

ДНЕПРОПЕТРОВСКИЙ ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ ЖЕЛЕЗНОДО-  
РОЖНОГО ТРАНСПОРТА ИМЕНИ М. И. КАЛИНИНА

---

На правах рукописи

ЗАМУРНИКОВ ВЛАДИМИР МИХАЙЛОВИЧ

УДК 629.02-192:621.357.7:621.3.04

НАДЕЖНОСТЬ КОНТАКТНЫХ СИСТЕМ  
С ГАЛЬВАНОПОКРЫТИЯМИ  
ЭЛЕКТРОАППАРАТУРЫ ЛОКОМОТИВОВ

(05.22.07 — Подвижной состав железных дорог  
и тяга поездов)

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск — 1992

НТБ  
ДНУЖТ

Работа выполнена в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта им. М.И. Калинина.

Научный руководитель – доктор технических наук, профессор Н.А. Костин.

Официальные оппоненты – доктор технических наук,  
профессор Э.Д. Тартаковский;  
доктор технических наук,  
профессор Ю.Г. Олесов;  
кандидат технических наук,  
доцент Н.Г. Висин.

Ведущее предприятие – Запорожский электровозремонтный завод им. 60-летия ВЛКСМ.

Защита диссертации состоится 9 октября 1992 года в 14 ч. 00 мин. на заседании специализированного совета Д 114.07.01 в Днепропетровском институте инженеров железнодорожного транспорта им. М.И. Калинина по адресу: 320700, ГСП, г. Днепропетровск, ул. Акад. Лазаряна, 2. *ауд 364*

С диссерт  
Авторефер

Ученый се  
специализирова  
кандидат техни  
доцент.

НТБ  
ДНУЖТ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Стратегическая линия развития экономики страны предусматривает широкую программу дальнейшего развития всех отраслей народного хозяйства, в том числе и железнодорожного транспорта. Предусмотрено производство новых электровозов, тепловозов и другого подвижного состава. Все увеличивающиеся мощности, а, следовательно, и сложность энергетических установок тягового подвижного состава объективно обуславливают снижение надежности.

До 50 % отказов тягового подвижного состава - отказы электрического оборудования. В зависимости от вида электрической аппаратуры (аппараты защиты, контакторы, переключатели, цепи управления и т.д.) отказы по состоянию контактов и контактных соединений составляют от 5 до 33 % и остаются одними из самых высоких на измеритель. На трущихся поверхностях контакт-деталей разъединителей, реверсоров, различного рода переключателей гальваническое покрытие перестает выполнять свои функции уже через 25-400 тыс. км пробега в зависимости от толщины покрытия.

Вопросы теории надежности электрического и электронного оборудования подвижного состава и локомотивов в частности, прогнозирования его надежности, разработки оптимальной системы содержания, обслуживания и диагностирования исследованы в работах И.П. Исаева, Н.А. Ротанова, А.В. Горского, Э.Д. Тартаковского, Т.Ф. Кузнецова, А.А. Босова и др. Успешному решению вопросов теории надежности способствует внедрение в практику государственных и отраслевых стандартов и типовых методик расчета показателей надежности.

Электроконтактные системы локомотивов представляют собой химические системы, чувствительные к любой внутренней перестройке структуры материала контакт-деталей и нанесенного на них гальванического покрытия, приводящей к изменению физико-химических свойств. Последние хорошо коррелируют с условиями, при которых велось нанесение электроконтактных покрытий, особенно импульсным током различных форм и параметров. Поэтому представляется интересным оценить в вероятностной трактовке показатели надежности контактных систем с гальванопокрытиями. Однако, несмотря на известные достоинства программных режимов импульсного эл. строения, прикладное их использование для изделий силовой точкой электроаппа-

57082

ратуры тягового подвижного состава сдерживается: ограниченностью исследования процессов осаждения в импульсных режимах, отсутствием серийного изготовления источников импульсного тока и др.

С другой стороны, в связи с острым дефицитом серебра, применяемого в качестве электроконтактного покрытия, исследована возможность замены его на один из сплавов "простого" и более дешевого металла, например, олова.

Актуальность намеченных задач исследования подчеркивается включением их в отраслевую программу № 0.54.02.3 (указание МПС № 1473 от 25.12.86г.) по приказу МПС № 25 ЦЗ от 6.11.87г. ("Исследование и разработка новой технологии электроосаждения гальванических покрытий на контактные детали электроаппаратуры электровозов", шифр 18.01.36.88.89.89.), а также в координационные планы комплексных программ научно-исследовательских работ на 1981-1990 годы Научных Советов АН Украины.

**Цель работы** - разработка методики и определение показателей надежности контактных систем локомотивной электрической аппаратуры с гальванопокрытиями сплавом олова, электроосажденным по новой технологии.

**Научная новизна:**

- разработан графоаналитический метод определения показателей надежности контактных систем электроаппаратуры с гальванопокрытиями;
- оценены параметры технологической и временной стабильности контактных покрытий электроаппаратуры локомотивов;
- изучено влияние режимов импульсного электролиза на эксплуатационные свойства и производительность процесса нанесения сплава олово-висмут;
- разработаны новые способы электроосаждения электроконтактных гальванопокрытий (А.с. 1661260, 1420078);
- разработаны устройства для питания заводских гальванических ванн импульсным током (А.с. 1458445).

**Практическая ценность.** Предложена методика расчета показателей надежности контактных систем с гальванопокрытиями, позволяющая прогнозировать их надежность на стадии изготовления и в процессе эксплуатации.

Определены технологическая и временная (эксплуатационная) стабильности величин контактного сопротивления и износа электро-

ДНУ

контактных покрытий ряда электрических аппаратов пассажирских электровозов серии ЧС и на этом основании разработан способ электроосаждения сплава олово-висмут, позволивший заменить остродефицитное серебро.

Изготовлен промышленный источник импульсного программного тока для нанесения покрытий по новой технологии. Возможно также его применение для электроосаждения целого ряда других металлов.

Реализация работы. На основе проведенных исследований на одном из предприятия разработана и внедрена новая технология ремонта контактных систем электровозов серии ЧС путем нанесения на них сплава олово-висмут вместо серебряных электроконтактных покрытий. Экономический эффект от внедрения новой технологии на одну гальваническую ванну составил 215 тыс. руб. в год (в ценах на 1.05.1992 г.).

Апробация работы. Основные положения диссертации доложены, обсуждены и одобрены: на Всесоюзной конференции "Проблемы механики железнодорожного транспорта. Повышение надежности и совершенствование конструкции подвижного состава" (Днепропетровск, 1988); Всесоюзной конференции "Пути повышения качества и надежности скользящих электрических контактов" (Симферополь, 1988); Всесоюзной научно-практической конференции студентов и аспирантов, молодых ученых и специалистов (Москва, 1990); Всесоюзных конференциях по локомотивостроению (Луганск, 1990; Новочеркасск, 1991); Республиканской конференции "Ресурсосберегающие технологии в электрохимических производствах" (Харьков, 1987); зональной научно-практической конференции "Прогрессивная технология и вопросы экологии в гальванотехнике" (Пенза, 1991); научно-техническом семинаре "Износостойкие и антифрикционные покрытия" (Москва, 1991).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 3 авторских свидетельства.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, содержит 57 рисунков, 23 таблицы, изложена на 162 страницах. Список цитируемой литературы содержит 109 наименований работ отечественных и зарубежных авторов.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит обоснование актуальности темы диссертацио-

АНТЪ  
ДНЕЖТ

иную работы.

В первой главе "Состояние проблемы и задачи исследования" приведена классификация функционирующих на локомотивах контактных систем с гальваническим покрытием рабочих поверхностей.

Перспективным в повышении надежности контактов, экономии драгоценных металлов, является использование неблагородных металлов, в частности, олова и его сплавов с висмутом и др. металлами. Сплав олова с висмутом повышает адгезионную стойкость первого, существенно снижает вероятность образования интерметаллидов олова и меди на границе покрытие - основа.

Выпущенный литературный анализ свидетельствует, во-первых, об очень ограниченном числе исследований свойств сплава олово-висмут, полученных в импульсных условиях электроосаждения. Во-вторых, в связи с выявленным положительным эффектом при осаждении сплава олово-висмут периодическими формами импульсного тока, представляется несомненный интерес в дальнейшем более глубоком исследовании влияния параметров импульсного тока на структуру и свойства осадков сплава.

Очевидны актуальность и практическое значение разработки научно-обоснованных методов расчета показателей надежности контактных соединений с гальваническими покрытиями. Нам неизвестны публикации по этому вопросу, наиболее правильные результаты представляется возможным получить, пользуясь методами теории вероятностей и математической статистики.

В связи с вышеизложенным для достижения сформулированной цели в настоящей диссертационной работе предусматривается:

1. Разработать методику и определить показатели надежности контактных систем с гальванопокрытиями электроаппаратуры локомотивов.

2. Оценить параметры технологической и временной стабильности величин контактного сопротивления и износа материала покрытий электроконтактных деталей.

3. На основании положений разработанной методики получить новое электроконтактное покрытие, способное выдержать серебряное на deposit контактных систем электроаппаратуры, исследовав влияние (рис.1.): постоянного (а), импульсного униполярного (б), импульсного прерывисто-реверсированного (в), импульсного биполярного промышленной частоты (г) и импульсного биполярного пачного

(б) технологических токов на производительность процесса электроосаждения, структуру и физико-механические свойства покрытий.

4. Разработать и изготовить промышленные образцы источников импульсного тока, обеспечивающие предложенную технологию нанесения нового электроконтактного покрытия.

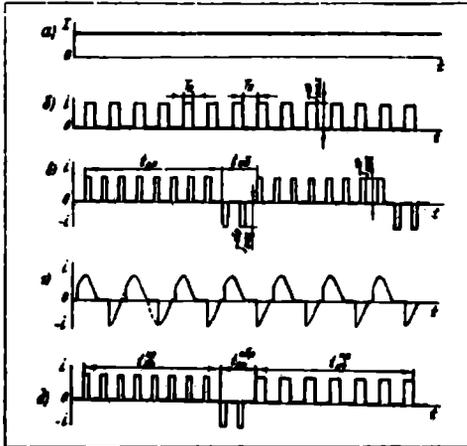


Рис. 1. Формы электрического тока, используемого при нанесении электроконтактных покрытий: постоянный (а), импульсный униполярный (б), импульсный прерывисто-реверсивный (в), импульсный биполярный промышленной частоты (г), импульсный биполярный пачковый (д).

Во второй главе "Методика и техника экспериментальных исследований" описаны условия экспериментов и методы исследований.

Наличие большого числа факторов, определяющих надежность локомотивов, крайне затрудняет исследования в реальных условиях эксплуатации и прогнозирование его работоспособности. Существенное значение для решения этой задачи имеет проведение стендовых испытаний отдельных узлов и агрегатов в заводских условиях. Испытания электроконтактных гальванических покрытия на контактных деталях электрической аппаратуры электровозов серии ЧС проводились по методикам и программам, разработанным согласно требованиям соответствующих ГОСТ.

Износостойкость определяли методом вставок образцов в изнашиваемую деталь. С этой целью в действующий манет крышевого разъединителя 7FS1 помещались образцы, покрытые серебром, оловом или сплавом олово-висмут (вместо губок щеток).

Для измерения удельного электрического сопротивления материала контактного покрытия  $\rho$  использован четырехзондовый метод.

Переходное электрическое сопротивление контактных покрытий измеряли согласно ГОСТ 16876-71.

НЭИ  
ДНУЖТ

Определение пористости покрытий производили методом окрашенных точек.

Коррозионная стойкость покрытий изучалась по скорости коррозии весовым методом, комплексными климатическими испытаниями согласно ГОСТ 16982-71 и методом циклического погружения в 3%-ный водный раствор хлористого натрия (ГОСТ 9.02-73).

При замере температуры контактных соединений использовали метод термопар.

Изучение импульсных режимов нанесения сплава олово-висмут проводилось в кислом электролите состава, (моль/л): олово серно-кислое - 0,25; кислота серная - 1,0; висмут азотнокислый - 0,02; вещество вспомогательное - 5 г/л. Температура - 18 - 25°C.

Поляризационные измерения в импульсных режимах электролиза осуществляли на установке, обеспечивающей компенсацию омического падения напряжения в электролите, а также с помощью микропроцессорного комплекса, специально разработанного для этих целей.

Анализ сплава на содержание висмута проводили фотокалориметрическим методом на приборе ФЭК-58.

Для исследования распределения висмута в осадке сплава по микропрофилю был применен метод электроннозондового рентгеноспектрального анализа на микроанализаторе MS-46 "Камека".

Исследование структуры поверхности покрытия производили на металлографическом микроскопе "EPIQUANT".

Тонкую структуру, параметры кристаллической решетки и текстуру осадков исследовали с помощью рентгеновского дифрактометра ДРОН-УМ-1 на кобальтовом излучении с Fe-фильтром.

Микротвердость осадков измерялась на микротвердомере ПМТ-3 при нагрузке на индентор 0,5-2,0 Н.

Параметры шероховатости - среднее арифметическое отклонение профиля  $R_a$  и шаг микронеровностей  $S_m$  - измеряли профилографом-профилометром типа А1 (ГОСТ 18299-73 и ГОСТ 18300-73) модели 252.

В третьей главе "Разработка графоаналитической методики определения показателей надежности контактных систем с гальванопокрытиями" предложена модель надежности, определены понятия технологической и временной (эксплуатационной) стабильности, выбраны показатели надежности, описаны аналитические и графические способы их нахождения.

Технологическая стабильность, численно представляющая собой

вероятность  $P_T$  того события, что определенный параметр (свойство) гальванического покрытия не превысит предельно допустимые значения в первый момент времени после нанесения покрытия, является функцией определенных свойств материала покрытия  $\sum a_i$  и параметров режима его электроосаждения  $\sum P_i$ :

$$T = \varphi \left[ \sum a_i ; \sum P_i \right] \quad (1)$$

Эксплуатационная стабильность характеризует вероятность того, что в процессе эксплуатации некоторые параметры (свойства) гальванического покрытия не превысят предельно допустимые значения, и является функцией режимов работы электрического оборудования, а также зависит от скорости протекания процессов старения и диффузии в материале гальванического покрытия, т.е.:

$$\Xi = f \left[ N', N'', C \right], \quad (2)$$

где  $N'$ ,  $N''$  - параметры электрической и механической нагрузки контактных систем;  $C$  - параметр, отражающий скорость протекания процессов старения, диффузии в материале покрытия.

Таким образом, надежность контактных систем  $H$  будет зависеть от величин  $T$  и  $\Xi$ :

$$H = \Phi \left( \varphi \left[ \sum a_i ; \sum P_i \right], f \left[ N', N'', C \right] \right) \quad (3)$$

Выражение (3) говорит о том, что надежность контактных систем  $H$  является величиной, зависящей от мгновенно протекающих процессов (технологическая стабильность  $T$ ) и времени (эксплуатационная стабильность  $\Xi$ ). Согласно (3), для определения характера поведения функциональных свойств материала покрытия с момента его нанесения возникла потребность в разработке методики определения показателей надежности.

Электроконтактные системы локомотивов представляют собой технические системы, для оценки надежности которых может быть использована вероятностная модель отказов типа "нагрузка - прочность". Согласно этой модели система функционирует нормально, если выполняется условие:

$$N(\bar{X}_1) > M(\bar{X}_2), \quad (4)$$

где  $\bar{X}_1 \in \bar{X}$ ,  $\bar{X}_2 \in \bar{X}$ ,  $\bar{X} = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$  - вектор независимых величин, характеризующих  $M$  и  $N$ . Основными факторами  $X_i$  ( $i = \overline{1, n}$ ) для электроконтактных систем локомотивов являются те, от

ДНУЖТ

которых зависят контактное сопротивление  $R_{кс}$  и износ  $\Delta$  гальванического электроконтактного покрытия.

Величины  $M$  и  $N$  имеют вероятностный характер, так как зависят от множества случайных факторов технологического и эксплуатационного характера.

Тогда условие работоспособности (4) заменяется условием:

$$M < N/\kappa_3, \quad (5)$$

где  $\kappa_3$  - коэффициент запаса.

Дополнительно необходимо знать вероятность отказа  $Q(L)$  при данной величине  $\kappa_3$ . Если распределения независимых  $M$  и  $N$  подчиняются нормальному закону, то нахождение  $Q(L)$  значительно упрощается:

$$Q(L) = 1/2 - \Phi(Z/\sigma_z) \quad (6)$$

Переменную  $Z/\sigma_z$  функции Лапласа  $\Phi$  в формуле (6) обозначим через  $\beta$  и назовем характеристикой резерва:

$$\beta = Z/\sigma_z = 1/\omega_z, \quad (7)$$

где  $\omega_z$  - коэффициент вариации или изменчивости величины  $Z$  функции работоспособности, равной  $N(X_1) - M(X_1) > 0$ .

Связь между коэффициентом запаса  $\kappa_3$  и характеристикой резерва  $\beta$  имеет вид:

$$\beta = \left\{ \kappa_3 - 1 \right\} / \sqrt{\omega_N^2 \kappa_3 + \omega_M^2} \quad (8)$$

$$\kappa_3 = \left\{ 1 + \beta \sqrt{\omega_N^2 + \omega_M^2 - \alpha \beta^2 \omega_N^2 \omega_M^2} \right\} / \left\{ 1 - \beta^2 \omega_N^2 \right\} \quad (9)$$

Приведенные выше формулы нахождения показателей надежности основываются на использовании законов распределения величин  $M$  и  $N$ , определение которых в работе осуществляется как аналитически, так и графически согласно методу М.А. Бородачева, наиболее близкого по физической сути явлениям, происходящим в контактных системах. Согласно этому способу, для любой случайной величины  $X$  можно построить так называемые мгновенное и суммарное (результатирующее) распределения. Фактически это означает, что имеет место смещение центра группирования  $a(t)$  или  $a(L)$  и увеличение рассеивания  $b(t)$  или  $b(L)$  значений рассматриваемой случайной величины.

При одновременном учете влияния изменяющихся  $a(t)$  и  $b(t)$  имеем результирующее распределение величины  $X$ :

ДНУЖТ

$$f_x(x) = 1 / \left[ (t_k - t_0) \int_{t_0}^{t_k} \left[ \sqrt{2\pi} b(t) \exp \left[ - \left( x - a_0 - a(t) \right)^2 / 2b^2(t) \right] dt \right. \right. \quad (10)$$

Технологическая стабильность определяется характером изменения переходного электрического сопротивления (п.в.с.):

$$R_{пер} = \rho S_m N_\mu / 5 F \beta \quad (11)$$

Если известны законы распределения случайных величин, входящих в формулу (11), допуски и поле рассеивания  $R_{пер}$  определяются выражением:

$$\sigma_{пер}^2 = \sigma_{\rho}^2 + \sigma_{S_m}^2 + \sigma_{N_\mu}^2 + \sigma_{F_0}^2 + \sigma_{\beta_0}^2, \quad (12)$$

где слагаемые являются квадратами относительных допусков параметров покрытий контакт-деталей; величины  $\sigma_{\rho_0}$ ,  $\sigma_{S_m 0}$ ,  $\sigma_{N_\mu 0}$ ,  $\sigma_{F_0 0}$ ,  $\sigma_{\beta_0}$  являются относительными стандартными допусками параметров покрытия.

Временная стабильность характеризует закон изменения величины контактного сопротивления покрытия  $R_{кс}$  в функции времени работы при данной токовой нагрузке или пробега  $L$ . На характер поведения зависимости  $R_{кс} = f(t)$  оказывают влияние два фактора:

- старение материала покрытия под воздействием тепловых полей токовой нагрузки и атмосферных условий;
- диффузионные явления, происходящие в бинарных сплавах вследствие наличия градиента концентрации одного из компонентов.

Влияние первого фактора изучалось в режимах циклического нагрева, что наблюдается и в реальных условиях эксплуатации.

Влияние второго фактора на поведение контактных сопротивлений аппроксимировано выражением:

$$R'_{пер}(t) / R_{пер}(0) = 1 + \alpha \left[ t - 2\delta^2 \tau_0 / \left\{ \mu^2 \exp \left[ -U / K\theta \right] \right\} \right] / C_0 \quad (13)$$

Износ покрытия  $\Delta$  определяется функциональными свойствами материала и величиной удельного давления на контактные поверхности, а также количеством циклов "включено-выключено". Последнее определялось в работе обработкой статистических данных, получен-

ных по результатам опытных поездок.

В конце главы формулируются требования к функциональным электроконтактным покрытиям.

В четвертой главе "Разработка технологии электроосаждения электроконтактного покрытия сплавом олово-висмут" на основании изучения влияния параметров импульсного технологического тока (амплитуды, длительности импульсов, их скважности, частоты следования) на катодное перенапряжение (напряжение на границе деталь-электролит), состав сплава, физико-механические свойства и скорость осаждения разработаны эффективные режимы нанесения электроконтактного сплава олово-висмут с функциональными свойствами, сформулированными на основании разработанной методики.

Исследованиями установлено, что покрытия, полученные на постоянном токе, характеризуются невысокими микротвердостью и износостойкостью, а также значительной пористостью. Содержание висмута в осадке составляет 0,5-0,7 масс.%, а п.э.с. - в среднем 1,6-1,8 мОм. В этой связи использование постоянного тока для нанесения электролитического покрытия из простого кислого электролита не может быть рекомендовано для практических целей.

Применение импульсного униполярного тока фиксированной частоты (рис.1 ,б) повышает микротвердость и износостойкость осадков, но при этом содержание висмута уменьшается до 0,2-0,3 масс.% что снижает защитные функции покрытия; пористость составляет 0,5 см<sup>-2</sup>.

Содержание висмута в сплаве возрастает до 1,5-1,7 масс.% при осаждении покрытий высокочастотным импульсным реверсированным током (рис.1 ,в), что снижает вероятность образования интерметаллически соединений олова и меди, ухудшающих электрические свойства покрытий - удельное и переходное электросопротивления. Но при этом микротвердость и износостойкость осадков низки, сохраняется высокая пористость. Установлено, что на содержание висмута в сплаве существенное влияние оказывает как время действия обратных пачек импульсов тока ( $t_{обр}$ ), так и отношение продолжительностей прямого и обратного токов ( $t_{пр}/t_{обр}$ ). Уменьшение  $t_{обр}$  при увеличении  $t_{пр}/t_{обр}$  приводит к уменьшению концентрации висмута в сплаве. Увеличение  $t_{обр}$  или уменьшение  $t_{пр}/t_{обр}$  способствует увеличению содержания висмута в сплаве.

Биполярный ток промышленной частоты (рис.1 ,г) с регулируе-

ной длительностью прямых и обратных импульсов позволяет изменять концентрацию висмута, а значит защитные и электрические свойства осадков в широких пределах. С увеличением амплитуды прямых импульсов содержание висмута снижается. Увеличение количества электричества, протекающего в обратном направлении при неизменной средней плотности тока за период, ведет к росту содержания висмута в сплаве, что, несомненно, связано с растворением более электроотрицательного компонента - олова - во время обратного полупериода тока.

Приведенный анализ обусловил необходимость, а дальнейшие исследования позволили создать программные импульсные режимы биполярного тока. При этом процесс осаждения состоит из нескольких циклов, в которых изменяется количество высокочастотных серий прямых и обратных импульсов, а также средняя плотность тока. В случае применения биполярного тока промышленной частоты от цикла к циклу изменяются параметры обратных импульсов тока, а средняя плотность тока непрерывно повышается. От первого цикла к третьему уменьшаются: количества высокочастотных пачек в циклах от пяти до единицы, средняя плотность тока от 2,0 до 0,5 А/дм<sup>2</sup>. При этом частота следования импульсов в высокочастотных пачках составляет 400 Гц при длительности катодной пачки  $t_{\text{кр}} = 3-6$  сек, анодной -  $t_{\text{оа}} = 0,5-1,0$  сек, а в низкочастотной пачке 25 Гц при длительности ее  $t_{\text{нр}} = 5-9$  сек.

В дальнейшем в главе описаны схемные решения, принцип работы и основные технические данные разработанных автором преобразователей программного импульсного технологического тока, используемого при ремонте электроконтактных систем.

В пятой главе "Оценка надежности и характеристик контактных систем с гальваническими покрытиями" рассчитаны показатели надежности, технологическая и временная (эксплуатационная) стабильности на примере наиболее нагруженных в токовом отношении электрических аппаратов электровозов серии ЧС - реверсоров 11 PR и электропневматических контакторов типа SVAD.

Результаты расчетов допусков и поля рассеивания величины  $R_{\text{нр}}$  представлены в таблице.

НТБ  
ДНУЖТ

Таблица.

Результаты расчетов относительных стандартных допусков на среднеквадратические отклонения случайных величин  $\rho, S_m, H_A, F, \beta$ .

Вид покрытия контакт-деталей	Относительные допуски на среднеквадратические отклонения					
	ОТКЛОНЕНИЯ					
	$\sigma_{\rho_0}$	$\sigma_{S_m}$	$\sigma_{H_A}$	$\sigma_{F_0}$	$\sigma_{\beta_0}$	$\sigma_{n_{перо}}$
Серебряное	0,020	0,049	0,034	0,034	0,1	0,237
Олово-висмут	0,023	0,049	0,039	0,034	0,1	0,245

Полные относительные стандартные допуски на отклонение сопротивления  $R_{KC}$  с учетом относительного частного допуски на удельное сопротивление меди и т.д. будут равны 0,275 - для серебряных покрытий и 0,283 - для покрытия сплавом олово-висмут.

Анализ результатов показывает, что разработанная технология нанесения гальванического электроконтактного покрытия сплавом олово-висмут обеспечивает высокие показатели надежности ( $\beta$  и  $\kappa_3$ ) на стадии технологической сборки и монтажа контактных соединений, а вероятность отказа  $Q$ , например, для реверсора составляет незначительную величину: с покрытием контакт-деталей оловом -  $9 \cdot 10^{-6}$ , сплавом олово-висмут -  $13 \cdot 10^{-6}$ .

Новое покрытие сплавом олово-висмут на контактных деталях аппаратов "рубильникового" типа обеспечивает стабильное контактное сопротивление и высокие показатели надежности. Значения величин контактного сопротивления не достигают предельно допустимых, поэтому вероятность  $Q$  равняется нулю.

Результирующий закон распределения  $R_{KC}$  за межремонтный период определяется композиционным методом и для реверсора с покрытием контакт-деталей, например, сплавом олово-висмут имеет вид:

$$f_{\Sigma}(R_{KC}) = 1 / (N_K - N_0) \int_{N_0}^{N_K} 1 / \left[ \sqrt{2\pi} (0,91 \cdot 10^{-2} + 5,3 \cdot 10^{-12} N) \right]$$

$$\exp \left\{ - (R_{KC} - R'_{пер}(t) - 4,25 \cdot 10^{-2} - 4,25 \cdot 10^{-2} - 0,17 \cdot 10^{-2} N)^2 \right.$$

$$\left. \left[ 2(0,91 \cdot 10^{-2} + 5,3 \cdot 10^{-12} N)^2 \right] \right\} dN; \quad (14)$$

Законы суммарных распределения позволяют определить вероят.

ДНУКТ

ности выхода величин  $R_{\text{КС}}$  за предельно допустимые значения  $R_{\text{КС}}^{\text{доп}}$ : На рис. 2 эта вероятность, т.е. отказы соответствующих контактных соединения, представлены заштрихованной площадкой. Она равна, для реверсоров с покрытием контакт-деталей оловом и сплавом олово-висмут - соответственно 0,11 и 0,08.

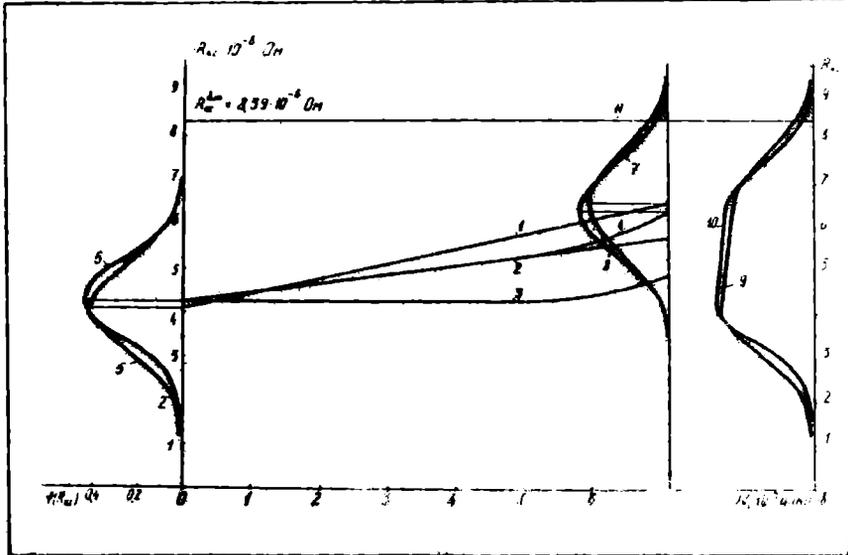


Рис.2. Результирующие теоретические законы распределения величин  $R_{\text{КС}}$  реверсора 11PR за межремонтный пробег для покрытия оловом (9) и сплавом олово-висмут (10): 1,2 - зависимости изменения среднего значения  $R_{\text{КС}}$  для олова и сплава соответственно; 3 - зависимость величины  $R_{\text{КС}}$  для сплава; 4 - суммарная зависимость изменения величины  $R_{\text{КС}}$  для сплава; 5,6 - начальные мгновенные теоретические функции распределения  $R_{\text{КС}}$  для олова и сплава; 7,8 - то же в конце межремонтного пробега; 11 - значение величины  $R_{\text{КС}}^{\text{доп}}$

Выражение результирующего закона распределения износа во всех диапазонах изменения удельного давления  $p$  и количества циклов "включено-выключено"  $N$ , определится методом композиции:

$$f_{\Sigma}(\Delta) = 1 / \left[ 2\pi \sigma^2 (N_{\text{max}} - N_{\text{min}}) \right] \int_{p_{\text{min}}}^{p_{\text{max}}} \exp\left\{-\left[\Delta - \bar{\Delta}(p)\right]^2 / \right.$$

НТБ  
ДНУЖТ

$$\{2\sigma^2 - (1/p)^2/2\} dp \quad (15)$$

На рис.3 представлены результирующие законы распределения износа контакт-деталей.

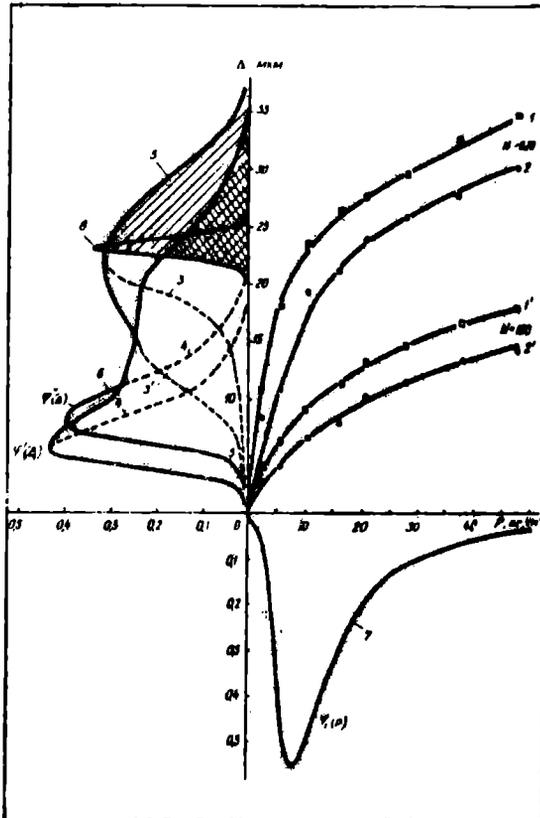


Рис.3. Результирующие теоретические законы распределения величин износа  $\Delta$  контактов крышного разъединителя 7781 для покрытия серебром (5) и сплавом олово-висмут (6): 1,2 - зависимости  $\Delta = f(p)$  для  $N=620$  покрытия серебром и сплавом; 1',2' - зависимости  $\Delta = f(p)$  для  $N=190$  покрытия серебром и сплавом; 3,4 - теоретические функции распределения  $\phi(\Delta)$  для  $N=190$  покрытия серебром и сплавом; 3,4 - то же для  $N=620$ ; 7 - теоретическая функция распределения  $\phi(p)$  величины удельного давления  $p$ .

НИИ  
ДНУЖТ

На рис.3 вероятности выхода износа за критическую величину (для серебра и сплава олово-висмут) представляет собой заштрихованные площадки, начинающиеся от левой ветви (нижней на рисунке) кривой закона распределения  $\Phi(\Delta^{\text{вп}})$ . Они равны 0,19 и 0,14 соответственно для серебряного покрытия и покрытия сплавом олово-висмут. Следовательно, по своим фрикционным свойствам покрытие сплавом олово-висмут превосходит серебряное на 20 %.

### Заключение

1. Разработан графоаналитический метод определения показателей надежности контактных систем с гальванопокрытиями электроаппаратуры локомотивов и определены их значения на примере пассажирских электровозов чехо-словацкого производства ЧС.

2. Отмечена высокая технологическая стабильность величины контактного сопротивления неразъемных соединений и контактов "рубильникового" типа. Вероятность выхода величин контактного сопротивления за предельно допустимые значения составила величину  $13 \cdot 10^{-4}$  для наиболее нагруженных в токовом отношении электрических аппаратов - реверсоров 11PR электровозов ЧС4.

3. Временная стабильность величины контактного сопротивления реверсоров 11PR с покрытием контакт-деталей сплавом олово-висмут, разработанного по новой технологии, выше, чем у оловянных. Вероятность выхода величины контактного сопротивления за предельно допустимое значение не превышает  $7,93 \cdot 10^{-2}$ , при этом коэффициент запаса  $\kappa$ , и характеристика резерва  $\beta$  соответственно равны 1,34 и 1,41 (для оловянных покрытий -  $11,2 \cdot 10^{-2}$ , 1,27 и 1,33).

4. Электроконтактные гальванические покрытия сплавом олово-висмут на трущихся поверхностях электрических аппаратов, коммутирующих силовые электрические цепи без токовой нагрузки, более износостойки, что обеспечило повышение их временной стабильности на 20 - 25 % по сравнению с серебряными.

5. Выполнены исследования по влиянию различных форм и параметров технологического тока электроосаждения на катодное перенапряжение, выход по току, скорость осаждения, структуру и свойства электроконтактных гальванопокрытий сплавом олово-висмут. Установлено, что величина амплитуды потенциала  $\Phi_{\text{max}}$  повышается при увеличении амплитуды импульсов и монотонно снижается при повыше-

5708 oc

нии частоты их следования, температуры электролита. Максимальный выход по току - при поляризации катода высокочастотным импульсным реверсированным током, а наибольшая величина скорости осаждения, равная 0,80-0,85 мкм/мин, имеет место на программных пачковых режимах. На этих режимах получены твердые (до 190 МПа), износостойкие, с повышенными защитными свойствами, малым (1,41 мОм) переходным электрическим сопротивлением гальванические покрытия.

6. Разработана и внедрена новая технология нанесения электроконтактных гальванопокрытий сплавом олово-висмут со свойствами, отвечающими условиям работы электроподвижного состава, в частности, серии ЧС (А.с. № 1661250) на Запорожском электровозоремонтном заводе.

7. Созданы новые промышленные типы источников программного биполярного тока для питания электролизеров, обеспечивающих разработанные технологии. Один из них защищен авторским свидетельством (А.с. № 1458445).

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Повышение надежности подвижных электрических контактов "рубильникового" типа на локомотивах железных дорог / В.М. Замурников, Н.А. Костян, В.А. Заблудовский // Сб. науч. тр. - Симферополь, 1988. - С. 33-36.

2. Михайленко Ю.В., Замурников В.М. Повышение надежности деталей электровозов серии ЧС гальванотехническими методами // Тез. докл. Всесоюз. конф. "Проблемы механики железнодорожного транспорта. Повышение надежности и совершенствование конструкций подвижного состава". - Днепропетровск, 1989. С. 143-144.

3. Костян Н.А., Михайленко Ю.В., Замурников В.М. Методика определения показателей надежности изнашиваемых деталей электроподвижного состава, восстанавливаемых гальваническими покрытиями // Межвуз. сборник науч. тр. - Днепропетровск, 1989. - С. 6-14.

4. Костян Н.А., Замурников В.М. Экономия серебра при ремонте контактов // Электр. и тепл. тяга. - М., 1990. - № 9. - С. 23.

5. Михайленко Ю.В., Замурников В.М. Восстановление изношенных деталей электровозов гальваническими покрытиями // Тез. докл. III Всесоюз. науч.-техн. конф. "Проблемы развития локомотивостроения". - Луганск, 1990. - С. 147-148.

НЕ  
ДНУЖТ

6. Замурников В.М. Новая технология ремонта контактов электровазозов // Электр. и тепл. тяга. - М., 1991. - № 4. - С. 30.

7. Замурников В.М. Новые технологии восстановления контактных покрытий электроаппаратуры при ремонте электроподвижного состава // Тез. докл. VII Всесоюз. науч.-техн. конф. "Состояние и перспективы развития электровазостроения в стране". - Новочеркасск, 1991. - С. 141-142.

8. Костин Н.А., Замурников В.М., Заблудовский В.А., Маренич А.В. Электроосаждение серебряных покрытий импульсным током // Тез. докл. 11-ой зональной конф. "Теория и практика электроосаждения металлов". - Пенза, 1986. - С. 66-67.

9. Костин Н.А., Замурников В.М., Панченко В.Г. Экономия серебра при нанесении многослойных покрытий // Тез. докл. Респ. конф. "Ресурсосберегающие технологии в электрохимических производствах". - Харьков, 1987. - С. 59-60.

10. Костин Н.А., Замурников В.М., Заблудовский В.А., Крапивная А.В. и др. Получение защитных металлических покрытий программными режимами импульсного электролиза // Тез. докл. Всесоюз. конф. "Прогрессивные методы и средства защиты металлов и изделия от коррозии". - М., 1988. - С. 77-78.

11. Костин Н.А., Замурников В.М., Сиромыха В.Н., Михайленко Ю.В. Основные факторы импульсных режимов электролиза, повышающих коррозионную стойкость гальванопокрытий // Тез. докл. зон. конф. "Современные проблемы коррозии и защиты от коррозии в народном хозяйстве". - Уфа, 1990. С. 47-48.

12. Замурников В.М., Костин Н.А., Заблудовский В.А., Панченко В.Г. и др. Структура и свойства покрытия сплавом олово-висмут, полученных импульсными режимами электролиза // Защита металлов. - 1990. - Вып. 4. - Т. 26. - С. 679-682.

13. Костин Н.А., Замурников В.М., Михайленко Ю.В., Сиромыха В.Н. Электроосаждение износостойких олово-висмутовых и железных покрытий импульсными токами. Материалы семинара. - М., 1991. С. 83-86.

14. А.с. СССР 1420078 МКИ<sup>4</sup> 025 Д 3/56, 3/48. Способ электроосаждения никельсодержащих покрытий.

15. А.с. СССР 1458445 МКИ<sup>4</sup> 025 Д 21/12. Устройство для питания гальванических ванн импульсным реверсивным током.

16. А.с. СССР 1661250 МКИ<sup>4</sup> 025 Д 5/18, 3/60. Способ электроосаждения сплава олово-висмут.

ДНУЖТ

## **А В Т О Р Е Ф Е Р А Т**

### **НАДЕЖНОСТЬ КОНТАКТНЫХ СИСТЕМ С ГАЛЬВАНО- ПОКРЫТИЯМИ ЭЛЕКТРОАППАРАТУРЫ ЛОКОМОТИВОВ**

Ответственный за выпуск: Петрович Л. В.

Подписано к печати 22.09 92 г Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Офсетная  
печать. Усл. печ. л. 1. Заказ № 5586. Бесплатно.

Издательско-полиграфическое арендное предприятие «Днипро».  
320070, г Днепропетровск, ул. Серова, 7.

Сканировала Камьянская Н.А.

**НТБ  
ДНУЖТ**