

МІНІСТЕРСТВО ТРАНСПОРТУ УКРАЇНИ

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИМ ДЕРЖАВНИМ ТЕХНІЧНИМ
УНІВЕРСИТЕТ ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
(ДІІТ)

На правах рукопису

Михайленко Крій Володимирович

УДК 626.423.02-192:621.357


РОЗРОБКА І ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ
ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ
ДЕТАЛЕЙ ЕЛЕКТРОВОЗІВ ГАЛЬВАНІЧНИМ ЗАЛІЗНЕННЯМ

Спеціальність: 05.22.07 - Рухомий склад залізниць
та тяга поїздів.

05.17.03.- Технічна електрохімія.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук.

Дніпропетровськ - 1996



АВ 35.045

Робота виконана в Дніпропетровському державному технічному університеті залізничного транспорту (ДІІТ).

Науковий керівник - доктор технічних наук,
професор М.О. Костін.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор А.А. Восов;
кандидат технічних наук,
доцент Ю.М. Черних.

Провідне підприємство Запорізький електровозо-ремонтний завод (ЗЕРЗ).

Захист дисертації відбудеться "24" серпня 1996 р. о. 15 год. 00 хв. на засіданні спеціалізованої ради Д 03.04.02 при Дніпропетровському державному технічному університеті залізничного транспорту (ДІІТ) за адресою: 320700, МСП, Дніпропетровськ, вул. Академіка В.А. Лазаряна, 2, ауд.224.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці університету.

Автореферат розісланий "22" травня 1996 р.

Відгуки на автореферат в двох примірниках, що завірнені печаткою, просимо надсилати до спеціалізованої ради університету.

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00753594 (X)

Вчений секретар спеціалізованої ради

кандидат технічних наук, доцент

Л.В. Петрович

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Аналіз стану локомотивного парку залізничного транспорту України показує, що з 1943 електровозів, що знаходяться в експлуатації, в найближчі 2-3 роки належать виключенно 839, тобто 43.1%. Оновлення фізично і морально застарілого локомотивного парку вимагає освоєння виробництва нових електровозів, або їх закупівлі за кордоном. В ситуації, що склалася першорядне значення набуває вирішення задач повторного використання деталей локомотивів, в тому числі і механічної частини. Однак, вирішення цієї проблеми стримується відсутністю сучасних технологій відновлення і зміцнення деталей електрорухомого складу (ЕРС). Найчастіше пропонується газотермічне нанесення металопокриттів, але цьому методу притаманні дорожнеча обладнання, гострий дефіцит необхідних матеріалів.

Більш закономірним і природним у цій ситуації є використання технологій, що дозволяють проводити масове відновлення деталей з мінімальними енергетичними витратами і використанням недефіцитних матеріалів. Одним з таких методів є електролітичне нанесення залізних покриттів.

Суттєві переваги відкриває використання імпульсного електролізу. Він дозволяє проводити процес залізнення (остаткування) у холодному електроліті, використовувати проєкт за складом розчину, одержувати високу міцність зчеплення відновлюваного покриття з основним металом, а також суттєво спрощує технологічний процес. Впровадження програмних режимів електроосадження дозволяє спрямовано формувати властивості відновлюваного шару в процесі його нанесення.

Природно, що люба технологія повинна гарантувати якість

деталей, які ремонтуються. Але для одержання виробу з заданими вихідними параметрами потрібно забезпечити старанність виконання всіх операцій технології відновлення, стабільність процесу. Тому виникає проблема оцінки надійності власне технологічного процесу, у даному випадку, залізнення. Тим паче, що це питання в ремонтній практиці є новим. В літературі існують численні публікації по надійності систем і їх елементів, але не технологічних процесів.

В зв'язку з вищевикладеним розробка і оцінка надійності нових технологічних процесів відновлення деталей ЕРС є актуальною.

Ціль роботи - розробка і оцінка параметрів надійності нового технологічного процесу відновлення деталей механічної частини електродвигуна складу електролітичним залізненням.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішення наступних задач: встановлення закономірностей впливу параметрів технологічного струмового режиму на структуру і фізико-механічні властивості покриттів залізом; розробка і виготовлення джерела програмного струму для живлення електролізера залізнення; дослідження впливу нестабільності параметрів електроліту на характеристики відновленого шару; розробка методики визначення показників надійності технологічного процесу залізнення деталей ЕРС; одержання оцінок показників надійності технології остальвання; розробка ефективного варіанту технологічного процесу відновлення деталей ЕРС гальванічним залізненням; розробка методики й оцінка параметричної надійності відновлених деталей ЕРС.

Методика досліджень.

В роботі застосовано розрахунково-експериментальний метод. Статистичні дані одержані при вибірковому обстеженні

розробленої в цій роботі промислової технологічної системи. Теоретичні дослідження ґрунтувались на теорії імовірностей, математичній статистиці і теорії надійності. В розрахунках застосовувались чисельні методи аналізу з використанням ЕОМ. Методи теоретичної електротехніки і електроніки використовувались при розробці імпульсних перетворювачів.

Наукова новизна:

- розроблена методика визначення показників надійності технологічного процесу відновлення деталей ЕРС гальванічним залізненням;

- розроблений новий спосіб електролітичного відновлення деталей електровозів залізненням (Патент №1820921 АЗ);

- запропонована методика оцінки параметричної надійності деталей механічної частини ЕРС відновлених гальванічно;

- встановлені закономірності зміни структури, фізико-механічних властивостей і швидкості нанесення залізних покриттів від параметрів технологічного режиму;

- розроблене нове схемне рішення джерела живлення гальванічних ванн залізнення (А.С. №1458445).

Достовірність одержаних результатів й висновків забезпечена застосуванням сучасних приладів та обладнання і підтверджується узгодженням результатів теоретичних і експериментальних досліджень, а також перевіркою розроблених рекомендацій у виробничих умовах.

Практичне значення:

- розроблена нова технологія відновлення залізненням деталей електровозів серії ЧС; в виробничих умовах визначені параметри ефективного технологічного режиму;

- запропонована методика розрахунку показників надійності технологічного процесу залізнення деталей

електровозів, що дозволяє прогнозувати показники якості деталей, що ремонтуються, для реальних режимів нанесення відновлювального шару;

- одержані закономірності змінення головної експлуатаційної властивості відновлених деталей - зносостійкості - від параметрів технологічного режиму;

- виготовлене промислове джерело програмного струму для нанесення покриттів за новою технологією.

Впровадження результатів.

На підставі проведених досліджень розроблена і впроваджена на одному з ремонтних заводів Укрзалізпрома нова технологія відновлення зношених деталей механічної частини електровозів ЧС гальванічним залізненням.

Особиста участь автора в одержанні результатів, які викладені в дисертації, полягає в наступному: проведенні експериментальних досліджень в робочій ванні залізнення; створенні програм статистичної обробки даних експериментів на ЕОМ; встановленні залежності фізико-механічних властивостей одержаних покриттів від параметрів технологічного режиму; розробці методики оцінки надійності технології відновлення і виконанні розрахунків по визначенню показників надійності; розробці технологічного процесу нанесення відновлювального покриття на деталі ЕРС; проведенні досліджень по визначенню зносу відновлених деталей ЕРС в експлуатації і одержанню оцінки їх параметричної надійності.

Апробація роботи.

Основні положення дисертаційної роботи докладались і обговорювались на: Всесоюзній конференції "Проблеми механіки залізничного транспорту" (Дніпропетровськ, 1988 р.); Всесоюзній науково-технічній конференції "Проблеми розвитку локо-

мотивобудування" (Ворошиловград, 1990 р.); Всесоюзній науково-технічній конференції "Стан і перспективи розвитку локомотивобудування в країні" (Новочеркаськ, 1994 р.); науково-технічному семінарі "Зносостійкі і антифрикційні покриття" (Москва, 1991 р.); Республіканській конференції "Ресурсозберіжні технології в електрохімічних виробництвах" (Харків, 1987 р.); Республіканській конференції "Технологія електроосадження металів і сплавів імпульсним струмом" (Київ, 1993 р.); науково-теоретичній регіональній конференції "Нестационарні електрохімічні процеси" (Барнаул, 1989 р.).

Публікації.

За матеріалами дисертації опубліковані 15 робіт у тому числі 1 патент і 1 авторське свідоцтво.

Структура та обсяг роботи.

Дисертація складається із вступу, 5 глав, основних результатів і висновків, списку літератури та трьох додатків. Робота викладена на 160 сторінках машинописного тексту і містить 33 малюнки і 20 таблиць.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульована ціль роботи.

Перша глава присвячена аналізу роботи відновлених деталей ЕРС в експлуатації, їх зносів і існуючих методів відновлення. Визначений перелік основних задач, вирішення яких необхідно для досягнення поставленої мети.

В роботі розглядаються такі вузли електровозів серії ЧС, що зношуються в процесі експлуатації найбільше: гальмова важільна передача, ресорне підвищення, букса колісної пари, гідравлічний амортизатор, та інші. Об'єктом аналізу є

деталі вказаних вузлів, а метою - визначення доцільності і можливості відновлення їх робочих поверхонь методом гальванічного залізнення.

На цей час найбільш поширеними методами відновлення зношених деталей ЕРС є наплавка і способи газотермічного й електролітичного (гальванічного) нанесення покриттів.

Серед гальванічних методів, що використовуються при ремонті ЕРС, слід відмітити цинкування, хромування, залізнення. Найбільш широкі можливості при вирішенні проблеми нанесення відновлювальних покриттів має спосіб електролітичного залізнення. В існуючій (ЕРС) ремонтній практиці знайшло застосування залізнення у гарячих хлоридних електролітах постійним струмом. Відома також технологія композиційного остальювання.

Більш перспективними є методи імпульсного електролізу, які дозволяють управляти структурою і експлуатаційними властивостями шару металу, що наноситься, і відмовитися від використання гарячих електролітів. Однак, незмінність параметрів струмового режиму в процесі електролізу не дозволяє одержати покриття з одночасним виконанням усіх потрібних властивостей. Тому перспективною гальванічних методів є програмний імпульсний електроліз, який і застосований в цій роботі.

У другій главі здійснено аналіз впливу параметрів струмового режиму і електроліту на структуру і властивості осадів заліза, а також продуктивність процесу його нанесення.

Практика показує, що потрібні експлуатаційні характеристики залізного покриття забезпечуються лише при умові змінювання структури і властивостей по його товщині. Нижній початковий шар заліза - "зона зчеплення", який обумовлюється початковим періодом залізнення, повинен мати міцне зчеплення

з металом деталі, яка відновлюється. Середній шар - тверде покриття; йому притаманні велика зносостійкість і воно осаджується з великою швидкістю. І на сам кінець, верхній шар повинен бути м'яким - "зона прироблення".

У практиці залізнення застосовуються різні форми струму у вказані періоди осадження. Нами були випробовані три форми періодичного струму у найбільш важливий початковий період нанесення покриття: асиметричний промислової частоти, асиметричний з відсітками, випрямлений.

Встановлено, що найбільш міцно шар заліза зчеплений з основним металом при осаджуванні асиметричним струмом промислової частоти, котрий і належить застосовувати в технологічній практиці.

В основний період осадження відбувається нарощування середнього (основного) шару покриття. Тому при необхідності одержання товстих осадків на перший план виступає вимога інтенсифікації процесу осадження, що раціонально виконувати збільшенням середньої густини струму. Для цього використовується струм з оберненими імпульсами (асиметричний струм). Однак, застосування такого струму без змінення його параметрів у процесі осадження, має ряд недоліків: спостерігається низька рівномірність розподілу осаду - коефіцієнт рівномірності K_p не перевищує 70%; поверхневий шар заліза формується гісокотвердим, мікротвердість досягає 6000-6100 МПа, що збільшує початковий знос і час приробки покриття; значний ваговий процент дендритів - до 35-40% від загальної маси осаду.

Нами розроблений спосіб програмного залізнення (Патент №1820921 АЗ), в котрім після початкового періоду здійснюється наступне неперервне рівномірне підвищення густини оберне-

ного струму від значення (5.5-6.5) А/дм² до (9-20.5) А/дм² зі швидкістю (0.4-28) А/дм².год; при цьому значення прямого струму дорівнює 54-64 А/дм². Внаслідок цього, по-перше, на 20-25% підвищується рівномірність розподілу залізного покриття; по-друге, в 1.5-2.0 рази покращується приробка покриття і знижується приробний знос; по-третє, зменшується в 2-3 рази маса дендритів на покритті.

В роботі досліджується вплив параметрів технологічного струму, в тому числі програмного, на побудову і основні фізико-механічні властивості залізних покриттів. Зі збільшенням середньої густини $J_{\text{сер}}$ закономірно підвищується дисперсність осадів заліза - величина блоків мозаїки D, а отже і зерен монотонно знижується. Мікротвердість H_{μ} залізних покриттів, як відомо, завжди корелює з їх дисперсністю: осадки з меншими розмірами зерен мають більшу величину H_{μ} і навпаки. Залізні покриття формуються найбільш твердими при електролізі постійним струмом. Зносостійкість залізних покриттів визначається, насамперед, робочою густиною струму і зв'язана з нею зворотною залежністю незалежно від форми струму. В роботі запропоновано механізм зносу залізних покриттів. Шар заліза, нанесений постійним струмом, менш зносостійкий ніж програмним асиметричним зі зворотними імпульсами. Вирішальне значення в цьому належить специфіці структури поверхневого шару нанесеного заліза, яка обумовлена програмним збільшенням амплітуди обернених імпульсів.

Істотний вплив на структуру і механічні властивості залізних покриттів чинять параметри електроліту, найважливішими серед яких є концентрація основної солі FeCl_2 і показник кислотності pH (таблиця 1).

Як впливає з експериментів 1-3, змінення концентрації

Таблиця 1.

№ п/п	Параметри електроліту		Структура покриття			Властивості покриття		
	Концентрація, FeCl ₂ г/л	Кислотність рН	Параметр ґратки, α, А	Розмір блоків мозаїки, D, А	Густина дислокацій, ρ · 10 ⁻¹⁰ , см ⁻²	Мікротвердість, H _μ , МПа	Знос, Δ · 10 ³ , г	Міцність зчеплення, σ _{зч} , МПа
1	350	0.8	2.87146	1693.7	3.47	4976.0	7.4	165.3
						5373.0		
2	400	0.8	2.87045	1454.3	4.73	5716.0	0.85	214.2
						6279.0		
3	443	0.8	2.86984	1965.1	2.57	5494.0	4.25	177.5
						6003.0		
4	400	0.5	2.87020	1418.5	4.97	6449.0	1.32	152.1
						7210.0		
5	400	1.0	2.87007	1378.2	5.27	6848.0	9.6	60.2
						7731.0		

FeCl₂ (при незмінному рН) помітно відбивається на структурі і основних властивостях одержаних осадів заліза. При цьому характерно, що всі залежності мають екстремальний характер з екстремумами при FeCl₂ = 400 г/л (експеримент 2). В цій точці покриття найбільш дрібнокристалічне з максимумом мікротвердості і мінімальним зносом. Підкислення електроліту - зміна рН від 0.8 до 0.5 (експерименти 4,5) при тій самій концентрації FeCl₂ = 400 г/л - незначно впливає на основні характеристики покриттів, за виключенням міцності зчеплення, котра суттєво зменшується. Підлужування розчину суттєво підвищує знос покриттів і різко знижує міцність зчеплення (експеримент 5).

Оцінка рівномірності розподілу покриттів залізом показала, що найкращі оседи можуть бути одержані при рН 0.8 і концентрації FeCl_2 400 г/л, в яких коефіцієнт рівномірності досягає 90%.

Третя глава присвячена розробці методики визначення надійності технологічного процесу відновлення деталей ЕРС і одержанню кількісних оцінок параметрів надійності за окремими показниками якості і технології вцілому.

Методика містить такі основні етапи: аналіз технологічного процесу на складові операції; вибір і обґрунтування параметрів якості відновлюваних деталей; знаходження границь допусків на параметри якості; визначення імовірнісних законів розподілення значень параметрів якості; знаходження величин імовірності виконання завдання по кожному параметру якості; визначення оптимального узагальненого рівня надійності розробляемої технології; розрахунок надійності технологічного процесу вцілому за всією сукупністю нормованих параметрів якості. В роботі обґрунтовуються і аналізуються кожен з цих етапів; тут розглянемо їх коротко.

Параметрами якості залізних гальванопокриттів були вибрані: міцність зчеплення залізного шару з основою $\sigma_{зч}$, його мікротвердість H_{μ} і товщина δ .

Конкретні значення допусків на встановлені вище параметри якості визначені з наступних міркувань. Нижні й верхні границі допусків на товщину покриття визначаються виходячи з нормативних розмірів конкретних відновлюваних деталей, приведених в їх робочих кресленнях, з урахуванням припуску на механічну (фінішну) обробку. Допуски на мікротвердість визначені виходячи з її впливу на основний експлуатаційний показник покриття - зносостійкість. Допуск

на $\sigma_{зч}$, задається односторонній по нижній границі.

В даній роботі застосований метод побудови негаусових законів розподілу значень параметрів якості, розроблений Н. А. Бородачовим. В основу теорії цих розподілів покладені гіпотетичні імовірнісні схеми, що відповідають фізиці явищ, які визначають конкретний технологічний процес, і полягають в наступному. Як відомо, нормальний закон розподілення має місце в тих випадках, коли імовірне величина Y є функцією множини незалежних імовірних факторів (тобто також імовірних величин X_1). Якщо крім незалежних імовірних (X_1) на Y впливає одна або декілька неімовірних (домінуючих) величин, тоді має місце викривлення Гаусового розподілення. Такими неімовірними величинами, що змінюються у часі від температури, струму навантаження і інших причин найчастіше, як показує практика, є математичне очікування $a(t)$ або середньоквадратичне відхилення $b(t)$ імовірної величини Y . Закон розподілення величини Y при фіксованому значенні $a(t)$ або $b(t)$ наведемо миттєвим розподіленням $f(y)$, а з урахуванням змінень $a(t)$ або $b(t)$ - сумарним розподіленням $f_{\Sigma}(y)$. Останнє визначається як закон розподілення суми декількох імовірних величин, як результат композиції миттєвого розподілення $f(y)$ і закону розподілення $a(t)$:

$$f_{\Sigma}(y) = f(y) * \varphi(a), \quad (1)$$

або $b(t)$:

$$f_{\Sigma}(y) = f(y) * \varphi(b). \quad (2)$$

Для визначення імовірності виконання завдання по кожному параметру якості технологічного процесу необхідний сумарний закон розподілення значень показника якості за даний проміжок часу. В найбільш практично розповсюджених випадках миттєве розподілення $f(y)$ підкоряється закону Гауса. Однак,

сумарний закон $f_{\Sigma}(y)$ буде негаусовим і залежить від вигляду функцій $a(t)$ і $b(t)$.

Один з практично можливих випадків полягає в змінінні в часі математичного очікування імовірної величини Y при незмінній її дисперсії σ_y^2 і відомому початковому розподіленні $f_0(y)$, яке підпорядковане закону Гауса. Тоді сумарний закон розподілення $f_{\Sigma}(y)$ для проміжку часу $(t_0 - t_k)$ подається виразом:

$$f_{\Sigma}(y) = \frac{1}{t_k - t_0} \int_{t_0}^{t_k} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot b_0} \exp\left[-\frac{[y - a(t)]^2}{2b_0^2}\right] dt. \quad (3)$$

Якщо технологічний процес такий, що математичне очікування імовірної величини - показника якості Y в часі незмінне, а змінюється її середньоквадратичне відхилення за законом $b(t)$, тоді сумарне розподілення визначиться виразом:

$$f_{\Sigma}(Y) = \frac{1}{t_k - t_0} \int_{t_0}^{t_k} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot b(t)} \exp\left[-\frac{[y - a_0]^2}{2b^2(t)}\right] dt. \quad (4)$$

Середньоквадратичне відхилення сумарного розподілення обчислюється за формулою:

$$\sigma_{\Sigma}(y) = \sqrt{M^2(b) + \sigma^2(b)}. \quad (5)$$

Якщо "розлад" технологічного процесу відбувається з одночасним змінням $a(t)$ і $b(t)$ тоді сумарний закон розподілення має вигляд:

$$f_{\Sigma}(y) = \frac{1}{t_k - t_0} \int_{t_0}^{t_k} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot b(t)} \exp\left[-\frac{[y - a(t)]^2}{2b^2(t)}\right] dt. \quad (6)$$

Дисперсія сумарного розподілення знаходиться як:

$$\sigma_{\Sigma}^2 = M^2(b) + \sigma^2(a) + \sigma^2(b) \quad (7)$$

Імовірність виконання завдання по 1-му параметру нанесеного покриття - це імовірність виконання вимог нормативно-технологічної документації (НТД) по цьому параметру для одиниці виробу, що відновлюється в момент часу t :

$$P_1(t) = P \left\{ x_{н1} \leq x_1(t) \leq x_{в1} \right\} \quad (8)$$

Оптимальний рівень надійності технологічного процесу визначається в роботі при умові мінімізації сумарних витрат на підвищення надійності і скорочення втрат від браку:

$$P_{\Sigma}(t) = 1 - 1 + \alpha \sqrt{\frac{\alpha \cdot Z_0}{N \cdot C_v}} \quad (9)$$

Результати розрахунків показали, що очікуваний рівень надійності нової технології може бути доведений до 0.94 - 0.96, однак, економічно доцільно вести відновлення заданої номенклатури деталей тільки з конкретною річною програмою.

Надійність технологічного процесу за всією сукупністю нормуємих показників якості визначена як імовірність виконання вимог НТД одночасно за "n" параметрами для одиниці продукції, відновленої в момент часу t :

$$P_{1...n}(t) = P \left\{ x_{н1} \leq x_1(t) \leq x_{в1}; \dots; x_{нn} \leq x_n(t) \leq x_{вn} \right\}. \quad (10)$$

Вибрані раніше параметри якості технології залізнення як імовірні величини являють собою сумісні події, котрі можливо вважати незалежними. Отже, імовірність безвідмовної роботи технології відновлення осталенням за проміжок часу $(t_{II} - t_K)$ визначиться як:

$$P_{\Sigma}(t_K) = P_{\delta}(t_K) \cdot P_{H_{\mu}}(t_K) \cdot P_{\sigma}(t_K), \quad (11)$$

де P_{δ} , $P_{H_{\mu}}$, P_{σ} - імовірність безвідмовної роботи, відповідно, щодо товщини δ , мікротвердості H_{μ} , міцності зчеплення $\sigma_{зч}$.

Практичне знаходження сумарних законів розподілення цих параметрів якості в роботі здійснено на підставі даних експерименту, результатом якого є одержані масиви значень δ , H_{μ} і $\sigma_{\text{зч.}}$ для різних величин компонентів електроліту: солі хлористого заліза і соляної кислоти.

За результатами знайдено, що для показника якості "міцність зчеплення" у випадку змінення концентрації основної солі в електроліті і незмінному показнику рН сумарний закон розподілення $\sigma_{\text{зч.}}$ за інтервал часу $t_{\text{п}} - t_{\text{к}}$ може бути поданий виразом:

$$f_{\Sigma}(\sigma_{\text{зч.}}) = \frac{1}{t_{\text{к}} - t_{\text{п}}} \int_{t_{\text{п}}}^{t_{\text{к}}} \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot (47.1 - 0.65t + 0.028t^2)}} \cdot \exp\left[-\frac{[\sigma_{\text{зч.}} - \{226 - 217.9[(1 - 0.991)t + 0.991e^{-t}] + 158.1[(1 - 0.991)t + 0.991e^{-t}]^2\}]}{2(47.1 - 0.65t + 0.028t^2)^2}\right]^2 dt. \quad (12)$$

У випадку, коли показник рН змінюється в процесі нанесення покриття, а концентрація FeCl_2 залишається незмінною, вираз закону розподілення має вигляд:

$$f_{\Sigma}(\sigma_{\text{зч.}}) = \frac{1}{t_{\text{к}} - t_{\text{п}}} \int_{t_{\text{п}}}^{t_{\text{к}}} \frac{1}{\sqrt{2\pi \cdot (39.1 + 4.29t - 0.83t^2)}} \cdot \exp\left[-\frac{[\sigma_{\text{зч.}} - (152.1 - 41.36t - 6.67t^2)]^2}{2(39.1 + 4.29t - 0.83t^2)^2}\right]^2 dt. \quad (13)$$

При одночасному змінненні обох компонентів електроліту в процесі осадження заліза результат його може бути представ-

лений як розподілення системи незалежних імовірних величин $\sigma_{зч.}^{Fe}$ і $\sigma_{зч.}^{pH}$, кожна з котрих розподілена за двумірним нормальним законом:

$$f(\sigma_{зч.}^{Fe}, \sigma_{зч.}^{pH}) = \frac{1}{2\pi \cdot \sigma_{зч.}^{Fe} \cdot \sigma_{зч.}^{pH}} \cdot \exp \left[-\frac{\left\{ \sigma_{зч.}^{Fe} - M_{\sigma_{зч.}^{Fe}} \right\}^2}{2(\sigma_{\sigma_{зч.}^{Fe}})^2} + \frac{\left\{ \sigma_{зч.}^{pH} - M_{\sigma_{зч.}^{pH}} \right\}^2}{2(\sigma_{\sigma_{зч.}^{pH}})^2} \right]. \quad (14)$$

Аналогічно були одержані й наведені в роботі сумарні закони розподілення показників якості "мікротвердість" H_{μ} і "товщина" δ .

Одержані вище закони розподілення графічно представлені в роботі у вигляді кривих на площині і поверхонь у трьохмірному просторі. Імовірність виконання завдання P по одному параметру якості визначається як імовірність попадання в інтервал на осі абсцис ($\sigma_{зч.}^{\min} < \sigma_{зч.} < \sigma_{зч.}^{\max}$). У випадку трьохмірного простору імовірність виконання завдання P визначається як імовірність попадання в зону допустимих значень параметра якості на площині XOY.

Імовірність виконання завдання технологічної системи відновлення деталей (ТС) оцінюється як здобуток імовірностей виконання завдання по кожному параметру, знайденому для однакових умов відновлення. Встановлено, що найбільше значення імовірності виконання завдання ТС складає 0.9745. Допустимими є режими з діапазоном змінення концентрації основної солі від 369 до 409 г/л і показником pH від 0.73 до 0.95.

В роботі також оцінена параметрична надійність групи деталей механічної частини ЕРС як імовірність відмови $p(1)$ для регламентованого пробігу L_p . Результати розрахунків показують, що імовірність відмови збільшується з 0.1% при $L_p = 50 \cdot 10^3$ км до 6.8% при $L_p = 350 \cdot 10^3$ км, що цілком задовільно

при дієчій планово-попереджувальній системі ремонтів.

Четверта глава присвячена розробці джерел живлення гальванічних ванн залізнення. Для забезпечення практичної реалізації запропонованої технології відновлення залізом в роботі розроблений тірісторний перетворювач (А.С. №1458445), який живить ванну асиметричним програмним струмом силою до 300 А промислової частоти і працює в двох режимах: початковому і основному. Програмний режим припускає зменшення струму обернених імпульсів в процесі осадження в початковому режимі і збільшення в основному. Регулювання відбувається автоматично ступінчато через задані інтервали часу.

В п'ятій главі наведені виробничо-технологічні рекомендації по відновленню деталей ЕРС гальванічним залізненням і зроблений розрахунок економічного ефекту від впровадження технології.

Розроблена схема технологічного процесу відновлення деталей електровозів холодним гальванічним залізненням відрізняється від типових варіантів зменшеною кількістю операцій, що стало можливим завдяки застосуванню нестационарних режимів електролізу на асиметричному змінному струмі. При цьому для одержання якісних, міцно зчеплених з основним металом покриттів потрібен диференціальний підхід до завдання режимів осадження в залежності від металу основи і конструктивних особливостей відновлюваних деталей.

Розроблена технологія відновлення і джерело живлення, впроваджені на Запорізькому електровозоремонтному заводі. Для номенклатури деталей електровозів ЧС з п'яти найменувань для встановленої оптимальної річної програми і очікуваному рівні надійності технології 0,97 економічний ефект склав 47428 карбованців (в цінах кінця 1990 р.).

ВИСНОВКИ

Проведені теоретичні дослідження, результати обробки даних експерименту, розроблені режими технології відновлення деталей ЕРС гальванічним залізненням вказують на досягнення поставленої мети і дозволяють зробити такі основні висновки.

1. Розроблена методика визначення показників надійності технологічного процесу відновлення деталей механічної частини електрорухомого складу нанесенням гальванопокриттів. Встановлені показники якості ремонтосмих деталей електролітичним залізненням: міцність зчеплення, мікротвердість, товщина покриття.

2. Досліджений вплив параметрів струмового режиму і електроліту на структуру і фізико-механічні властивості залізних покриттів, а також на продуктивність гальванічних ванн. Встановлено, що найповніше задовольняють необхідним якостям осадки, які одержані в імпульсному режимі при $J_{сер.} = 20-25 \text{ А/дм}^2$.

3. Запропонований новий спосіб нанесення залізного гальванічного покриття на деталі ЕРС, в основу якого покладений програмний струмовий режим (Патент №1820321 АЗ), що суттєво підвищує рівномірність розподілення відновленого шару, в 2-3 рази зменшує масу дендритів, та в 1.5-2 рази поліпшує приробку.

4. Розроблена нова технологія відновлення деталей механічної частини електровозів ЧС і одержана кількісна оцінка параметрів її надійності. Імовірність виконання завдання дорівнює 0.974. Оптимальний діапазон значень параметрів електроліту, який забезпечує заданий рівень надійності: рН 0.73-0.95, концентрація FeCl_2 369-409 г/л.

5. Розроблена методика визначення та одержані оцінки

параметричної надійності деталей, відновлених за новою технологією. Імовірність відмови валиків ресорного підвищення електровозів ЧС при ресурсі 350000 км, що відповідає пробігу між ремонтами ПР-3, дорівнює 0.068.

6. Створені промислові джерела програмного струму, які забезпечують новий технологічний процес (А.С. №1458445).

7. Розроблені технологія відновлення і джерела впроваджені на Запорізькому електровозоремонтному заводі з економічним ефектом 47428 карбованців (в цінах кінця 1990 р.).

Основні положення дисертації опубліковані в роботах:

1. Костин Н.А., Михайленко Ю.В., Замурников В.М. Методика определения показателей надежности изнашиваемых деталей ЭПС, восстанавливаемых гальваническими покрытиями // Повышение эффективности устройств электрического транспорта: Межвуз. сб. науч. тр. - Днепропетровск: ДПИТ, 1989. - С. 6-14.
2. Михайленко Ю.В., Костин Н.А., Заика Н.П., Ковалев В.И. Гальваническое восстановление деталей подвижного состава программными электрическими режимами электролиза // Повышение эффективности устройств электрического транспорта: Межвуз. сб. науч. тр. - Днепропетровск: ДПИТ, 1989. - С. 46-50.
3. Михайленко Ю.В., Костин Н.А. Надежность технологических процессов восстановления изношенных деталей ЭПС гальваническим железнением // Повышение эффективности работы устройств электрического транспорта: Межвуз. сб. науч. тр. - Днепропетровск: ДПИТ, 1993. - С.62-67.
4. Костин Н.А., Замурников В.М., Таекина Т.П., Михайленко Ю.В., Бакум В.А. Новое в гальванотехнической практике ремонта электроподвижного состава // Повышение эффективности работы устройств электрического транспорта: Межвуз. сб. науч.

тр.- Днепропетровск: ДИИТ, 1993.- С. 51-57.

5. Михайленко Ю.В., Костин Н.А. Детали восстанавливают железением // Электрическая и тепловозная тяга.-1992.- №3.- С.18.

6. Патент №1820921 АЗ / Костин Н.А., Михайленко Ю.В., Заика Н.П., Громов Л.А., Заблудовский В.А.- М.: ВНИИПИ, 1993.

7. Авторское свидетельство №1458445 / Каптановский В.И., Заблудовский В.А., Костин Н.А., Крапивной А.В., Ковалев В.И., Замурников В.М., Михайленко Ю.В.- М.: БНИИПИ, 1988.

8. Михайленко Ю.В., Замурников В.М. Повышение надежности деталей электровозов серии ЧС гальванотехническими методами // Проблемы механики железнодорожного транспорта. Тезисы докл. Всес. конф. (май 1988 г.).- Днепропетровск: ДИИТ, 1988.-С.143.

9. Михайленко Ю.В., Замурников В.М. Восстановление изношенных деталей электровозов гальваническими покрытиями // Проблемы развития локомотивостроения: Тезисы докл. Всес. конф. (май 1990 г.).- Ворошиловград: ВМСИ, 1990.- С. 189.

10. Михайленко Ю.В., Костин Н.А. Разработка и надежность технологии восстановления деталей электровозов электролитическим осталиванием // Состояние и перспективы развития электровозостроения в стране: Тезисы докл. Всес. конф. (октябрь 1991 г.).- Новочеркасск: НПО "НЭВЗ", ВЭЛНИИ, 1991.- С. 134.

11. Костин Н.А., Михайленко Ю.В., Бондарь К.И. Восстановление деталей электроподвижного состава гальваническим железением // Ресурсосберегающие технологии в электрохимических производствах: Тезисы докл. Респ. конф. (ноябрь 1987 г.). Харьков: ХПИ, ХНТП, 1987.- С. 58.

12. Каптановский В.И., Михайленко Ю.В. Электроосаждение износостойких железных гальванопокрытий импульсными токами // Технология электроосаждения металлов и сплавов импульсным током: Тезисы докл. Респ. конф.- Киев: УДЭНТЗ, 1993.-С. 2-4.

13. Костин Н.А., Заблудовский В.А., Каптановский В.И., Михайленко Ю.В. Электроосаждение металлов и сплавов управляемыми импульсными режимами // Нестационарные электрохимические процессы: Тезисы докл. конф. (март 1989 г.).- Барнаул: Алтайское правление ВХО им. Д.И. Менделеева, Алтайский государственный университет.
14. Костин Н.А., Замурников В.М., Михайленко Ю.В., Сиромаша В.Н. Электроосаждение износостойких гальванических покрытий импульсными токами // Износостойкие и антифрикционные покрытия: Мат-лы сем. (1991 г.).- М.: МДТИ, 1991.- С. 83-86.
15. Исследование и разработка нового технологического процесса восстановления деталей электровозов электролитическим железнением: (отчет)/ ДДМТ, № ГРО1860101284; Инв. №02890068399.- Днепрпетровск, 1989.- 100 с.

А Н Н О Т А Ц И Я

Михайленко Ю.В. Разработка и оценка надежности технологического процесса восстановления деталей электровозов гальваническим железнением. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям 05.22.07 - подвижной состав железных дорог и тяга поездов и 05.17.03 - техническая электрохимия. Днепрпетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта, Днепрпетровск, 1996 год.

Защищается работа по созданию и оценке надежности нового технологического процесса восстановления деталей механической части ЭПС гальваническим железнением. Результатом проведенных теоретических и экспериментальных исследований явились новый способ электролитического железнения, подтвержденный патентом, методика определения показателей надежности разрабатываемого технологического процесса и методика

оценки параметрической надежности восстановленных деталей, закономерности изменения физико-механических свойств покрытий в зависимости от режимов осаждения, схемное решение источника питания, защищенное авторским свидетельством. Использование результатов работы позволило разработать и внедрить новую технологию восстановления деталей электровозов.

Ключевые слова: надежность, технологический процесс, железнение, параметры режима, импульсный ток.

A B S T R A C T

Mikhaylenko J.V. Development and estimation reliability of technological process for restoring details of electric locomotives by galvanic iron.- The manuscript.- Dissertation on academic degree candidate of technical sciences according to specialities 05.22.07. - Rolling-stock of the railways and trains traction and 05.17.03. - Technical electrochemistry. Dnepropetrovsk State Technical University of Railway Transport. Dnepropetrovsk, 1996.

The dissertation to be defended is created and estimated of reliability new technological process to restoring details of mechanical part ERS by galvanic iron. New method of electrolytic iron confirmed by patent, method of definition indexes reliability worked out of technological process and method of estimation parameters reliability restored details are the result conducted theoretical and experiment investigations. Conformities in changes of physico-mechanical properties of covering taking the dependence of regime precipitation have been investigated and scheme decision of program current source has been defended by patent. New technology restoring details of electric locomotives has been developed and adopted using the results of this work.

МИХАЙЛЕНКО ЮРИЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

Розробка і оцінка надійності технологічного процесу
відновлення деталей електровозів гальванічним залізненням.

05.22.07 - Рухомий склад залізниць та тяга поїздів.

05.17.03 - Технічна електрохімія.

Підписано до друку 5.05.96. Формат 60·84 1/16. Папір
для розмножувальних апаратів. Друк офсетний. Ум. друк. арк.
1,2. Обл.-вид. арк.1,0. Зам. 254. Тираж 100 примірників.
Безкоштовно.

Адреса дільниці оперативної поліграфії:

320700, Дніпропетровськ, вул. Акад. В.А. Лазаряна, 2.