему управління. Під системою управління розуміється комплекс взаємопов'язаних елементів, функціонування яких призводить до виконання поставленої мети.

Об'єкт управління – це якість функціонування клинів, що складаються з сукупності властивостей окремих клинів (надійність, ремонтпридатність, працездатність) та їх взаємозаміну на інші клини.

Керуючий об'єкт – сукупність керуючих впливів на клин у вигляді прийняття технічних рішень, технологічного, метрологічного забезпечення, стандартизації. Вибір керуючого впливу приймають залежно від стану життєвого циклу клина. Рівень якості функціонування клина формується на стадії проектування, забезпечується на стадії виробництва та підтримується на стадії експлуатації.

При управлінні якістю функціонування фрикційного клина необхідне оцінювання показників якості клина, обмежень, критеріїв, параметрів процесів. Сукупність номенклатури показників якості і обмежень формують на першому етапі (рис. 8). Одночасно уточнюються межі комплексного управління якістю. На другому етапі розробляється схема структури і функціонування системи. Третій етап визначає процедуру управління якістю – моделювання та побудову математичних моделей. При моделюванні вирішуються три завдання: аналізу, синтезу та математичного контролю. На четвертому етапі визначаються параметри та вирішуються питання їх технологічного забезпечення.

Вирішення завдань аналізу і синтезу може бути проілюстровано загальним функціональним описом системи.

Інваріант розглянутої системи  $S$  (якість функціонування клина) визначається як перетворення входу  $X$  у вихід  $Y$  за допомогою деякого оператора  $F: X^F \rightarrow Y$ , де  $X$  та  $Y$  – множини, що мають реальний склад (аналіз).

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

У системі, крім вхідних і вихідних елементів, є керуюча множина. Якщо зафіксувати роль керуючої множини  $W$ , систему можна задати відображенням,  $X*W^F \rightarrow Y$ .

Якщо на систему діють невизначені зовнішні фактори, то система позначається як  $S: X*W*E^F \rightarrow Y$ .

Мета управління якістю функціонування клина полягає в оптимізації функції цілі та вирішення завдання синтезу. Аналітично це записується так. Задана система, що здійснює відображення  $X*W \rightarrow Y$ , відображена багатьма вхідними, керуючих і вихідних елементів у множині  $\{G\}$ , частково або повністю упорядкована відношенням. Функція  $g$  може бути задана двома функціями  $F: XW \rightarrow Y$  та  $G: XW\{G\}$ , або  $g(x, u) = G[x, u, F(x, u)]$ .

Оскільки мета полягає в комплексній оптимізації параметрів фрикційного клина, то завдання синтезу при оптимізації зводиться до умови: дано підмножину  $Df(x)$ , треба знайти  $x^* \in Df$  таке, що для всіх  $x$  із  $Df$ .

Тут  $Df$  – множина допустимих розв'язків, а елемент  $x^*$  – розв'язок задачі ( $g_1 Df$ ). У визначенні  $g(x^*)$  мета системи полягає у знаходженні  $\sup g(x)$ ,  $x \in Df$ .



Рис. 8 – Етапи управління якістю роботи фрикційного клину

На кінцевий результат управління якістю функціонування клина впливають три рівні вимог до системи: методології, управління та об'єкта, що здійснює управління.

Загальні правила системного підходу визначають такі вимоги до методології системи: відносність, цілеспрямованість, адаптивність.

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

При забезпеченні якості функціонування клина необхідно дотримуватися таких вимог: функціонування за сукупністю показників якості, їхні повнота і деталізація. Повнота показників якості характеризує рівень охоплення керуючих параметрів, що суттєво впливають на функціонування колеса.

Для дослідження параметрів зносу та положення фрикційного клина відносно положення надресорної балки візка вагона (завищення), що відбувається при експлуатації вагона через знос вертикальної та похилої площин тертя фрикційного клина та похилої площини надресорної балки, при проведенні деповського ремонту вагонів № 62449223 ДР 429 22.11.2018 та № 62649132 ДР 429 07.11.2018 р. 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 окислегуння. При цьому було встановлено контроль за даними вагонами при проходженні ними гарантійних дільниць обслуговування всіх експлуатаційних вагонних депо регіональної філії «Південна залізниця» в частині вимірювання параметра «завищення» фрикційних клинів відносно положення надресорної балки у візку, що

дозволяє встановити ступінь зносу фрикційного клина без розбирання візка вагона для вимірювання фактичного зносу площин тертя фрикційного клина. Таким чином, на підставі експлуатаційних характеристик візка вагона було здійснено контроль ступеня зносу площин тертя дослідних фрикційних клинів залежно від термінів експлуатації вагонів. Для проведення експлуатаційних випробувань були обрані вагони з максимально інтенсивним показником безперервної експлуатації, насамперед було обрано напіввагон, як такий, що по-перше, користується найбільшим попитом для перевезення вантажів серед інших родів рухомого складу, а по-друге, для встановлення дослідних клинів обирались саме вагони власності промислових підприємств, а не вагони власності АТ «Укрзалізниця», через те, що власник вагонів з метою скорочення неприбуткових холостих пробігів дбає про максимальну інтенсивність експлуатації власних вагонів.

Залежність зносу дослідних зразків (відновлених фрикційних клинів) зі зносом нових клинів, вироблених з чавуну марки СЧ35 за однаковий період їх експлуатації (рис. 9).

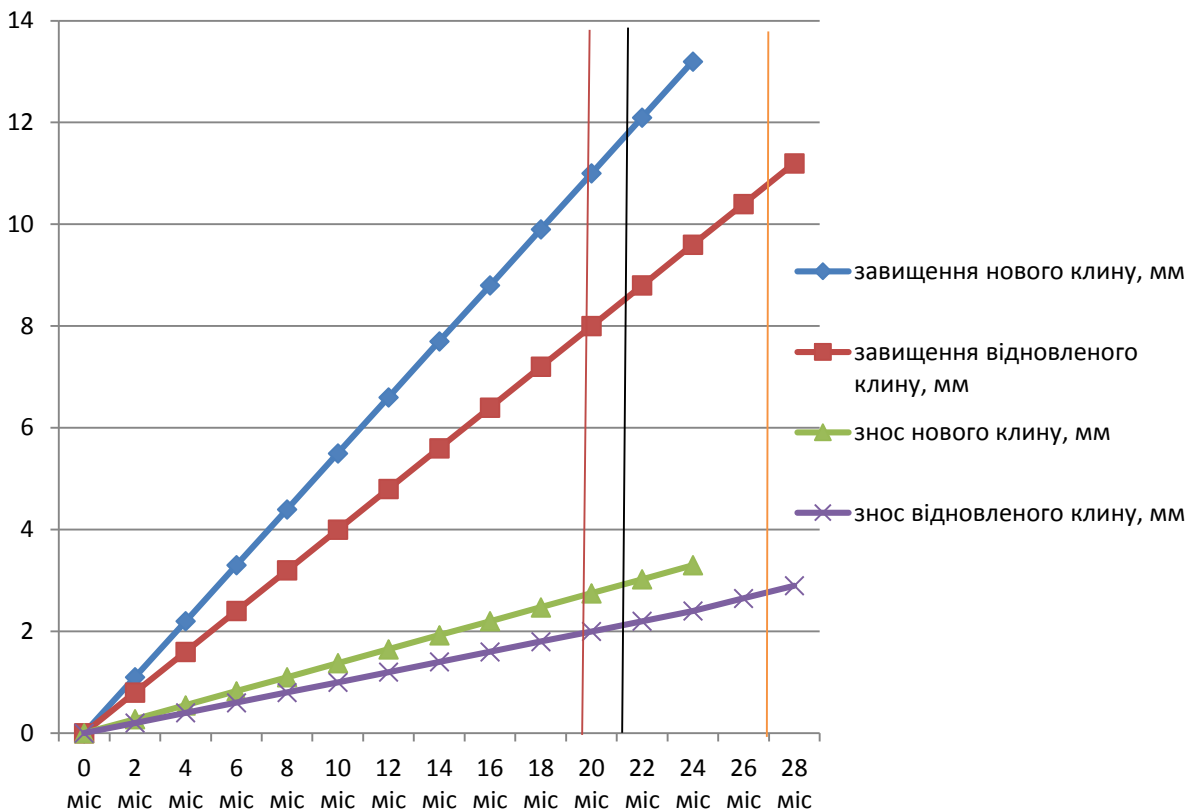


Рис. 9 – Результати експлуатаційних випробувань

Разом зі спостереженнями в експлуатації за вагонами зі встановленими дослідними зразками фрикційних клинів, було організовано спостереження за вагонами інвентарного парку АТ «Укрзалізниця», при деповському ремонті яких були встановлені звичайні нові фрикційні клини.

Експлуатаційні випробування показали, що навіть при менш інтенсивній експлуатації вагонів інвентарного парку АТ «Укрзалізниця» зі встановленими новими фрикційними клинами знос площин тертя цих клинів був більший на 37,5 % порівняно зі зносом площин тертя дослідних клинів, відновлених способом

окисилегування.

У п'ятому розділі проведено розрахунок економічної ефективності відновлення чавунних фрикційних клинів візків вантажних вагонів. Економічний ефект відновлення фрикційного клина визначаємо підставленням приведених затрат на відновлення за розробленою технологією та вартості нового фрикційного клина:  $E = (V_{\text{нов.}} - V_{\text{віднов.}} \cdot \frac{P_{\text{віднов.}}}{P_{\text{баз.}}})$ . Проведені лабораторні та експлуатаційні дослідження показали, що прогнозуваний міжремонтний ресурс відновлених за новою технологією фрикційних клинів вище, ніж ресурс клинів, відновлених за технологією, прийнятою за базову. Підвищення ресурсу деталі відбувається за рахунок підвищення зносостійкості клина в 125 рази.

Собівартість відновлених за передбачуваною технологією визначається за формулою  $C_{\text{вінов.}} = ЗП + V_{\text{м}} + V_{\text{вр.}} + З_{\text{пит.}}$ . Заробітна плата виробничих працівників визначається за формулою  $ЗП = (ЗП_{\text{год.}} + C_{\text{под.відр.}}) \cdot t_{\text{віднов.}}$ . Час, витрачений на відновлення,  $t_{\text{віднов.}} = t_{\text{під.}} + t_{\text{напл.}} + t_{\text{відп.}} + t_{\text{охол.}} + t_{\text{шліф.ч}} + t_{\text{шліф.б.}} + t_{\text{терм.обр.}} + t_{\text{нанес.покр.}}$ . Вартість матеріалів визначається за залежністю

$C_{\text{м}} = N_{\text{напл.мат.}} \cdot C_{\text{напл.мат.}} + N_{\text{шл.кол.чорн.}} \cdot C_{\text{шл.кол.чорн.}} + N_{\text{шл.кол.чист.}} \cdot C_{\text{шл.кол.чист.}} + N_{\text{ріж.інстр.}} \cdot C_{\text{ріж.інтр.}} + N_{\text{мат.покр.}} \cdot C_{\text{мат.покр.}}$ . Виробничі витрати визначаються за формулою  $C_{\text{пр.}} = C_{\text{ел.}} + C_{\text{ум.}} + (ЗП_{\text{год.}} + C_{\text{нал.от.}}) \cdot t_{\text{то.}}$

Вартість витраченої електроенергії складається з таких складових:

$C_{\text{ел.}} = W_{\text{ел.стан.}} \cdot t_{\text{напл.}} + W_{\text{під.}} \cdot t_{\text{під.}} + (W_{\text{ел.}} \cdot (t_{\text{шл.чор.}} + t_{\text{шл.чист.}})) + W_{\text{втом.}} \cdot t_{\text{терм.обр.}} + W_{\text{н.}} \cdot t_{\text{от.}} \cdot T_{\text{ел.}}$ . Витрати на опалення, водокористування та освітлення визначаємо за формулою

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

Питомі витрати на капітальні витрати розраховуються виходячи з необхідності необхідного обладнання для відновлення:  $З_{\text{уд.}} = E \cdot C_{\text{шл.}} + C_{\text{напл.ст.}} + C_{\text{уст.т.об.}} + C_{\text{стр.}} \cdot N_{\text{ном.}}$

У таблиці 2 наведено економічні показники розробленої технології відновлення фрикційних клинів. Розрахунки виконані виходячи з цін на 2019 р.

Таблиця 2 – Показники оцінювання економічної ефективності розробленої технології відновлення

Показник	Позначення	Значення
Вартість нової деталі, грн	$C_{\text{нов.}}$	700
Собівартість відновлення	$C_{\text{від.}}$	137,8
Міжремонтний пробіг відновлених деталей, тис. грн	$R_{\text{від.}}$	57
Міжремонтний пробіг нових деталей, тис. грн	$R_{\text{нов.}}$	29
Річний економічний ефект	$E$	281,1

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.

## ВИСНОВКИ

У 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. У результаті виконаної роботи одержано такі основні результати:

1. На основі досліджень умов роботи, причин руйнування деталей пружинно-фрикційного комплексу візка вантажного вагона, а також способів і методів відновлення їхньої працездатності встановлено, що на сьогодні не існує технології відновлення чавунних клинів.

2. 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.

4. 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 °С, концентрації водяного розчину солі міді 85 % і терміну витримки 3 – 4 хвилини. Одержане покриття характеризується товщиною 55 мкм, що підтверджено величиною адгезії.

5. Адекватність розробленої моделі для визначення параметрів технологічного процесу підтверджено лабораторними та експлуатаційними випробуваннями.

6. 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 ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ 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 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., Тимофеева Л. А., Тимофеев 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., Тимофеева Л. А., Тимофеев 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. Тимофеев 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. Тимофеева Л. А., Тимофеев 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 18<sup>th</sup> International Scientific and*

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. Тимофеев 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 пружинно-фрикційного візка вантажного вагона. *Тези доповідей 1-ої міжнародної науково-технічної 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 залізобуглецевих 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.

### **АНОТАЦІЯ**

Воскобойников Д. Г. Розробка технології ремонту чавунних фрикційних клинів візків вантажних вагонів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту. – Український державний університет залізничного транспорту МОН України, Харків, 2020.

Дисертацію присвячено питанню пошуку нових ефективних, менш витратних підходів до підвищення зносостійкості та ресурсу деталей вагонів, які відповідають за безпечне перевезення вантажів, а саме фрикційних клинів. Такі деталі вагонних візків є важливим елементом безпеки руху. Фрикційні клини виготовляються з сірого чавуну з пластичним графітом, при експлуатації в результаті зносу виходять з ладу, відновлення геометричних розмірів не передбачено існуючою нормативною документацією через відсутність відповідної технології, а клини підлягають утилізації. З урахуванням вартості цих деталей і дефіциту їх поставок в умовах вагонних депо постає питання про необхідність їх відновлення зі збереженням структурно - фазового складу. У роботі згідно з методологічним підходом проведено статистичні дослідження та виявлено причини виходу з ладу у зв'язку зі зносом

фрикційних клинів вантажних вагонів. Проаналізовано існуючі технології відновлення чавунних деталей не тільки геометричних розмірів, але і збереженням структурно - фазового складу матриці. Виявлена можливість використання водяно-мідного солевого розчину в якості насичуючого середовища для формування перехідного шару покриття на поверхні чавуну, щоб захистити його від знеуглення при подальшому відновленні геометричних розмірів. У результаті лабораторних досліджень визначено раціональні технологічні параметри формування покриття, а також встановлено взаємозв'язок між технологічними параметрами зі зносостійкістю покриття та з відновленими геометричними розмірами. Встановлено, що покриття має у своєму складі оксид заліза, міді та сульфідів заліза і міді. Такий склад покриття утворюється в результаті взаємодії дифузії, що забезпечує адгезію між основним металом і відновленим шаром. Ефективність технології підтверджена детальним аналізом структуроутворення з використанням комплексних досліджень на основі експериментальних та експлуатаційних досліджень.

На основі теоретичних і експериментальних досліджень розроблено комплексну технологію відновлення, що включає хіміко-термічну обробку у водяному розчині солей міді для формування перехідного шару з подальшим відновлення геометричних розмірів чавунних деталей, що забезпечує підвищення зносостійкості та працездатності.

*Ключові слова:* фрикційний клин, знос, зміцнення, експлуатація, довговічність, покриття, навантаження, адгезія, окислення, ремонтпридатність, відновлення.

## АННОТАЦІЯ

Воскобойников Д. Г. Разработка технологии ремонта чугунных фрикционных клиньев тележек грузовых вагонов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Украинский государственный университет железнодорожного транспорта МОН Украины, Харьков, 2020.

Диссертация посвящена вопросу поиска новых эффективных, менее затратных подходов к повышению износостойкости и ресурса деталей вагонов, а именно фрикционных клиньев, которые отвечают за безопасную перевозку грузов. Такие детали вагонных тележек являются важным элементом безопасности движения. Фрикционные клинья изготавливаются из серого чугуна с пластичным графитом, в период эксплуатации в результате износа выходят из строя, восстановление геометрических размеров не предусмотрено существующей нормативной документацией из-за отсутствия соответствующей технологии, а клинья подлежат утилизации. С учетом стоимости этих деталей и дефицит их поставок в условиях вагонных депо возникает вопрос о необходимости их восстановления с сохранением структурно - фазового состава.

В настоящее время не существует технологии восстановления геометрических размеров изношенных чугунных фрикционных клиньев с сохранением структурно - фазового состава матрицы чугуна. Поэтому направление разработки по обеспечению эксплуатационных свойств восстановленных деталей относится к актуальным.

Целью проведения исследований было выполнение анализа методов оценки условий работы, износостойкости и требований, предъявляемых в соответствии с требованиями существующих руководящих документов АТ «Укрзалізниця» к деталям пружинно-фрикционного комплекта тележки грузовых вагонов. Исследованы особенности износа и разрушения чугунных деталей и существующие способы их восстановления. Разработан способ восстановления чугунных деталей за счет формирования переходного слоя (металл-переходный слой-покрытие). Определена зависимость между параметрами технологического процесса восстановления и износостойкости деталей. Исследована и определена эффективность разработанного способа ремонта чугунных деталей. Определена технико-экономическая целесообразность использования комплексной технологии восстановления, как способа совершенствования процесса ремонта вагонов в целом.

На первом этапе согласно методологическому подходу проведены статистические исследования и выявлены причины выхода из строя грузовых вагонов в связи с износом чугунных фрикционных клиньев с пластинчатой формой графита. Проанализированы существующие технологии восстановления чугунных деталей не только геометрических размеров, но и с сохранением структурно - фазового состава матрицы.

Исследованиями было установлено, что при наплавке изношенного поверхностного слоя на поверхности клина образуется слой, который негативно влияет на адгезию основного металла с восстановленным слоем. Восстановленный слой отличается от основного металла. Чтобы избежать этого явления, необходимо было разработать технологию восстановления геометрических размеров с сохранением структуры чугуна. Инновационно технология должна была обеспечить формирование переходного слоя (основа - покрытие - восстановленный слой). Но в настоящее время такой технологии не существует, изношенные фрикционные клинья утилизируются и заменяются новыми.

На втором этапе исследования была выявлена возможность использования водно-медного солевого раствора в качестве насыщающей среды для формирования переходного слоя покрытия на поверхности чугуна, чтобы защитить его от обезуглероживания при дальнейшем восстановлении геометрических размеров.

В результате лабораторных исследований определены оптимальные технологические параметры формирования покрытия, а также установлена взаимосвязь между технологическими параметрами с износостойкостью покрытия и восстановленными геометрическими размерами. Установлено, что покрытие имеет в своем составе оксид железа, меди и сульфидов железа и меди. Такой состав покрытия образуется в результате взаимодействия диффузии, что обеспечивает адгезию между основным металлом и восстановленным слоем. Эффективность технологии подтверждена детальным анализом структурообразования с использованием комплексных исследований на основе экспериментальных и эксплуатационных исследований.

**ABSTRACT**

Voskoboinikov D. Development of the technology for repairing cast-iron friction wedges of freight car bogies. – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.22.20 – operation and repair of vehicles. - Ukrainian State Academy of Railway Transport of MES of Ukraine, Kharkiv, 2020.

The thesis is devoted to the search for new, effective, less costly approaches to increasing the wear resistance and resource of car parts, which are responsible for the safe transportation of goods, namely, friction wedges. Such parts of freight car bogies are an important element of traffic safety. Friction wedges are made of gray cast iron with ductile graphite; during operation, they fail as a result of wear, restoration of geometric dimensions is not provided for by the existing regulatory documentation due to the lack of appropriate technology, and the wedges must be disposed of. Taking into account the cost of these parts and the shortage of their production in the conditions of car depots, the question arises of the need to restore them while maintaining the structural phase composition. In the work, according to the methodological approach, carried out statistical studies and identifying the causes of failure due to wear of the friction wedges of freight cars. The existing technologies for the restoration of cast iron parts, not only of geometric dimensions, but with the preservation of the structural and phase composition of the matrix, are analyzed. The possibility of using a water-copper salt solution as a saturating medium for the formation of a transitional coating layer on the surface of cast iron in order to protect it from decarbonization during further restoration of geometric dimensions has been discovered. As a result of laboratory studies, the optimal technological parameters of coating formation have been determined, and a relationship has been established between technological parameters with the wear resistance of the coating and with the restored geometric dimensions. It is found that the coating contains iron oxide, copper oxide and iron and copper sulfides. This coating composition is formed by a diffusion interaction that provides adhesion between the base metal and the reconstituted layer. The effectiveness of the technology is confirmed by a detailed analysis of structure formation using complex studies based on experimental and operational studies.

On the basis of theoretical and experimental studies, a complex reduction technology has been developed, which includes chemical-thermal treatment in an aqueous solution of copper salts to form a transition layer with subsequent restoration of the geometric dimensions of cast iron parts, which provides an increase in wear resistance and performance.

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

ВОСКОБОЙНИКОВ ДМИТРО ГЕННАДІЙОВИЧ

УДК 656.085.1:629.4.018

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

05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

**АВТОРЕФЕРАТ**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск доц.

І. І. Федченко

---

Підписано до друку 16.09.2020.  
Формат паперу 60x84 1/16. Папір для множних апаратів  
Друк цифровий. Умовн. друк. арк. 0,9. Обл.-вид. арк. 1,1  
Тираж 130 прим.

---

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