Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

На правах рукописи

CAT

Шишурин Сергей Александрович

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АГРЕГАТОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ВОССТАНОВЛЕНИЕМ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ НАНОКОМПОЗИЦИОННЫМИ ГАЛЬВАНО-ХИМИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

Специальность: 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант: д.т.н., профессор Сафонов Валентин Владимирович

Саратов – 2019 г.

оглавление

ВВЕДЕНИЕ7
1 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ. ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ
ИССЛЕДОВАНИЯ 19
1.1 Надежность сельскохозяйственной техники 19
1.1.1 Долговечность агрегатов топливной аппаратуры
сельскохозяйственной техники 24
1.1.2 Долговечность агрегатов гидравлической аппаратуры
сельскохозяйственной техники 31
1.2 Анализ способов ремонта и повышения долговечности агрегатов
топливной и гидравлической аппаратуры 39
1.2.1 Анализ способов восстановления и упрочнения плунжерных пар
топливных насосов высокого давления 39
1.2.2 Анализ способов восстановления и упрочнения золотниковых пар
гидрораспределителей 47
1.3 Перспективы применения нанокомпозиционных гальвано-химических
покрытий для повышения долговечности агрегатов топливной и
гидравлической аппаратуры 50
1.3.1 Физико-механические свойства и механизм образования
нанокомпозиционных электролитических покрытийй
1.3.2 Физико-механические свойства и механизм образования
нанокомпозиционных химических покрытий 66
1.4 Выводы по первой главе71
2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ
АГРЕГАТОВ ТОПЛИВНОЙ И ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ 74
2.1 Ресурс агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры
2.2 Механизм упрочнения нанокомпозиционных гальвано-химических
покрытий 80
2.2.1 Дислокационный механизм упрочнения нанокомпозиционных
гальвано-химических покрытий 80

2.2.2 Упрочнение нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий
вследствие измельчения зерна 88
2.3 Теоретическое обоснование повышения долговечности агрегатов
топливной и гидравлической аппаратуры путем применения
нанокомпозиционных покрытий91
2.5 Выводы по второй главе 106
З ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ108
3.1 Программа исследований 108
3.2 Методики получения нанокомпозиционных гальвано-химических
покрытий 110
3.2.1 Методика получения наноразмерных частиц 110
3.2.2 Средства технологического оснащения процесса нанесения
нанокомпозиционных покрытий115
3.2.3 Методика получения нанокомпозиционных электролитических
покрытий на основе хрома120
3.2.4 Методика получения нанокомпозиционных электролитических
покрытий на основе железа123
3.2.5 Методика получения нанокомпозиционных химических покрытий на
основе никеля
3.3 Методика проведения лабораторных исследований 127
3.3.1 Методика выбора наиболее эффективной наноразмерной фазы 127
3.3.2 Методика определения микротвердости и толщины покрытий 128
3.3.3 Методика определения прочности сцепления покрытия с основным
металлом
3.3.4 Методика исследования морфологии, структуры и элементного
состава покрытий134
3.3.5 Методика трибологических испытаний136
3.3.6 Методика коррозионных испытаний139

3.4.1 Методика стендовых испытаний топливных насосов высокого
давления141
3.4.2 Методика стендовых испытаний гидрораспределителей 143
3.5 Методика эксплуатационных испытаний146
3.6 Обработка экспериментальных данных и оценка точности измерений. 148
3.7 Выводы по третьей главе149
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 151
4.1 Исследование и установление эффективных упрочняющих фаз и режимов
получения покрытий 151
4.1.1 Исследование нанокомпозиционных электролитических покрытий на
основе хрома
4.1.2 Исследование нанокомпозиционных электролитических покрытия на
основе железа
4.1.3 Исследование нанокомпозиционных химических покрытий на основе
никеля
4.2 Результаты лабораторных испытаний168
4.2.1 Результаты исследования микротвердости покрытий 168
4.2.2 Результаты исследования прочности сцепления покрытий с основным
металлом
4.2.3 Результаты исследования морфологии и структуры покрытий 175
4.2.4 Результаты исследования химического состава покрытий 183
4.2.5 Результаты трибологических испытаний 189
4.2.6 Результаты коррозионных испытаний 195
4.3 Результаты стендовых испытаний 197
4.3.1 Результаты стендовых испытаний топливных насосов высокого
давления
4.3.2 Результаты стендовых испытаний гидрораспределителей Р160 199
4.3.3 Результаты стендовых испытаний гидрораспределителей Р80 199
4.3.4 Анализ результатов стендовых испытаний 202
4.4 Результаты эксплуатационных испытаний 204

4.4.1 Результаты эксплуатационных испытаний топливных насосов
высокого давления 204
4.4.2 Результаты эксплуатационных испытаний гидрораспределителей
P160
4.4.3 Результаты эксплуатационных испытаний гидрораспределителей Р80
4.4.4 Анализ результатов эксплуатационных испытаний 209
4.5 Прогнозирование остаточного ресурса агрегатов 211
4.6 Выводы по четвертой главе 216
5 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛУНЖЕРНЫХ И
ЗОЛОТНИКОВЫХ ПАР И ОЦЕНКА ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ
ЭФФЕКТИВНОСТИ 222
5.1 Рекомендации по получению нанокомпозиционных гальвано-химических
покрытий на основе хрома, железа и никеля 222
5.2 Технология восстановления плунжерных пар с применением
нанокомпозиционного электролитического хромирования
5.4 Технология восстановления золотниковых пар гидрораспределителя Р160
с применением нанокомпозиционного электролитического железнения 230
5.5 Технология восстановления золотниковых пар гидрораспределителя Р80
с применением нанокомпозиционного химического никелирования
5.6 Расчет экономической эффективности разработанных технологий 237
5.7 Выводы по пятой главе 245
ЗАКЛЮЧЕНИЕ
РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ
ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ 253
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
ПРИЛОЖЕНИЯ 276
ПРИЛОЖЕНИЕ А 277
ПРИЛОЖЕНИЕ Б 300
ПРИЛОЖЕНИЕ В 304

ПРИЛОЖЕНИЕ Г	
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж	
ПРИЛОЖЕНИЕ З	
ПРИЛОЖЕНИЕ И	
ПРИЛОЖЕНИЕ К	
ПРИЛОЖЕНИЕ Л	
ПРИЛОЖЕНИЕ М	
ПРИЛОЖЕНИЕ Н	

введение

Важнейшим Актуальность темы исследования. документом, определяющим аграрную политику страны до 2020 года, является «Доктрина продовольственной безопасности страны», утвержденная Президентом Российской Федерации 30 января 2010 года, в которой указано, что обеспечение продовольственной безопасности страны сопряжено с рисками, которые могут существенно ее ослабить. Большое внимание уделено также необходимости увеличения темпов структурно-технологической модернизации, освоению новых обеспечивающих технологий, повышение производительности труда И ресурсосбережение в сельском хозяйстве [82].

Среди рисков, представляющих угрозу продовольственной безопасности страны, особое место занимают риски, вызванные отставанием от развитых стран в уровне высокотехнологического развития отечественной производственной базы [25]. Для их снижения необходимо увеличивать темпы программы структурно-технологической модернизации, осваивать новые технологии, обеспечивающие повышение производительности труда и ресурсосбережение в сельском хозяйстве [24].

Олним механизмов достижения целей доктрины ИЗ является Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 [70], предусматривает повышение эффективности годы которая И конкурентоспособности продукции сельскохозяйственных товаропроизводителей за счет технической и технологической модернизации производства. В связи с этим возникает острая необходимость обновления научно-информационной, инженерно-технической и технологической базы агропромышленного комплекса на качественно новой основе, а также перехода к инновационному типу развития.

В настоящее время инженерно-техническая система сельского хозяйства характеризуется отсутствием эффективной инженерной инфраструктуры, системы инновационных и интеллектуальных преобразований сельхозпроизводства, негативными явлениями в материально-техническом обеспечении сельхозтоваропроизводителей, а также разобщенностью участников системы и их правовой неурегулированностью [91, 103]. Такое состояние может привести к невозможности выхода к 2020 г. на рубежи сельскохозяйственного производства, намеченные «Государственной программой развития сельского хозяйства России на 2013–2020 гг.».

В большинстве регионов страны сохраняется востребованность в ремонте агрегатов сельскохозяйственной техники и восстановлении их ресурсоопределяющих деталей [103]. Эта тенденция подтверждается и мировым опытом [104]. Поэтому создание высокоресурсных ремонтных центров по восстановлению работоспособности таких агрегатов, как двигатель, дизельная топливная аппаратура, гидротрансмиссия, турбокомпрессор и других наиболее сложных узлов становится одним из перспективных направлений развития сельского хозяйства [24–25].

Международная практика свидетельствует о том, что доля восстанавливаемых деталей в общем объеме потребления запасных частей достигает в развитых зарубежных странах 30–35 % [104]. В России этот показатель составляет не более 10 % [91].

Сельскохозяйственная техника работает в исключительно тяжелых условиях вследствие большой запыленности воздуха, непосредственного контакта многих деталей с почвой, трудностей регулярного и полноценного технического облуживания и ряда других объективных причин. Это определяет повышенную потребность сельскохозяйственной техники в ремонте [13].

Главной причиной, обусловливающей снижение долговечности и рабочих параметров сельскохозяйственной техники, а также необходимость ее ремонта, является износ деталей [26, 190, 201]. Несомненно, что разработка эффективных способов снижения интенсивности изнашивания позволяющих увеличить ресурс деталей с целью повышения долговечности агрегатов сельскохозяйственной техники является важной научной проблемой.

Восстановление деталей, как правило, включает в себя операции нанесения слоя материала на изношенные поверхности с целью получения номинальных размеров [1, 44, 79, 125, 132]. Это создает предпосылки для дополнительного упрочнения деталей при восстановлении путем нанесения на быстроизнашиваемые участки деталей материалов с износостойкостью во много раз выше, чем материал самой детали.

Надежность сельскохозяйственной техники в основном лимитируется топливной и гидравлической аппаратурой. Так, на долю топливной аппаратуры приходится до 42 % всех неисправностей и отказов [4, 18, 83, 93, 112–114], а на долю гидравлической – до 26 % [12, 42, 81, 143, 204]. Ресурс топливной и гидравлической аппаратуры определяется ресурсом прецизионных деталей – плунжерных и золотниковых пар [3, 12, 15–18, 20, 85, 90, 120, 186].

В настоящее время разработан ряд способов восстановления прецизионных деталей агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники, однако они имеют существенные недостатки и не всегда обеспечивают ресурс новых деталей [9, 20, 32, 81, 119–121, 164, 169, 178]. В связи с этим разработка новых инновационных технологий, повышающих эффективность восстановления деталей современна, своевременна и актуальна.

наиболее Одними перспективных способов ИЗ восстановления прецизионных деталей агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники являются нанокомпозиционные гальванохимические покрытия [5, 19, 21, 74–77, 123–124, 140, 174, 179–181, 191]. Они представляют собой гальванически или химически осажденный металл с включением наноразмерных частиц. Применение В него различных наноразмерных частиц позволяет значительно улучшить служебные свойства получаемых покрытий [21-23, 74-77, 179-181, 213-217, 220-234].

В связи с этим в диссертационной работе была поставлена научная проблема, решение которой заключалось в теоретическом прогнозировании ресурса сопряжений восстановленных прецизионных деталей, а также в разработке и внедрении в производство новых технологий восстановления

прецизионных деталей агрегатов сельскохозяйственной техники нанокомпозиционными гальвано-химическими покрытиями.

Актуальность работы подтверждается тем, что она была выполнена в соответствии с основными положениями «Стратегии машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года», «Стратегии развития сельскохозяйственного машиностроения России на период до 2030 года», а также научно-технической программы «Обеспечение ресурсосбережения путем повышения надежности сельскохозяйственной техники и снижения энергозатрат в процессе ее эксплуатации» научного направления ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ» «Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК» (рег. № 01201151795).

Исследования проведены в соответствии с темой научно-исследовательской работы гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых РФ МК-3789.2009.8 «Разработка технологий получения и исследование свойств нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе никеля и железа». А также темами научно-исследовательских работ по заказу Министерства сельского хозяйства РФ: «Провести исследования процесса гальвано-химических покрытий нанодисперсными материалами» – 2010 г; «Разработка инновационной технологии восстановления работоспособности агрегатов гидросистем импортной автотракторной техники с применением нанокомпозиционных химических покрытий» – 2013 г; «Разработка технологии нанесения нанокомпозиционных гальванических покрытий для повышения долговечности быстроизнашивающихся деталей сельскохозяйственной техники» – 2017 г.

Степень разработанности темы исследования. Исследованиями в области ремонта топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники занимались и занимаются: В.В. Антипов, В.И. Барышев, Н.И. Бахтиаров, Р.М. Баширов, С.А. Величко, М.М. Вихерт, В.А. Дидур, Б.П. Загородских, Е.В. Кипер, В.Г. Кислов, П.М. Кривенко, А.Т. Лебедев, В.Н. Лозовский, Н.И. Лихачев, В.Е. Логинов, В.П. Лялякин, А.А. Матвеев, Н.С. Мясоедов, В.В. Сафонов, А.И.

Селиванов, Т.А. Сырицын, Б.Н. Файнлейб, В.Е. Черкун, С.Н. Шарифуллин, В.М. Янсон и др. Вопросы модернизации гальванических и химических покрытий дисперсными материалами отражены в работах таких ученых, как Л.И. Антропов, А.И. Бодневас, И.Н. Бородин, Л.А. Браутман, В.А. Вандышев, Г.В. Гурьянов, Ю.Е. Кисель, Р.В. Крок, Ю.Н. Лебединский, В.Ф. Молчанов, Ю.Н. Петров, Р.С. Сайфуллин, В.В. Сафонов, Р.А. Усманов, В.И. Филатов, И.Г. Хабибуллин и др. Зарубежные авторы, работающие в этом направлении: К.Х. Гайгалас, М. Дзахо, Й. Коныс, Й. Лоренз, Ю.Ю. Матулис, Ц. Нолд, С.С. Рагигскене, Д.Я. Раманаускене, Т. Фудзии, Г. Шанз и др.

Большинство ученых при разработке новых технологий и получении покрытий использовали композиционных крупнодисперсные материалы микрометрового диапазона [5, 21, 84, 100, 124, 140, 170, 173, 179–181, 196, 206]. Однако наиболее перспективным представляется применение наноразмерных частиц, так как они повышают седиментационную устойчивость рабочих возможность получать покрытия растворов И дают С улучшенными технологическими свойствами [74, 84, 191, 195, 216, 221, 230]. Влияние наноразмерных частиц на свойства гальвано-химических покрытий в настоящее время остается малоизученным и представляет большой научно-практический интерес.

Цель работы – увеличение межремонтного ресурса агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники путем разработки и применения новых технологических способов восстановления прецизионных деталей нанесением нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля.

Задачи исследования:

1. На основании литературных данных определить низкоресурсные агрегаты сельскохозяйственной техники и их ресурсоопределяющие сопряжения. Провести анализ существующих способов восстановления прецизионных деталей агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры.

Разработать теоретические модели прогнозирования ресурса сопряжений прецизионных деталей агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники, восстановленных нанокомпозиционными гальвано-химическими покрытиями.

3. Обосновать способы восстановления прецизионных деталей агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники, определить материалы наноразмерных частиц, их концентраций в электролитах и химическом растворе, а так же режимы нанесения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля с требуемыми физико-механическими свойствами.

4. Исследовать морфологию, структуру, механические и триботехнические свойства нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля при восстановлении прецизионных деталей агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники.

5. Провести стендовые и эксплуатационные испытания агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники с прецизионными деталями, восстановленными нанокомпозиционными гальванохимическими покрытиями, установить значения средних межремонтных ресурсов отремонтированных агрегатов.

6. На основе предложенных способов разработать технологии восстановления прецизионных деталей агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники с применением нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий и определить их технико-экономическую эффективность.

Объект исследования – прецизионные детали агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники и способы их восстановления.

Предмет исследования – физико-механические свойства гальванохимических покрытий хрома, железа и никеля модифицированных наноразмерными частицами при восстановлении прецизионных деталей.

Научная проблема заключается в том, что существующие способы восстановления прецизионных деталей агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники не обеспечивают требуемого уровня долговечности агрегатов, а также в отсутствии теоретических моделей прогнозирования долговечности сопряжений, восстановленных с применением нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий.

Научную новизну работы представляют:

• теоретические модели прогнозирования ресурса сопряжений прецизионных деталей агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники, восстановленных нанокомпозиционными гальвано-химическими покрытиями;

• материалы наноразмерных частиц, их концентрации в электролитах и химическом растворе, режимы нанесения нанокомпозиционных гальванохимических покрытий на основе хрома, железа и никеля для получения покрытий с улучшенными физико-механическими свойствами;

• новые способы, составы электролитов и химического раствора и установка для получения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля (патенты РФ № 2283373, 2610381, 2465374, 2680116);

• результаты исследования морфологии, структуры, физико-механических и эксплуатационных свойств нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля при восстановлении прецизионных деталей агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

• в разработке теоретических моделей механизма упрочнения гальванохимических покрытий, за счет применения наноразмерных частиц, позволяющих прогнозировать повышение ресурса сопряжений прецизионных деталей при их восстановлении; • в выборе материалов наноразмерных частиц, их концентраций в электролитах и химическом растворе и установлении режимов нанесения нанокомпозиционных покрытий на основе хрома, железа и никеля для получения покрытий с задаваемыми физико-механическими свойствами, которые могут быть использованы при разработке новых технологий восстановления деталей;

• в практическом использовании на предприятиях АПК новых технологических процессов восстановления прецизионных деталей агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники с применением нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля;

• в применении результатов исследований в учебном процессе образовательных заведений всех форм собственности при чтении лекций, проведении лабораторных и практических занятий по вопросам ремонта агрегатов сельскохозяйственной техники.

Методология и методы исследования. Методология исследований построена на основных принципах изнашивания прецизионных деталей агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники, электролиза и условий развития и адекватности исследовательских подходов и средств, позволяющих получить истинные знания об объекте, его физикомеханических свойствах, долговечности.

Основными методами исследований служили эмпирические (наблюдение, сравнение, счет, измерение), экспериментально-теоретические, метод математического планирования экспериментов, статистические методы обработки данных, анализ, синтез и обобщение полученных результатов. Все исследования проводили согласно ГОСТам.

При проведении исследований использовали современные приборы и установки. Для разагрегатирования электролитов и химического раствора, содержащих наноразмерные частицы, применяли ультразвуковой генератор УЗГ-2М. Покрытия получали на установке для нанесения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий собственного изготовления (патент РФ №

2680116). Корректировку кислотности электролитов и растворов осуществляли с помощью ионометрического преобразователя И-500. Микротвердость измеряли на микротвердомере DuraScan-20. Структуру и элементные составы покрытий исследовали с помощью комплекса Mira II Tescan, износостойкость – на модернизированной машине трения МИ-1М. Испытания на коррозионную стойкость проводили с применением установки для коррозионных испытаний собственного изготовления, стендовые испытания – на стендах КИ-22205-01 и КИ-4815М. При эксплуатационных испытаниях использовали тракторы, выполняющие различные сельскохозяйственные работы. Экспериментальные данные обрабатывали методами математической статистики с использованием программы для анализа данных Statistica, а результаты, полученные графическим способом, – с помощью программ Компас-3D и Microsoft Excel.

Научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту:

• теоретические модели прогнозирования ресурса сопряжений прецизионных деталей агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники, восстановленных нанокомпозиционными гальвано-химическими покрытиями;

• результаты исследований влияния материалов наноразмерных частиц, их концентраций и режимов нанесения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля на процесс формирования структуры и основные физико-механические свойства покрытий;

• технологии восстановления плунжерных пар топливных насосов высокого давления с применением нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе хрома, золотниковых пар гидрораспределителей с применением нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе железа и нанокомпозиционного химического покрытия на основе никеля;

• результаты сравнительных стендовых и эксплуатационных испытаний агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники с прецизионными деталями, восстановленными с применением

нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля, и оценка экономической эффективности предлагаемых технологий.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов исследований обеспечена применением высокоточной измерительной аппаратуры и приборов, стандартных методик исследований, обработкой экспериментальных данных методами математической статистики, высокой величиной сходимости теоретических и экспериментальных данных, их подтверждением при практической реализации разработок в лабораторных, стендовых и производственных условиях.

Разработанные технологии восстановления прецизионных деталей с применением нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля внедрены в производство в ООО «Дизельремгруппа» (г. Санкт-Петербург), ООО Инновационный центр «ТрансЭнергоКомплект-С» (г. Саратов), ООО «Краснокутский электромеханический завод» (г. Красный Кут), ООО «Новые Транспортные Технологии» (г. Санкт-Петербург), ОАО «Ремонтный завод «Хоперский» (г. Балашов), ООО «Сельхозтехника» (г. Балашов).

Основные научные положения, результаты исследований, выводы и практические рекомендации диссертации были доложены, обсуждены и одобрены:

 на Международных и всероссийских научно-практических конференциях и семинарах, проводимых в ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова» (Саратов, 2003–2019 гг.);

• на Саратовском салоне изобретений, инноваций и инвестиций (Саратов, 2010–2013 гг., 2017 г.);

• на Российской агропромышленной выставке «Золотая осень» (Москва, 2013–2018 гг.);

• на Международной научно-практической конференции «Народное хозяйство Западного Казахстана: состояние и перспективы развития» (Уральск, 2004 г.);

• на Всероссийской научно-практической конференции «Защитные покрытия в машиностроении и приборостроении» (Пенза, 2005 г.);

• на Международной научно-практической конференции «Сохранение окружающей среды – важнейшая проблема современности» (Орел, 2005 г.);

• на Международной научной конференции «Трибология и надежность» (Санкт-Петербург, 2007 г.);

• на Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии механизации, автоматизации и технического обслуживание в АПК» (Орел, 2008 г.);

• на Всероссийской научно-практической конференции «Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем» (Саранск, 2009 г.);

• на Международном форуме по нанотехнологиям «Rusnanotech-2009» (Москва, 2009 г.);

• на Всероссийской молодежной интернет-конференции «Новые материалы, наносистемы и нанотехнологии» (Ульяновск, 2010 г.);

• на Международных научно-практических конференциях, в рамках международных агропромышленных выставок «Агроуниверсал-2010, 2015, 2016, 2017» (Ставрополь, 2010 г., 2015-2017 гг.);

• на Российском форуме «Российским инновациям – российский капитал» (Оренбург, 2011 г.);

• на заседании президиума Россельхозакадемии (Москва, 2012 г.);

• на VII, VIII индустриальных форумах «Саратов СОФИТ-ЭКСПО» (Саратов, 2015-2016 гг.);

• на агропромышленных форумах «Саратов-Агро – 2018», «Саратов-Агро – 2019» (Саратов, 2018-2019 гг.).

За разработку технологий восстановления прецизионных деталей с применением нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля автор многократно был награжден дипломами, грамотами, золотыми, серебряными и бронзовыми медалями (Приложение A). Основные положения диссертации отражены в 76 научных работах, в том числе 19 статей в рецензируемых научных журналах, 4 статьи в изданиях, включенных в базы Web of Science и Scopus, 4 патента РФ на изобретения. Общий объем публикаций – 112,4 печ. л., из которых 66,2 печ. л. принадлежит соискателю.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, рекомендаций производству, перспектив дальнейшей разработки темы, списка литературы из 234 наименований, из которых 22 на иностранном языке, и 13 приложений. Работа изложена на 276 страницах, содержит 22 таблицы, 88 рисунков.

Автор выражает особую благодарность за совместную научную работу и внедрение разработанных технологий на предприятиях технического сервиса П.А. Горбушину, А.М. Захаревичу, В.С. Семочкину, С.В. Чумаковой.

1 СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ. ПОСТАНОВКА ЦЕЛИ И ЗАДАЧ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Надежность сельскохозяйственной техники

Эффективность сельскохозяйственной техники определяется ee способностью выполнять заданные функции и, что не менее важно, уровнем надежности, который характеризует свойство техники длительно сохранять и, при необходимости, восстанавливать свою работоспособность при минимальных затратах времени, труда и материальных средств [38, 55, 202]. В связи с этим важнейшими задачами сельскохозяйственного производства основными И являются полное использование надежности сельскохозяйственной техники в процессе ее эксплуатации, а также качественное и малозатратное восстановление надежности до оптимального уровня, обеспечивающего наименьшую удельную стоимость единицы наработки техники между ремонтами [101, 131].

Как известно, надежность машины включает в себя четыре основных свойства: долговечность, безотказность, ремонтопригодность и сохраняемость. Одним из важных оценочных показателей надежности является долговечность, оцениваемая межремонтным ресурсом [138], величина которого зависит от долговечности тех деталей и сопряжений, чей выход из строя влечет за собой возникновение ресурсного отказа и необходимость ремонта узла или агрегата [176].

Неисправности сельскохозяйственной техники в период полевых работ дезорганизуют производство, лишают возможности проводить работы в оптимальные агротехнические сроки, зачастую приводя к снижению урожайности на 20–30 % [24].

В настоящее время, в связи с нехваткой природных ресурсов, наиболее важное значение приобретает рациональное использование металла и различных энергетических материалов, а долговечность как новой, так и отремонтированной техники не удовлетворяет современным требованиям [26]. В среднем по стране простои сельскохозяйственной техники вследствие ремонта составляют около 40 %, что влечет за собой огромные дополнительные расходы [91, 101]. В связи с этим повышение межремонтного ресурса сельскохозяйственной техники и, следовательно, ее долговечности имеет особо важное значение, так как высокий уровень долговечности техники является главным условием сохранения и повышения эффективности сельскохозяйственного производства.

Большая экономия средств, металла и топливо-смазочных материалов может быть достигнута за счет увеличения износостойкости и, соответственно, ресурса деталей сельскохозяйственной техники [38, 171].

В стоимости ремонта сельскохозяйственной техники основная доля расходов состоит в приобретении запасных частей [24, 91, 176]. Сокращение расхода новых запасных частей может быть достигнуто восстановлением изношенных деталей или повышением долговечности ресурсоопределяющих деталей наиболее ответственных агрегатов. В любом случае наиболее эффективным является путь повышения долговечности деталей как при восстановлении в процессе ремонта, так и при их производстве [26, 38, 138].

В агрегатах сельскохозяйственной техники наиболее распространены износы величиной 0,01–0,6 мм (рисунок 1.1) [13, 39, 125, 139].

Такие износы влекут за собой изменение размеров, геометрической формы, прочности, жесткости, массы деталей, структуры материала, качества поверхности и, несомненно, качества и себестоимости выполняемых работ. Поэтому при разработке новых технологий восстановления и упрочнения в первую очередь следует уделять внимание устранению таких величин износов.

В настоящее время большую часть всех сельскохозяйственных работ выполняют на тракторах. Сельскохозяйственные тракторы это важная часть из комплекса сельскохозяйственной техники и оборудования, предназначенная для почвообрабатывающих, посадочных и уборочных работ, ухода за сельскохозяйственными культурами, первичной обработки урожая и многих других сельскохозяйственных работ. Тракторы являются универсальной техникой повсеместно эксплуатирующейся в сельском хозяйстве.



Рисунок 1.1 – Примерное распределение величин износа деталей сельскохозяйственной техники

Наиболее типовыми представителями сельскохозяйственных тракторов своих тяговых классов являются отечественные тракторы К-700А, ДТ-75М и МТЗ-82 [13, 38, 185]. Анализ надежности этих тракторов позволяет выявить наименее надежные элементы для их дальнейшего технологического усовершенствования. Данные распределения неисправностей и отказов агрегатов и систем тракторов К-700А, ДТ-75М и МТЗ-82 представлены в таблице 1.1 [4, 13, 26, 125, 138, 176].

Таблица 1.1 – Распределение количества неисправностей и отказов агрегатов и систем тракторов К-700А, ДТ-75М и МТЗ-82

Наименование агрегатов и систем	Количество неисправностей и отказов, %						
	К-700А	ДТ-75M	MT3-82				
Двигатель в целом	36,4	38,3	41,8				
в том числе							
топливная система	41,4	38,2	37,4				
система охлаждения	5,3	8,4	6,8				

Продолжение таблицы 1.1 – Распределение количества неисправностей и отказо
агрегатов и систем тракторов К-700А, ДТ-75М и МТЗ-82

Наименование агрегатов и систем	Количество неисправностей и отказов, %					
	К-700А	ДТ-75М	MT3-82			
система смазки	9,4	7,3	10,1			
газораспределительный механизм	8,6	10,6	8,4			
цилиндропоршневая группа	9,7	8,2	10,7			
кривошипно-шатунный механизм	7,6	5,6	6,4			
плотность соединений	9,4	12,3	9,8			
прочие	8,6	9,4	10,4			
Электрооборудование	10,2 11,2 8,6					
Ходовая часть	11,5	10,6	12,7			
Тормозная система	8,7	4,2	10,4			
Трансмиссия	9,4	8,2	6,2			
Гидросистема	22,6	25,8	19,2			
Прочие	1,2	1,7	1,1			

Из таблицы 1.1 видно, что наибольшее количество неисправностей и отказов приходится на двигатель, у которого чаще всего отказывает топливная система, и на гидросистему. Ресурс этих систем лимитируется их основными агрегатами.

Анализ неисправностей и отказов агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники (рисунки 1.2 и 1.3) [4, 12, 18, 31, 81, 83, 89, 112, 128, 130, 184, 194, 218] позволил установить, что ресурс топливной аппаратуры ограничивается ресурсом топливного насоса высокого давления (ТНВД), а гидросистемы – ресурсом гидрораспределителя.



Рисунок 1.2 – Распределение неисправностей и отказов топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники по агрегатам



Рисунок 1.3 – Распределение неисправностей и отказов гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники по агрегатам

Из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что надежность сельскохозяйственной техники в значительной части определяется ресурсом наиболее ответственных агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры.

1.1.1 Долговечность агрегатов топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники

Долговечность топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники обусловлена ресурсом ее агрегатов. Эффективная работа топливной аппаратуры определяет основные экономические и мощностные показатели двигателя, стабильность его параметров, долговечность, уровень создаваемого шума, удельные весовые и объемные характеристики, токсичность и дымность отработавших газов [18, 130, 193, 197].

Твердые частицы, при некачественной фильтрации топлива, проходят вместе с топливом под высоким давлением и с большой скоростью через малые зазоры, изнашивают прецизионные пары, в результате чего нарушается нормальная работа топливной аппаратуры, и ухудшаются технико-экономические показатели двигателя [85, 93, 113]

Большинство исследователей [4, 18, 85, 90, 93, 112, 194] указывают на то, что ресурс ТНВД и топливной аппаратуры в целом определяется ресурсом прецизионных деталей – плунжерных пар.

Изнашивание плунжерной пары ТНВД в процессе эксплуатации вызывает снижение мощности дизеля, нарушение его нормальной работы, увеличение интенсивности изнашивания кривошипно-шатунного механизма, образование нагара на поршнях и деталях распылителей форсунок, увеличение удельного расхода топлива [20, 83, 113, 130].

С целью уменьшения интенсивности изнашивания плунжерные пары изготавливают из высокоуглеродистых легированных и конструкционных сталей и подвергают термообработке. Плунжерные пары изготовляют из таких сталей, как 30ХГСА, ШХ15, 38Х2МЮА и др. [16, 83, 122]. Химический состав и физико-

механические свойства некоторых сталей применяемых для изготовления плунжерных пар, представлены в таблицах 1.2-1.3.

Таблица 1.2 – Химический состав сталей, применяемых для изготовления плунжерных пар, %

Марка	С	Si	Mn	Ni	S	Р	Cu	Mo	Al	Cr	
стали					не бо		не более				
	0,32–	0,90–	0,80-		0.03	0.02	0.20			0811	
JUAI CA	0,39	1,20	1,10	_	0,05	0,02	0,20	_	—	0,0-1,1	
ШХ15	0,95-	0,17–	0,20–	0,30	0,02	0,03	0,25	_	_	1,30–	
	1,05	0,37	0,40							1,65	
29222010	0,35–	0,20–	0,30–		0.02	0.02	0.30	0.20	0,7–	1,35–	
JOALIVIIOA	0,42	0,45	0,60		0,02	0,02	0,30	0,20	1,10	1,65	

Таблица 1.3 – Физико-механические свойства сталей, применяемых для изготовления плунжерных пар

Марка стали	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, кДж/м ²	Модуль упругости, МПа	Плотность, г/м ³
30ХГСА	1080	835	10	45	490	2,18	7673
ШХ15	590–730	370-410	20	45	440	2,11	7812
38Х2МЮА	825	665	16,5	64	1600	2,09	7710

Применение данных сталей для производства плунжерных пар обеспечивает их хорошую обрабатываемость, способность работать в условиях высоких

давлений и температур, высокую твердость, стойкость к износу и коррозии, сохранение стабильности геометрической формы и размеров.

В связи с незначительными зазорами и специфическими условиями работы плунжерных пар к ним предъявляются высокие требования к допустимым термическим и монтажным деформациям деталей, высокой износостойкости, стабильности и прочности. Для достижения этих требований размеров используют различные способы термической обработки (цементация, азотирование, закалка, цианирование, нормализация, отпуск, и др.) [4, 16, 83]. Все стали после термообработки имеют практически одинаковую твердость HRC 55...65 [17, 20, 194].

Зазор в плунжерных парах составляет 0,6...2 мкм, что предопределяет высокую чувствительность деталей к наличию в топливе абразивных частиц, которые вызывают интенсивное изнашивание деталей плунжерной пары и быстрый выход из строя [83, 90, 93].

Плунжерные пары работают в сложных условиях. При этом имеют место высокие давления и скорость перемещения рабочей среды, которая содержит твердые абразивные частицы различных размеров.

В исследованиях, проведенных авторами [4, 113, 130, 194] установлено, что износ сопряжения плунжерной пары вызывают минеральные частицы, которые входят в состав различных загрязнений. Исследование состава данных частиц [194] позволило определить, что они на 90 % состоят из оксидов металлов и кварца. Микротвердость кварца – 10300...11000 МПа, а оксида алюминия – 12000...13000 МПа [130], в то время как микротвердость рабочих поверхностей плунжерных пар – 8000...9000 МПа. Из чего становится очевидной причина интенсивного износа деталей плунжерных пар.

Наличие абразивных частиц в дизельном топливе, соотношение их размеров с зазором в сопряжении плунжерной пары, а так же высокая скорость движения дизельного топлива относительно поверхностей деталей предопределяют гидроабразивный износ плунжерных пар и их абразивное изнашивание за счет защемления частиц в зазоре [112].

На основании исследований, проведенных в работах [4, 18, 85, 112, 194] установлено, что абразивное изнашивание в сопряжении плунжерной пары в реузльтате защемления абразивных частиц в зазоре возникает тогда, когда размер частиц больше зазора в сопряжении.

Некоторые авторы [15, 18, 113] указывают на то, что соизмеримые с зазором частицы своими острыми кромками также наносят микроцарапины на поверхности или деформируют поверхностный слой при перекатывании, а частицы меньше радиального зазора в основном проявляют свое действие при гидроабразивном изнашивании.

Немаловажным является тот факт, что износ частицами, защемленными в зазоре, присутствует в любой зоне сопряженных поверхностей деталей, а гидроабразивному износу подвергаются только те участки поверхностей, которые контактируют с движущимся топливом.

В результате анализа условий работы деталей плунжерных пар [4, 16, 85, 112, 130, 194] установлено, что движение дизельного топлива относительно деталей плунжерных пар возникает в момент его просачивания через зазоры в периоды начала и конца подачи. Дизельное топливо, при перетекании, омывает окна втулки и плунжера.

В связи с тем, что нагнетание топлива осуществляется на части хода плунжера, составляющего примерно 1,5...5,0 мм (активный ход плунжера) [4], то гидроабразивному износу, который обуславливается просачиванием топлива, будут подвергаться малые участки поверхностей деталей, соизмеримые с активным ходом плунжера и примыкающие к кромкам.

Отличительной особенностью изнашивания деталей плунжерных пар является его очаговая концентрация на участках поверхностей. У втулки зоны изнашивания располагаются выше впускного и ниже перепускного окон. У плунжера зоны изнашивания расположены на поверхностях, которые совмещаются во время работы с зонами изнашивания втулки.

Величины износов у втулки и плунжера различны. Некоторые исследователи [4, 90, 93, 130] указывают на то, что наибольшему износу

подвергается участок поверхности плунжера, который примыкает к впускному окну втулки. Глубина местной впадины у максимально изношенного плунжера достигает 30...35 мкм. Ширина изношенной зоны составляет 7,5 мм, длина – 9...10 мм от кромки верхнего торца [194].

Менее интенсивно изнашивается втулка. У кромки впускного окна глубина впадины составляет 20 мкм [130].

Примечательной характеристикой местных износов является то, что впадины имеют глубину, которая увеличивается по направлению к кромкам плунжера и втулки, что выравнивает сечение каналов, которые образуются в результате изнашивания. Данная особенность изнашивания указывает на ее гидроабразивный характер.

В результате вышеизложенного, механизм износа плунжерных пар можно представить в следующем виде [85, 130, 194]. Во время подачи топлива через впускное окно втулки (рисунок 1.4, a) абразивные частицы, которые находятся в дизельном топливе, вызывают износ кромки впускного окна втулки и кромки плунжера. В начальный момент нагнетания (рисунок 1.4, δ) и при отсечке подачи (рисунок 1.4, ϵ) движущиеся вместе с топливом твердые абразивные частицы наносят микроцарапины на кромках окон втулки (на участках перекрытия окон) и плунжера и на непосредственно примыкающих к ним зонам поверхностей.

При отсечке подачи (рисунок 1.4, *г*) возникает завихрение струи топлива, которое выходит с большой скоростью в перепускное окно. В результате завихрения, отдельные струи дизельного топлива, которые содержат абразивные частицы, ударяются о поверхность плунжера выше отсечной кромки.

Абразивные частицы, занесенные дизельным топливом и защемленные в зазоре плунжерной пары, приводят к изнашиванию деталей и после отсечки подачи.

Таким образом, изнашивание плунжерных пар является гидроабразивным по своему характеру и сопровождается защемлением абразивных частиц. Процесс изнашивания осуществляется за счет движущегося топлива и всех находящихся в нем абразивных частиц.



Рисунок 1.4 – Механизм изнашивания плунжерных пар: *а* – момент подачи топлива; *б* – начальный момент нагнетания; *в* – момент нагнетания топлива; *г* – момент отсечки подачи

Это приводит к появлению на рабочих поверхностях плунжерной пары глубоких борозд (рисунок 1.5) [4].





Кроме абразивных частиц на износ плунжерных пар оказывает влияние вода, присутствующая в дизельном топливе, которая способствует образованию слабых и сильных электролитов водорастворимых кислот, являющихся наиболее активными реагентами электрохимической коррозии [130]. Вода и растворенные в ней вещества вызывают сильную коррозию деталей топливной аппаратуры и приводят к дополнительному загрязнению дизельного топлива продуктами коррозии, отложению их на стенках топливных баков, топливопроводов, попаданию в зазоры прецизионных деталей [194]. Другим, немаловажным фактом является ухудшение вязкостных свойств топлива, что отражается на его смазывающей способности. При наличии в топливе эмульсионной воды значительно ухудшаются как противоизносные, так и противозадирные свойства металла. Вода, попадая в зазор плунжерной пары, нарушает топливную пленку, что приводит к непосредственному контакту сопрягаемых деталей, повышенному их износу и схватыванию трущихся поверхностей.

Описанные механизм и характер изнашивания позволяют сделать вывод о том, что износ деталей плунжерных пар носит сложный гидроабразивный характер. В среднем втулка изнашивается в 1,5–2,0 раза меньше, чем плунжер. Максимальная величина износа плунжера не превышает 40 мкм. В связи с этим, для повышения долговечности плунжерных пар при их восстановлении необходимо на поверхности плунжера создать слой толщиной не более 80 мкм (учитывая максимальную величину износа плунжера, втулки и припуски на механическую обработку), обладающий достаточно высокими микротвердостью, износостойкостью и коррозионной стойкостью.

1.1.2 Долговечность агрегатов гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники

Бесперебойная работа сельскохозяйственной техники во многом зависит от состояния агрегатов гидросистемы [2, 33–35, 128, 189]. В процессе эксплуатации агрегаты изнашиваются, что приводит к возникновению неисправностей в работе гидрораспределителей, гидронасосов, силовых гидроцилиндров И других сборочных единиц. Появление неисправностей и отказов обусловлено тем, что гидравлическая аппаратура работает в достаточно сложных условиях. При этом значительное воздействие долговечность агрегатов на гидравлической аппаратуры оказывает нагрузочный режим определяющийся величиной давления, числом включений, а так же временем работы под давлением при выполнении машиной различных сельскохозяйственных, погрузочно-разгрузочных или других операций [128]. Средняя годовая работа гидросистемы под нагрузкой для сельскохозяйственных тракторов тягового класса 1,4 составляет 24-29 часов, что

соответствует 25–50 тыс. циклов; для тракторов тягового класса 3 – соответственно 17–22 часов и 15–20 тыс. циклов [128, 205].

Наиболее нагруженным И наименее долговечным элементом гидравлической системы является гидрораспределитель. К отечественным клапанно-золотниковых гидрораспределителей, моделям применяемых В навесных гидросистемах сельскохозяйственной техники, относятся моноблочные трехзолотниковые гидрораспределители с пропускной способностью 80, 100 и 160 л/мин (Р80, МР80, Р100, МР100, Р160).

Согласно РТМ 70.0001.246-84 [32, 177], за критерий предельного состояния гидрораспределителей принято снижение внутренних утечек ниже 75 %. Средний нормируемый заводом-изготовителем pecypc клапанно-золотниковых гидрораспределителей составляет 5000 часов, или 125 тыс. циклов включений [32]. Однако при высоких нормированных значениях ресурсного параметра в условиях реальной эксплуатации долговечность гидрораспределителей значительно ниже. По данным В.Е. Черкуна [204-205], средний доремонтный ресурс гидрораспределителей Р80 составляет 2500–2800 мото-ч, а В.А. Дидур и В.Я. Ефремов [81] оценивают этот показатель 1400 мото-ч, что значительно ниже нормируемого.

Во время работы гидрораспределитель распределяет рабочую жидкость под большим давлением к гидроцилиндрам, своевременно и четко отсекает поток рабочей жидкости путем перепуска избыточного давления. Данные операции выполняются с помощью прецизионных пар «перепускной клапан – направляющая», «золотник – корпус» [128]. Прецизионная пара «перепускной клапан – направляющая» работает лишь при переводе золотника из положения «нейтральное» в положения «подъем» и «опускание» и в процессе эксплуатации имеет незначительный износ [126].

Наиболее интенсивно в процессе эксплуатации изнашивается прецизионная пара «золотник – корпус», которая является основным рабочим сопряжением гидрораспределителя (рисунок 1.6) [128, 143].



Рисунок 1.6 – Схема работы золотников гидрораспределителя: *а* – нейтральное положение золотников; *б* – положение «подъем»; *в* – положение «принудительное опускание»; *г* – плавающее положение

В соответствии с техническими условиями [150, 151], за критерий оценки технического состояния гидрораспределителей приняты утечки по золотниковым парам. В таблице 1.4 приведены нормированные значения параметров технического состояния новых гидрораспределителей.

Основными требованиями, предъявляемыми к золотниковым парам и определяющими их работоспособность, являются высокая стабильность малых сил трения и хорошая герметичность, т. е. наличие минимальных, не изменяющихся в процессе работы утечек рабочей жидкости через зазоры между

деталями [2, 32, 143]. Эти требования обеспечиваются высоким качеством поверхностей сопрягаемых элементов.

Таблица 1.4 – Нормированные значения параметров технического состояния новых гидрораспределителей

Марка гидрораспределителя	Герметичность по золотниковым парам, не более
P80 (MP80)	150 см ³ за 30 мин при статическом противодавлении 7 МПа
P100 (MP100)	180 см ³ за 30 мин при статическом противодавлении 6,5 МПа
P160	300 см ³ за 30 мин при статическом противодавлении 6,5–7,5 МПа

Золотники и корпуса гидрораспределителей производят из следующих материалов: корпуса – из серого чугуна СЧ 21 с твердостью НВ 170-240 [12, 81, 189]; золотники – из сталей 9ХС и 15Х с термической или химико-термической обработкой до твердости HRC 55-65. В процессе производства золотников осуществляется их цементация (нитроцементация) на глубину 700...1500 мкм с последующей закалкой и отпуском.

Химический состав и физико-механические свойства данных материалов представлены в таблицах 1.5–1.6.

Увеличение внутренних утечек в золотниковых парах происходит в результате изнашивания кромок рабочих поясков золотника и корпуса гидрораспределителя [12, 32, 126, 128].

Общепризнанным является положение о ведущем и сопутствующих видах изнашивания [105, 109–111]. В зависимости от условий трения сочетание таких факторов, как механическое воздействие, среда, материал и состояние поверхностей складывается более благоприятно для развития одного процесса и менее благоприятно для развития других. Наиболее общим видом изнашивания

деталей прецизионных пар является гидроабразивное разрушение поверхностей, омываемых жидкостью [126, 128].

Таблица 1.5 – Химический состав материалов, применяемых для изготовления золотниковых пар, %

Марка	С	Si	Mn	Ni	S	Р	Cu	Mo	A1	Cr	
материала	C	51	17111		Н	е боле	ee			C1	
Сталь 9ХС	0,85-	12_16	03_06	0.35	0.03	0.03	03	0.2		0,95–	
	0,95	1,2 1,0	0,3-0,0	0,55	0,05	0,05	0,5	0,2		1,25	
Сталь 15Х	0,12-	0,17–	0.4-0.7	04-07	03	0.03	0.03	03	_	_	07-10
	0,18	0,37	0,1 0,7	0,5	0,05	0,05	0,2			0,7 1,0	
Чугун СЧ21	3,3–3,5	1,4–2,2	0,7–1,0	_	0,15	0,2	_	_	_	_	

Таблица 1.6 – Физико-механические свойства материалов, применяемых для изготовления золотниковых пар

Марка материала	Предел прочности, МПа	Предел текучести, МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость, кДж/м ²	Модуль упругости, МПа	Плотность, г/м ³
Сталь 9ХС	790	445	26	54	390	1,9	7830
Сталь 15Х	690	490	12	45	690	2,15	7830
Чугун СЧ21	210	-	-	-	-	1,0	7100

Нерастворимые загрязнения, содержащиеся в рабочей жидкости, представляют собой продукты износа деталей трущихся соединений в виде

частиц металлов и их окислов, различные твердые частицы, попадающие во внутреннюю полость гидравлической системы при производстве, ремонте, техническом обслуживании и эксплуатации, и продукты окисления рабочей жидкости. Твердые частицы, попадая в зазор золотниковой пары, оказывают изнашивающее и заклинивающее действие на детали. На основании результатов исследований, проведенных авторами [12, 81], установлено, что увеличение количества абразивных частиц в масле до 0,2 % вызывает повышение интенсивности изнашивания деталей золотниковой пары в 28 раз.

Внешний вид изношенного золотника и его рабочей поверхности представлены на рисунке 1.7. Изношенная часть золотника имеет матовый окрас, на ней видны следы схватывания поверхностей и царапины.



a

б

Рисунок 1.7 – Внешний вид (a) и изношенная поверхность золотника (×50) (δ)

Суммарный износ в золотниковой паре гидрораспределителя P80 (MP80) не превышает 100 мкм, а гидрораспределителя P160 – 200 мкм [32, 42, 128].

Одним из параметров, определяющих эффективность работы гидрораспределителя, является статическое трение, т. е. усилие страгивания золотника с места [143].

Основными возможными причинами повышения трения между деталями золотниковых пар являются: гидравлическое защемление золотника, вызываемое
неравномерным распределением гидравлических сил, оказывающих действие на его поверхность; облитерация зазоров в сопряжении золотниковой пары, которая представляет собой заращивание зазоров поляризованными молекулами рабочей жидкости; механическое заклинивание золотника, вызываемое попаданием в зазор между деталями твердой частицы (или нескольких частиц) [189].

При попадании частицы в зазор золотниковой пары, усилие страгивания золотника будет возрастать. В этом случае максимально возможное значение силы трения определяется твердостью частиц, попавших в зазор. Чем тверже частицы, тем большую сжимающую нагрузку они выдерживают, тем с большей силой они способны вызвать взаимное прижатие деталей, заклинивая их. Кроме того, твердые частицы, попадая в зазор золотниковой пары, способствуют его облитерации и возникновению гидрозащемления [204].

Золотник находится в корпусе гидрораспределителя под воздействием давления жидкости. Малейшие изменения давления рабочей жидкости должны приводить к перемещению золотника и изменению расхода жидкости через соответствующие каналы, связанные с золотниковой парой. По мере изнашивания золотниковой пары увеличивается минимальное значение прироста давления, на которое реагирует золотник, следовательно, рабочие свойства элемента ухудшаются.

Все регулирующие золотниковые пары независимо от назначения имеют общие особенности нагружения, состоящие в том, что золотник, являясь чувствительным элементом, следящим за изменением давления жидкости, непосредственно реагирует на это изменение, совершая периодические смещения относительно корпуса [205]. Золотник воспринимает момент, вызываемый наличием эксцентриситета прикладываемых осевых сил, в результате чего он, как правило, находится в перекошенном относительно корпуса состоянии (рисунок 1.8) [12]. Поэтому на участках фактического контакта деталей, несмотря на малые зазоры в золотниковых парах, могут возникать значительные давления, зависящие от действующих нагрузок, механических свойств материала деталей и их геометрических параметров.



Рисунок 1.8 – Схема контакта деталей золотниковой пары гидрораспределителя при относительном перекосе: *R* – неуравновешенная сила, вызывающая перекос золотника; φ– угол перекоса золотника

Возникновение неуравновешенной радиальной силы, прижимающей золотник к одной стороне корпуса, обусловлено неравномерным распределением давления жидкости в кольцевом зазоре золотниковой пары [126]. Если поясок золотника разделяет полости с различным давлением, то жидкость будет перетекать через кольцевой зазор между золотником и корпусом из области с большим давлением в область с меньшим давлением.

При истечении жидкости давление вдоль щелевого зазора будет уменьшаться, его распределение вокруг золотника будет несимметричным относительно продольной оси, в результате чего возникает неуравновешенная гидростатическая сила.

Таким образом, основными дефектами определяющими ресурс золотниковых пар гидрораспределителей являются: гидроабразивное разрушение

рабочих поверхностей, омываемых жидкостью; повышение усилия страгивания золотника с места в результате механического защемления и облитерации.

Снизить износ и исключить схватывание поверхностей в прецизионных парах топливной и гидравлической аппаратуры можно за счет повышения микротвердости рабочих поверхностей с учетом подбора триботехнически совместимых материалов для сопрягаемых поверхностей.

1.2 Анализ способов ремонта и повышения долговечности агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры

В настоящее время существует большое количество способов восстановления и упрочнения прецизионных деталей, с помощью которых можно повысить долговечность агрегатов сельскохозяйственной техники (рисунок 1.9) [1, 13, 39, 125, 132, 139, 187, 207, 209, 211].

Представленная схема составлена на основе аналитического обзора таких методов, как обработка поверхности пластическим деформированием, термическая и химико-термическая обработка, нанесение износостойких покрытий, наплавка. Анализ данных методов позволит выбрать для плунжерных и золотниковых пар наиболее рациональные с целью их усовершенствования.

1.2.1 Анализ способов восстановления и упрочнения плунжерных пар топливных насосов высокого давления

В настоящее время существует ряд способов восстановления и упрочнения плунжерных пар ТНВД [1, 20, 39, 95, 112, 120, 139, 186]: перекомплектовка, изготовление ремонтной детали, пластическое деформирование, химическое никелирование, повторное азотирование, диффузионное хромирование, борирование, сульфоборирование, электролитическое хромирование.



Рисунок 1.9 – Способы восстановления и упрочнения прецизионных деталей агрегатов сельскохозяйственной

Восстановление методом перекомплектовки [83, 85, 112, 184]. Данный способ осуществляется за счет притирки, с последующей сортировкой на размерные группы, подборке и взаимном притирании деталей. Втулки притирают на притирочном станке в два этапа с использованием крупно, а затем мелко абразивных притирочных паст.

Режимы притирания: частота вращения притира или детали 250 мин⁻¹; число двойных ходов притира или детали 100...150 мин⁻¹; выход притира за пределы обработки плунжера 10...12 мм, втулки – 20...26 мм; начальное давление на притир 0,1...0,2 Па [112].

Плунжер притирают по технологическому процессу аналогично описанному. Для притирки деталь закрепляют в шпинделе, а притир – в зажимном приспособлении.

По окончании притирания некоторого количества деталей, осуществляют их замер, сортировку на размерные группы и подбор пары таким образом, чтобы плунжер входил во втулку на 1/3 длины от усилия руки. После этого в течение 1–2 мин плунжер и втулку взаимно притирают. Частота вращения плунжера 100...150 мин⁻¹; число двойных ходов втулки 80...100 мин⁻¹ [83].

Таким способом удается восстановить порядка 10-15 % всех деталей [194]..

Изготовление ремонтной детали [16, 184, 194]. Данный способ осуществляется путем изготовления новой детали из двух сопрягаемых. На первом этапе производят механическую обработку изношенных деталей. С втулки удаляют следы износа, затем изготавливают новый плунжер с увеличенным наружным диаметром, после чего осуществляют их притирку со втулкой на режимах, описанных выше.

Недостатками данного метода восстановления являются: высокая себестоимость за счет необходимости приобретения серийного технологического оборудования, аналогичного применяемому на заводе-изготовителе; большой расход металла на изготовление ремонтной детали; увеличенное число селективных групп. Указанные недостатки ограничивают применение способа для восстановления деталей плунжерных пар.

Пластическое деформирование втулки плунжера. Данный способ основан на способности металлов изменять свои форму и размеры без разрушения под действием нагрузки за счет остаточной пластической деформации [1, 39]. При пластической деформации объем детали остается без изменений, перемещается только металл с одного участка на другой.

При использовании данного способа, для восстановления плунжерных пар, осуществляют пластическое деформирование втулки, В результате чего уменьшается внутренний диаметр втулки за счет перемещения металла внутренней поверхности к отверстию под давлением на прессе. Пластическое деформирование производят с подогревом металла до температуры 600...650 °С. Дальнейшую притирку отверстия во втулке осуществляют по технологии заводаизготовителя. Изношенные плунжеры подвергают притирки, после этого их комплектуют с втулками.

Недостатками данного способа являются изменение структуры и физикомеханических свойств деталей, сложность применяемого оборудования, высокая энергоемкость процесса.

Химическое никелирование. Восстановление плунжерных пар химическим никелированием заключается в нанесении на плунжер покрытия никеля в водном растворе. Основными компонентами раствора химического никелирования являются соли никеля, гипофосфат натрия и уксуснокислый натрий. Данный процесс протекает в растворе при температуре 90...94 °C без использования электрического тока. Отличительной особенностью химического никелирования является высокая равномерность получаемых покрытий.

На поверхности детали, одновременно с никелем осаждается фосфор, так как в растворе химического никелирования содержится гипофосфит. Наличие в покрытие фосфора способствует повышению твердости покрытия до HRC 42...45. После нагрева до 400 °C и выдержки при этой температуре в течение 1 ч твердость покрытия повышается до HRC 65...67 [29].

Перед нанесением никель-фосфорного покрытия на плунжер его механически обрабатывают, далее наносят покрытие на рабочую часть плунжера, затем плунжер притирают с втулкой.

Основными недостатки данного способа являются низкая стабильность процесса с большими потерями никеля, невысокая адгезия покрытий, их шелушение и отслаивание [46].

Повторное азотирование. Во время азотирования происходит диффузия азота, образование нитридов и структурных превращений приводящих к изменению размеров деталей плунжерных пар [39, 125, 139]. Процесс происходит при температуре 440...460 °C в течение 25...30 ч. В среднем азот диффундирует вглубь металла на 0,01 мм/ч.

Неравномерность азотированного слоя по толщине, длительность процесса, нестабильность размеров, сложность применяемого оборудования являются причинами того, что данный способ является малоэффективным.

Диффузионное хромирование плунжера. Диффузионное хромирование осуществляется путем насыщения поверхностей стальных деталей хромом. Процесс протекает при высоких температурах (950...1300 °C) за счет диффундирования хрома в железо [139, 171].

Различают твердое, жидкое и газовое диффузионное хромирование. Твердое хромирование производится аналогично цементации. Жидкое хромирование осуществляют в ванне, в которую вводят феррохром. Для получения слоя 0,05...0,15 мм хромирование ведут в твердых порошках при температуре 1100 °C в течение 6–12 ч. Газовое хромирование продолжается 3–6 ч при температуре 900...1100 °C для получения слоя 0,05...0,1 мм. Жидкое хромирование происходит при температуре 950...1150 °C в течение 10–15 мин для получения слоя 0,01....0,03 мм. Твердость хромированного слоя составляет HV 1300...1350 [171].

Данный способ обеспечивает высокую износостойкость и коррозионную стойкость, а так же хорошее сцепление с основным металлом.

Существенными недостатками, ограничивающими применение данного способа для восстановления плунжерных пар, являются коробление детали, длительность процесса и низкая толщина диффузионного слоя.

Химическое борирование втулки и плунжера. Данный процесс заключается в насыщении поверхности детали бором [9, 39, 44]. Различают два вида борирования. Борирование при электролизе расплавленной буры и жидкое борирование. Для получения слоя 0,15...0,25 мм борирование продолжается 1–3 ч. Процесс протекает при температуре 900...1100 °C.

Данный способ характеризуется следующими недостатками – длительность процесса (6–8 ч), коробление деталей, высокая хрупкость слоя.

Химическое сульфоборирование. Данный способ осуществляется путем сульфидирования стальных деталей с добавлением в раствор буры [44, 125]. Процесс химического сульфоборирования осуществляется в растворе при температуре 130...150 °C. В течение 50–60 мин на покрываемой поверхности образуется слой толщиной 20 мкм, состоящий из сульфидов, повышающих антифрикционные свойства и боратов, обладающих твердостью до 13000 МПа.

Недостатками данного метода являются сложность технологического процесса и малая толщина покрытия.

Электролитическое хромирование. Хром характеризуется достаточно высокой микротвердостью, прочностью сцепления с основным металлом и коррозионной стойкостью [40, 45, 141]. Его свойства в значительной степени зависят от режимов электролиза.

Подбирая режимы хромирования, можно получать микротвердость осадка от 5000 до 10000 МПа. При этом износостойкость покрытия также может значительно изменяться [203].

Электролиты хромирования представляют собой растворы хромовой кислоты (H_2CrO_4), которые образуются в результате растворении хромового ангидрида (CrO_3) в дистиллированной воде. Для осаждения хрома на детали, в электролит добавляют серную кислоту (H_2SO_4). Наиболее качественное покрытие

хрома и высокий выход по току достигаются при соотношении $CrO_3:H_2SO_4 = 1:100.$

Изменяя концентрацию и температуру электролита хромирования можно получать матовые, блестящие и молочные покрытия. Матовые осадки характеризуются очень высокой твердостью (9000...10000 МПа), но отличаются хрупкостью и невысокой износостойкостью. Блестящие покрытия обладают высокой твердостью (7000...9000 МПа) и износостойкостью. Молочные покрытия обладают меньшей твердостью (4000...7000 МПа), чем блестящие, но достаточно пластичны и износостойки [40].

Исследования, проведенные в работах [141, 203], позволили установить, что на поверхности блестящего хромового покрытия имеется сетка тонких трещин, в то время как на поверхности матовых покрытий трещины невидимы. Трещины начинают образовываться при толщине покрытия около 0,01 мм. При хромировании на большую толщину они перекрываются, и в последующих слоях образуются новые трещины. Таким образом, блестящее хромовое покрытие имеет видимые и скрытые трещины (поры) в виде сетки, величина которой зависит от режима хромирования.

Одним из недостатков хромового покрытия является то, что оно плохо смачивается нефтепродуктами. Однако этот недостаток в некоторой степени может быть устранен созданием на поверхности покрытия пор, углублений или каналов, которые достаточно хорошо удерживают смазку на поверхности хрома. Такие поры создают различными способами, наиболее распространенный из них – травление слоя хрома в разбавленной соляной кислоте [203].

Исследованиями, проведенными в работах [45, 141] установлено, что износостойкость хрома в некоторых случаях в 4–5 раз выше, чем азотированных сталей, и в 10–15 раз по сравнению с конструкционными.

Изучение механизма износа хромового покрытия методом рентгеноструктурного анализа показало [141], что поверхностные слои хрома в процессе трения наклепываются, получая значительную пластическую деформацию, после исчерпания которой происходит отделение мельчайших частиц хрома.

По [166], данным хромирование плунжеров увеличивает ИХ износостойкость в среднем в 2,5–3,0 раза и позволяет полностью восстанавливать изношенные детали. При этом автор отмечает, что становится возможной замена труднообрабатываемых сталей высококачественных углеродистыми, что повышает стабильность размеров прецизионных деталей, исключает возможность заклинивания, вызываемого превращением остаточного аустенита, и снижает стоимость.

Таким образом, к достоинствам хромирования можно отнести высокую твердость хромового покрытия (HV 400...1000) и его износостойкость. При хромировании отсутствует термическое воздействие на деталь (процесс протекает при температуре 20...60 °C), вызывающее изменение ее физико-механических свойств и структуры.

Основными недостатками хромирования являются: низкая производительность процесса; недостаточно хорошая прочность сцепления осадка с основным металлом; невысокая коррозионная стойкость покрытия вследствие постоянного присутствия в нем глубокой сетки трещин. По данным [203]. все приводит к снижению износостойкости, ЭТО отслаиванию И откалыванию покрытия в процессе работы плунжерных пар и их заклиниванию, так как абразивные частицы внедряются в трещины покрытия и скалывают его либо изнашивают втулку плунжера.

Проведенный анализ показал, что для восстановления плунжерных пар наиболее перспективным является электролитическое хромирование, позволяющее получать покрытия необходимой толщины с высокими физикомеханическими свойствами.

1.2.2 Анализ способов восстановления и упрочнения золотниковых пар гидрораспределителей

Известны следующие технологические процессы восстановления корпусов гидрораспределителей [12, 32, 96]:

 при наличии ремонтного фонда и незначительном износе отверстий корпуса зазор в сопряжении золотниковой пары можно восстановить путем перекомплектовки с последующей притиркой;

• при значительном износе отверстий корпуса зазор в сопряжении восстанавливают путем расточки, развертывания с притиркой, алмазного хонингования отверстий корпуса.

При использовании данных способов восстановления возникает необходимость установки в обработанные отверстия корпуса золотников ремонтного размера или последующих размерных групп. Расточка отверстий корпуса с последующей притиркой характеризуется большим разбросом диаметров, довольно часто выходящим за размерные группы.

По сравнению с расточкой отверстий корпуса, развертывание приводит к снижению поле рассеяния размеров в 1,5...2 раза [96]. Одновременно с этим, улучшается геометрия отверстия – шероховатость поверхности составляет Ra = 1,15 [204]. В дальнейшем, притирка приводит к снижению шероховатости поверхности до Ra = 0,15, однако увеличивается поле рассеяния диаметров в 1,5...2 раза [205].

Наиболее требованиям полно техническим на изготовление И восстановление отверстий корпусов удовлетворяет алмазное хонингование, в результате этой операции шероховатость обрабатываемой поверхности составляет Ra = 0,04. Согласно исследованиям [12], при алмазном хонинговании отсутствует необходимость предварительном исправлении В геометрии изношенных отверстий. Диапазон рассеяния диаметров сокращается в 1,5 раза, а рассеяния овальности и конусности – в 2 раза. В результате вышеизложенного можно сделать вывод, что алмазное хонингование большинством исследователей [12, 81, 96, 204] рекомендуется в качестве оптимальной операции при восстановлении отверстий корпусов гидрораспределителей.

В настоящее время восстановление И упрочнение золотников способами: осуществляется В основном следующими перекомплектовка, пластическое деформирование, газовая и дуговая наплавка, напыление порошков и металлов, электроискровая обработка, электролитические хромирование и железнением, химическое никелирование [1, 12, 32, 39, 81, 125, 207, 209, 211].

Перекомплектовку, пластическое деформирование, хромирование и химическое никелирование проводят аналогично рассмотренным выше способам восстановления и упрочнения плунжерных пар ТНВД.

Газовая и дуговая наплавка. Способы наплавки используют при осуществлении ремонтных работ, а также при изготовлении биметаллических изделий в условиях индивидуального, мелкосерийного и серийного производства [1]. Основными недостатками газовой и дуговой наплавки являются непостоянное качество наплавленного слоя, зависящее от индивидуального мастерства работника, не высокая производительность, неудовлетворительная защита плакирующего металла от окисления на воздухе, тяжелые условия труда [39, 125].

Для восстановления изношенных деталей машин широко применяются высокопроизводительные механизированные процессы дуговой наплавки (вибродуговая с различной защитой дуги, под флюсом проволокой и лентой, в среде защитных газов, а также самозащитной проволокой и лентой и т. д.) лишенные указанных недостатков. Однако недостатками всех перечисленных способов дуговой наплавки являются сложность качественного замыкания сварного шва при наплавке кольцевых деталей, а так же значительное перемешивание и проплавление основного и плакирующего металлов, [139].

Напыление металлов и порошков. В настоящее время широкое распространение в ремонтном производстве и машиностроении имеют методы напыления порошков и металлов. Напыление производят с целью восстановления и одновременного обеспечения специальных свойств поверхностей деталей [187,

209]. Наиболее перспективными способами напыления являются электродуговое, плазменное, газопорошковое и детонационное [39].

При электродуговом напылении отсутствует необходимость в применении сложного технологического оборудования. Необходимый химический состав напыленного слоя достигается путем подбора проволок. Данный способ высокопроизводителен, так при силе тока 750 А скорость образования стального покрытия составляет 36 кг/ч. Однако недостатком данного способа является значительный перегрев и окисление напыляемого материала. Помимо этого, значительное количество теплоты, которое выделяется во время горения дуги, вызывает выгорание легирующих элементов. В связи с этим, применение этого метода ограничивается значительными площадями на массивных деталях [44].

По сравнению с дуговым напылением, плазменное обладает некоторыми преимуществами. При плазменном напылении можно регулировать скорость плазменной струи и температуру за счет подбора конструкции плазматрона и Недостатками способа режимов напыления. данного являются низкая производительность, интенсивное ультрафиолетовое излучение, сложное технологическое оборудование [125].

Детонационное напыление характеризуется высокой скоростью движения и разогревом частиц, которые обеспечивают получение достаточно плотных и прочных покрытий. Недостатки детонационного напыления заключаются в значительном воздействии ударной волны на поверхность детали, метод низкопроизводительный и по показателям эргономики практически не используется в ремонтом производстве.

Электроискровую обработку осуществляют электродом из меди или с применением сварочной проволоки CB08Г2С с последующей механической обработкой, включающей в себя лезвийную развертку с последующей доводкой на чугунном притире [211]. Однако главными недостатками данного метода являются невысокие физико-механические показатели получаемого слоя и, как следствие, низкий ресурс восстановленного сопряжения. Электролитическое железнение. При электролитическом железнении выход по току в 3–5 раз больше, чем при электролитическом хромировании, так как электрохимический эквивалент железа – 1,042 г/А·ч, а хрома – 0,324 г/А·ч. В связи с этим, железнение – более производительный и экономичный способ восстановления деталей. Помимо этого, при электролитическом железнении возможно получать толщину слоя осадка до 1 мм с достаточно высокой твердостью, порядка HRC 54...55 [14, 80, 86, 97].

Одним из самых распространенных способов электролитического железнения является способ, осуществляемый в горячих хлористых электролитах. Температура электролита в этом случае достигает 70...90 °C [135].

Процесс электролитического железнения достаточно полно освещен в литературе [40, 86, 135, 165]. Данный способ имеет некоторые недостатки основным, из которых является требовательность процесса к постоянному поддержанию режимов электролиза, отклонение от которых вызывает появление трещин в осадках, в результате чего ухудшаются прочностные качества наносимых покрытий, усталостная прочность и, как следствие, это приводит к снижению ресурса восстанавливаемых сопряжений.

В результате вышеизложенного можно сделать вывод о том, что существующие способы восстановления прецизионных деталей сельскохозяйственной техники имеют много недостатков, вследствие чего требуется разработать способы более технологичные, относительно несложные, малотрудоемкие, а также протекающие при не высоких температурах с целью избежания нарушения термообработки и появления коробления деталей.

1.3 Перспективы применения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий для повышения долговечности агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры

В последние годы успешно развивается технология осаждения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий [152–154, 156–157, 160,

191, 195, 213–217, 220–234]. Данный способ заключается в том, что одновременно с металлом из гальванической или химической ванны на поверхности детали соосаждаются наноразмерные частицы, волокна и усы различных карбидов, сульфидов, Включения боридов, оксидов, порошков полимеров И Т.Д. физико-механические свойства наноразмерных материалов улучшают получаемых гальвано-химических покрытий и, главное, в несколько раз увеличивают износостойкость, антифрикционные ИХ характеристики, термическую И коррозионную стойкость, что создает предпосылки ДЛЯ восстановления плунжерных и золотниковых пар данными способами.

Наиболее перспективными для восстановления упрочнения И ресурсоопределяющих деталей топливной И гидравлической аппаратуры, электролитическое являются нанокомпозиционное хромирование, нанокомпозиционное электролитическое железнение и нанокомпозиционное химическое никелирование.

1.3.1 Физико-механические свойства и механизм образования нанокомпозиционных электролитических покрытий

Нанокомпозиционные электролитические покрытия представляют собой электролитический осадок, в состав которого внедрены различные инородные включения [5, 21].

Первые исследования, касающиеся разработки технологии получения композиционных электролитических покрытий, были осуществлены Ю.В. Баймаковым в 1925 г. [21, 179]. Автор установил возможность совместного соосаждения электролитических покрытий железа с включением до 1 % графита. Несколько позже И. Принц и Дж. Финк [179] смогли получить электролитическое покрытие меди совместно с графитом. Однако первые поисковые работы в данном направлении не нашли практического применения. Только в 60-х годах XXI в. способ совместного соосаждения и упрочнения алмазных инструментов.

Большое количество исследований по получению композиционных электролитических покрытий на основе железа с включением частиц оксида алюминия, дисульфида молибдена, карбида титана и др. были проведены Ю.Н. Петровым, Ф.С. Анселлом, Г.В. Гурьяновым и другими учеными [74–76, 165–166, 168, 212]. Исследователями установлено, что при увеличении количества частиц $A1_{2}O_{3}$ MoS_2 увеличивается пластичность покрытий, И снижается ИХ трещиноватость, уменьшается степень совершенства текстуры, возрастают внутренние напряжения первого рода, а также значительно изменяются другие физико-механические свойств получаемых покрытий. Совместное соосаждение покрытия железа с карбидом бора приводило к тому, что уменьшалось наводороживание получаемого композиционного покрытия в 1,4–1,6 раза, а применение в качестве второй фазы дисульфида молибдена – в 1,2–2,4 раза. Также авторами определено, что наличие частиц второй фазы в покрытияхна основе железа не оказывает существенного влияния на усталостную прочность, а износостойкость электролитических покрытий на основе железа в 2-20 раз выше износостойкости базового покрытия железа [166].

Л.И. Антропов и Ю.Н. Лебединский [5] исследовали возможность включения твердых частиц различных материалов в электролитический осадок никеля, а также физико-механические свойства этих покрытий. Ими установлено, что формирование композиционных покрытий на основе никеля при совместном соосаждении с окислами, карбидами и другими материалами определяется размерами и физико-механическими свойствами применяемых частиц, режимами перемешивания электролита-суспензии и его химическим составом, а также режимами электролиза. Помимо этого, микротвердость, износостойкость и коррозионная стойкость композиционных электролитических покрытий никеля с карбидов включениями различных окислов И значительно превосходят соответствующие физико-механические свойства покрытий без включений.

Ф.А. Аюповым, В.А. Вандышевым, В.М. Дзыцюком, Ю.Н. Лебединским, В.Ф. Молчановым и другими исследователями [28, 123–124, 140–141], начиная с 1962 г., проводились работы по усовершенствованию процесса

электролитического хромирования. Ими же в 1964 г. были проведены исследовательские работы по изучению возможности получения композиционных электролитических покрытий на основе хрома. В 1966 г. были исследованы вопросы по усовершенствованию процесс электролитического хромирования в саморегулирующемся сульфатно-кремнефторидном электролите.

В работах [5, 21, 140] указано на то, что композиционные гальванохимические покрытия можно получать с применением различных по природе материалов второй фазы. Назначение материалов второй фазы заключается в придании получаемым покрытиям ценных свойств, которые не характерны для базовых покрытий. Их влияние на металл покрытия может быть различным. В таблице 1.7 представлены обобщенные данные по основным дисперсным материалам второй фазы, которые способствуют улучшению тех или иных свойств покрытий.

Таблица 1.7 – Основные дисперсные материалы второй фазы, влияющие на свойства покрытий

Свойства покрытия	Дисперсные материалы
Твердость и износостойкость	Al_2O_3 , WC, ZrO_2 , TiC, ZrB_2 , B_4C , Cr_3B_2 , ZrC , ThO ₂ ,
	CeO2, TaC, WS ₂ , полититанат калия
Износостойкость в условиях	
сухого трения и повышенных	Al ₂ O ₃ , TiB ₂ , SiC, C
температур	
Жаростойкость	Al_2O_3 , SiO_2 , C, B_4C , ZrO_2
Коррозионная стойкость	каолин, ZrB ₂ , Al ₂ O ₃ , SiC
Антифрикционность	CuF ₂ , WC, MoS ₂ , BaSO ₄ , ПВХ, ПЭ, полититанат
типфрикционность	калия
Термостойкость	окислы, карбиды
Пористость	карбонильный никель

Продолжение таблицы 1.7 – Основные дисперсные материалы второй фазы, влияющие на свойства покрытий

Свойства покрытия	Дисперсные материалы
Самосмазывание	фторированный графит, графит, MoS ₂ , WS ₂ , слюда, CaF ₂
Теплопроводность	политетрафторэтилен
Эрозионная стойкость	карбиды
Прочность	Al ₂ O ₃ , SiC
Сопротивление схватыванию	МоS ₂ , ПВХ, ПЭ, полититанат калия

Для получения композиционных покрытий применяются материалы второй фазы как искусственного, так и естественного происхождения. Основные свойства материалов второй фазы представлены в таблице 1.8.

Таблица 1.8 – Свойства основных дисперсных материалов, применяемых для получения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий

Материал, химическая формула	Плотность, г/см ³	Температура плавления, °С	Коэффициент линейного расширения, α · 10 ⁻⁶ · K ⁻¹	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Электропроводность, См/м	Микротвердость, ГПа
Графит	2,20	3500	1,024,0	0,67	88360	(1,628,0)·10 ⁴	0,50,7
WSi ₂	9,25	2160	6,2	0,15	47	$8 \cdot 10^5$	10
NbSi ₂	5,66	2150	10,0	0,15	_	1,9·10 ⁵	11
Кремний	2,33	1415	2,3	0,50,8	82	$4 \cdot 10^{-2}$	12
MoSi ₂	6,10	2100	8,7	0,46	52	$4,6.10^{5}$	12
VC	5,80	2820	6,8	0,67	35	$6 \cdot 10^5$	14
CrB ₂	5,60	2200	10,5	0,45	32	30	16

Продолжение таблицы 1.8 – Свойства основных дисперсных материалов, применяемых для получения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий

Материал, химическая формула	Плотность, г/см ³	Температура плавления, °С	Коэффициент линейного расширения, α · 10 ⁻⁶ · K ⁻¹	Удельная теплоемкость, кДж/(кг·К)	Теплопроводность, Вт/(м·К)	Электропроводность, См/м	Микротвердость, ГПа
ZrC	6,80	3540	6,87,5	0,42	31	$2 \cdot 10^{6}$	16
TaC	14,60	3900	4,66,6	0,17	2329	$5 \cdot 10^5$	16
ZrO ₂	5,60	2900	7,010,0	0,46	2	$1.10^{-4}1.10^{-3}$	16
HfC	12,70	3880	5,26,5	0,21	16	$2,1.10^{6}$	17
ZrB ₂	6,17	3040	5,9	0,54	25	1.10^{7}	18
ThO ₂	9,70	3050	9,011,0	0,25	11	$2 \cdot 10^{-12}$	711
SiO ₂	2,30	1650	7,513,7	0,74	1012	$1 \cdot 10^{-12}$	712
TiO ₂	3,80	1870	10,0	0,63	5	300800	819
WC	15,80	2770	5,17,2	0,17	—	$5 \cdot 10^{6}$	1820
TiC	4,90	3140	7,49,3	0,42	36	$1,8.10^{6}$	20
SiC	3,21	2150	4,5	1,76	45150	770	2224
AlN	3,26	2400	4,0	0,84	29	1.10^{-8}	2527
Al ₂ O ₃	3,97	2050	-	0,92	40	$1 \cdot 10^{-14}$	2830

Как отмечают многие авторы [140, 179], композиционное покрытие может быть получено при введении в электролит различных частиц размерами 0,1...50 мкм в количестве от 5 до 100 г/л.

Независимо от природы частиц содержание веществ второй фазы в покрытии не превышает 2 % [180]. Несмотря на такое незначительное включение

веществ второй фазы в матрицу, физико-механические свойства покрытия резко изменяются.

В работах [21, 140] указывается на то, что микротвердость осадков увеличивается в 1,5–2,3 раза, а износостойкость – в 10–15 раз по сравнению с осадками, не имеющими в своем составе частиц твердой фазы.

Исследования, проведенные В работах Л.И. Антропова Ю.Н. И Лебединского [5, 123], указывают на малое (0,1-0,3%) содержание Al₂O₃ в слоях хрома. Однако даже этих малых количеств оказалось достаточно для снижения износа поршневых компрессионных колец в 1,8–3,5 раза и повышения их микротвердости на 1,5-2,0 ГПа. При наличии дисперсных частиц в электролите возрастал выход хрома по току с 18 до 24 %, уменьшалась хрупкость и повышалась эластичность покрытия. Здесь же описано покрытие Cr-SiC, Cr-WC с содержанием второй фазы до 8–10 %. Установлено повышение микротвердости покрытия при соосаждении с частицами с 7,0...9,5 до 11...16 ГПа.

Многие авторы [5, 21, 140] указывают на то, что важным преимуществом композиционных покрытий является сохранение повышенных значений твердости во времени по сравнению с чистыми гальваническими покрытиями, которые практически теряют ее уже в первые часы и дни после их получения.

В некоторых работах [19, 22, 124] исследователи указывают не только на повышение твердости и износостойкости, но так же и на рост термостойкости композиционных гальвано-химических покрытий в сравнении с базовыми покрытиями. По данным [140], совместное соосаждение электролитического покрытия хрома с частицами ZrB₂ способствовало получению композиционных покрытий, способных выдерживать температуру 2000...2500 °C, а соосаждение с частицами W и Mo – 3300...3600 °C [179].

При использовании частиц малого размера более устойчив процесс электрокристаллизации, так как частицам малых размеров свойственно наличие броуновского движения и нахождение длительное время в электролите во взвешенном состоянии без перемешивания [5, 21, 28, 76, 124, 140, 179].

Исследования, проведенные в работах Л.И. Антропова, Ф.А. Аюпова, В.А. Вандышева, Ю.Н. Лебединского, В.Ф. Молчанова и др. [5–6, 28, 123–124, 140], доказывают, что все виды гальвано-химических покрытий полученных с использованием частиц второй фазы имеют высокую сцепляемостью с основным металлом. Отмечается также, что пористость покрытий с включением частиц второй фазы в 2,2–3,5 раза меньше, чем полученных из электролитов, не имеющих в своем составе таких частиц.

Особенностью нанокомпозиционных электролитических покрытий является то, что их получают из электролитов-суспензий, которые представляют собой электролит с добавление некоторого количества наноразмерного материала [191, 214, 220, 221, 223, 227].

В связи с этим большой интерес представляет изучение механизма совместного соосаждения гальвано-химических покрытий и частиц второй фазы.

В образовании композиционных электролитических покрытий при электролизе электролита-суспензии Р.С. Сайфуллин [179] выделил три важных этапа:

1) встреча частиц с поверхностью катода;

2) задержание частиц на поверхности катода;

3) зарастание частиц, оказавшихся на поверхности катода.

Встреча частиц с поверхностью катода происходит В результате перемешивания электролита-суспензии искусственным или естественным путем. Искусственное перемешивание производят ультразвуком, механической пропеллерной мешалкой, рециркуляцией электролита и т.д. Естественное перемешивание является следствием электрофоретического переноса, диффузии, броуновского движения. По результатам исследований, проведенных Р. С. Сайфуллиным [179], скорость движения частиц размерами 0,01...0,1 мкм за счет диффузии и броуновского движения составляет 50...150 мкм/ч, т. е. соизмерима со скоростью осаждения многих электролитических покрытий или в десятки раз превышает ее. Что касается скорости перемещения частиц при искусственном перемешивании, то, по данным И.Н. Бородина [21], она может в сотни и даже

тысячи раз превышать скорость роста кристаллов при осаждении металлов. Однако при большой скорости перемещения, частицы, скорее всего, не будут успевать зарастать растущим гальваническим осадком, а будут уходить из прикатодной зоны в результате высоких скоростей движения электролита.

Таким образом, для обеспечения встречи частиц с поверхностью катода при образовании композиционных электролитических покрытий целесообразно использовать частицы размерами 0,01...0,1 мкм.

При задержании частиц второй фазы на поверхности катода наблюдаются такие разнообразные малоизученные явления, как адгезия, налипание, адсорбция, смачиваемость, электрическое взаимодействие катода с частицами, столкновение твердых частиц с блоками кристаллов, а также с зародышами и другими Эти и другие незавершенными структурами. явления происходят при столкновении частиц [5], вероятность которого весьма велика вследствие различия формы частиц, величины заряда, макро- и микронестационарности потоков электролита, вызываемых его перемешиванием и гидравлическим ударом о формируемую структуру и т. д. Данные явления могут послужить причиной выталкивания или выламывания частиц с поверхности катода. В этом случае построение модели образования таких покрытий затрудняется еще и рядом других факторов, в частности, наличием дефектов структуры матрицы (пор, трещин, капилляров, микро- и макронеровностей поверхности катода и т. д.). Все эти факторы могут либо способствовать, либо препятствовать удержанию частиц на поверхности катода.

В результате вышеизложенного можно сделать вывод, что для удержания частиц второй фазы на поверхности катода необходима, с одной стороны, совокупность свойств частиц, с другой – металла катода, состава электролита и режимов электролиза.

Стадия заращивания частиц формирующимся осадком определяет количество частиц второй фазы в покрытии, его физико-механические свойства, локальные неоднородности структуры, прочность соединения частиц и матрицы, микропластические деформации и напряжения в покрытии.

Находясь в непосредственной близости от катода или контактируя с ним через тонкую пленку электролита, частица второй фазы оказывает влияние на Это процесс осаждения покрытия. влияние проявляется В искажении электрического и диффузионного полей, в экранировании частицей части поверхности катода, в изменении фактической площади катода и плотности анодного тока. Данные факторы оказывают воздействие на поляризацию катода, адсорбцию частиц и молекул, пассивацию и характер формирования и роста покрытия. По данным И.Н. Бородина [22], эффект экранирования возникает при расстоянии от поверхности катода не более 0,5...0,6 размера частицы. Этот эффект изменяет условия питания ионами растущих граней покрытия. Если частица достаточно долго находится возле катода, это приводит к появлению углубления на его поверхности.

На основании вышеизложенного установлено, что для заращивания частиц второй фазы формирующимся покрытием желателен непосредственный контакт частицы с катодом, однако и при наличии жидкой прослойки электролита толщиной меньше определенного критического расстояния образование покрытий композиционных электролитических вполне возможно. Непосредственный контакт частицы с катодом в процессе электрокристаллизации металла зависит от ряда факторов, прежде всего от свойств частиц второй фазы, их адгезионной способности, зарядов частиц и катода.

Нарушение вышеперечисленных процессов или создание препятствий их протеканию может привести к различным последствиям вплоть до того, что совместное осаждение матрицы и частиц станет невозможным.

Как показывают исследования [5, 21, 179], большое влияние на структуру и состав композиционных электролитических покрытий оказывают режимы электролиза.

По данным некоторых авторов [21, 181], при более высоких плотностях тока возможно цементирование гальваническими покрытиями частиц второй фазы в больших количествах, чем при малой плотности тока. Налипшие к поверхности катода частицы при малой плотности тока могут перемещаться вместе с растущим осадком, не зарастая последним. Большим поглощением частиц при высоких значениях плотности тока объясняют иногда и повышенную шероховатость осадка [180].

Однако, по данным Л.И. Антропова и Ю.Н. Лебединского [5, 124], изменение плотности тока практически не влияет на содержание частиц в покрытии.

При осаждении некоторых покрытий наблюдается зависимость процесса от температуры электролита [22, 76, 124]. Так, при хромировании с увеличением температуры электролита содержание частиц в покрытии снижается. В.А. Вандышев в своей работе [28] объясняет это тем, что с повышением температуры вязкость электролита уменьшается, это приводит к увеличению скорости седиментации частиц, вследствие которой концентрация частиц в суспензии снижается. Повышение температуры ослабляет также адгезию частиц к поверхности катода. Однако, по мнению некоторых авторов [140, 179], содержание частиц в покрытии не зависит от температуры электролита.

Из вышеизложенного следует, что не существует однозначного влияния плотности тока и температуры электролита на структуру, состав и, следовательно, физико-механические свойства покрытия.

Некоторые авторы [181, 196] указывают также на то, что существенную роль в механизме образования композиционных электролитических покрытий играет форма частиц второй фазы. В результате металлографических исследований, проведенных Л.И. Антроповым [5], были выявлены четыре характерных типа структур, свойственных электролитическим осадкам без включений и с включениями частиц второй фазы (рисунок 1.10).

1. Если в электролите отсутствуют дисперсные частицы, в покрытиях появляются длинные, а иногда перекрещивающиеся трещины, представляющие собой следы реализации внутренних напряжений (рисунок 1.10, *a*).

2. Если в покрытие внедряются дисперсные частицы, обладающие твердостью меньше твердости матрицы, то внутренние напряжения реализуются за счет трещин, не встречая сопротивления частиц (рисунок 1.10, *б*).



Рисунок 1.10 – Модели структуры композиционных электролитических покрытий, полученных из электролитов без включений (*a*) и с введением в их состав частиц различной твердости (*б*, *в*, *г*)

3. Если значения твердости матрицы и частицы соизмеримы, то возможны два случая (рисунок 1.10, *в*):

• частицы не являются препятствием для трещин (площадь их поперечного сечения мала или ослаблена дефектами их структуры), в этом случае трещины в матрице развиваются в основном в направлении роста кристаллов;

• частицы являются препятствием для образования трещин в матрице, в результате чего возрастает защитная способность покрытия.

4. Высокая твердость дисперсных частиц по сравнению с твердостью материала матрицы вызывает реализацию напряжений между близлежащими включениями (рисунок 1.10, *г*). Кроме того, около включений образуется большое количество микротрещин, размеры которых на два, три и более порядков меньше, чем в первом случае. Защитная способность покрытия улучшается, так как длинных трещин становится меньше, а сквозные трещины могут отсутствовать. Покрытия, имеющие такую структуру, в меньшей степени влияют на снижение усталостной прочности материала, на который их наносят. Покрытия,

получаемые, например, хромированием, имеют предел усталостной прочности в 3–5 раз меньше, чем в других случаях [21].

Становится очевидным, что частицы должны иметь шарообразную форму, так как трещины зарождаются на острых гранях и выступах частиц:

$$S_{\rm q} = 4\pi r^2 \psi, \qquad (1.1)$$

где $S_{\rm q}$ – площадь поверхности частицы, мм²; *r* – радиус частицы, мм; ψ – фактор формы (в идеальном случае $\psi \rightarrow 1$).

Большое влияние на механизм образования композиционных электролитических покрытий оказывает природа дисперсных частиц. Некоторые авторы указывают на то, что заращивание частиц, обладающих высокой электропроводимостью, и неэлектропроводных частиц происходит по-разному (рисунок 1.11) [22, 140].



Рисунок 1.11 – Схема зарастания дисперсных токопроводящих (*а* и б) и нетокопроводящих (*в* и *г*) частиц

Зарастание электропроводных частиц второй фазы осуществляется по всему периметру – от основания до вершины (рисунок 1.11, a, δ), а зарастание частиц, с низкой электропроводимостью, происходит в первую очередь у основания, а после распространяется шире (рисунок 1.11, e, z).

Л.И. Антропов в своих работах [5–6] рассмотрел механизм зарастания идеальных электропроводных и неэлектропроводных шаровых частиц (рисунок 1.12).

Так, в момент контактирования с катодом электропроводная шаровая частица (рисунок 1.12, *a*) заращивается слоем металла толщиной δ по периметру контактирования с катодом по сфере.

Удержание частицы второй фазы будет происходить при выполнении условия, что сила реакции удара частицы о поверхность катода -f не будет превышает прочность слоя металла $P_{\rm M} = \sigma_{\rm p} F_{\rm M}$, который сформировался за время контактирования частицы с катодом по периметру π ее контактирования $F_{\rm M} = \delta \pi$, и силу сцепления $f_{\rm c}$ между частицей по сфере *abc*:

$$-f < \sigma_{\rm p} \delta \pi + f_{\rm c} \quad . \tag{1.2}$$

Как видно из формулы (1.2), чем больше слой металла, выделившегося за время контактирования частицы, и выше предел его прочности на разрыв, тем лучшие условия создаются для удержания частиц на поверхности катода.

При $-f < \sigma_p \delta \pi + f_c$ произойдет отрыв частицы с разрывом металла по толщине слоя δ в плоскости периметра частицы, расстояние которой от катода находится в пределах радиуса частицы. Это обусловлено тем, что сила реакции удара передается сферой частицы на металлическую обойму, и разрыв происходит в плоскости наименьшего сопротивления материала. Так как полусфера *abc* значительно меньше полусферы *ab c*, то разрыв должен произойти в интервале плоскостей a'c' - a''c''.

Диэлектрическая шаровая частица (рисунок 1.12, *б*) за период контактирования с катодом заращивается металлом по сфере. Высота металла, в данном случае, соответствует толщине осажденного слоя δ.





Рисунок 1.12 – Схема захвата металлом идеальных шаровых электропроводных (П)

В случае, если δ не превышает *P* частицы, то ее удержание невозможно в связи с отсутствием сцепления между частицей второй фазы и металлом покрытия по полусфере *abc* ($f_c = 0$).

Если толщина осажденного слоя металла превышает половину диаметра частицы (рисунок 1.12, *в*), удержание ее возможно за счет прочности при сдвиге $P_{\rm M} = \sigma_{\rm cg} F_{\rm M}$ слоя покрытия, который охватывает частицу по верхней сфере dd'-ee'и равен $\delta' = \delta - 0.5d_r$, при условии, что сила реакции удара частицы о поверхность катода не превышает прочности слоя металла толщиной δ' :

$$-f < P_{\delta'}.\tag{1.3}$$

В том случае, если $-f < P_{\delta'}$ (рисунок 1.12, *г*), произойдет отрыв частицы второй фазы от катода и сдвиг металла покрытия в направлении, перпендикулярном направлению силы реакции контакта частицы dd'' - ee''.

Таким образом, скорее всего наиболее благоприятным при осаждении композиционных электролитических покрытий будет использование электропроводных частиц. Однако последние могут быть причиной образования рыхлых покрытий, которые часто нуждаются в последующей обработке для уплотнения и сцепления с основой [124]. Поэтому целесообразным будет использование неэлектропроводных частиц размерами 0,01...0,1 мкм. Такой размер является достаточным для удержания неэлектропроводных частиц слоем покрытия в период их контактирования с катодом.

Кроме того, по мнению В.Ф. Молчанова [140], с точки зрения поддержания устойчивости электролита-суспензии и включения частиц в формирующееся покрытие их оптимальные размеры должны быть порядка 0,01...0,05 мкм. Автор установил, что более крупные частицы второй фазы (0,1...10 мкм) сложнее внедряются в покрытие, быстрее седиментируют, в результате чего покидают прикатодное пространство, в связи с этим их действующая концентрация становится ниже рецептурной.

Наиболее часто используют электролиты-суспензии с концентрацией частиц второй фазы 1...5 г/л [179]. Некоторые авторы [5, 21], стремясь получить

композиционные покрытия, с повышенным содержанием частиц второй фазы, использовали электролиты-суспензии с повышенной концентрацией частиц. Однако в этом случае степень использования формирующимся покрытием частиц второй фазы значительно снижается, т. е. происходит насыщение покрытия частицами [180].

1.3.2 Физико-механические свойства и механизм образования нанокомпозиционных химических покрытий

Процесс химического никелирования металлов был открыт в 1946 г. советскими учеными [19, 29, 36].

Дальнейшие исследования [29, 37, 46] процесса получения никельфосфорных покрытий выявили достаточно сложный механизм их образования.

На первом этапе исследований, механизм формирования никель-фосфорных покрытий описывали следующими уравнениями химических реакций [37]:

$$NiCI_2 + 2NaH_2PO_2 + 2H_2O \rightarrow Ni + 2NaH_2PO_3 + H_2 + 2HCl;$$
(1.4)

$$NaH_2PO_2 + H_2O \rightarrow NaH_2PO_3 + H_2.$$
(1.5)

При этом реакция (1.5) считалась побочной. Однако эти уравнения не описывают процесс образования фосфора и поступления его в покрытие.

В работах [117] схема процесса представлена уравнением:

$$NiSO_4 + NaH_2PO_2 + 2H_2O = Ni + H_2 + H_2SO_4 + NaH_2PO_4.$$
 (1.6)

При разложении солей гипофосфита может выделяться фосфор в результате реакции:

$$4\text{NaH}_2\text{PO}_2 \rightarrow 2\text{P} + 3\text{H}_2 + 2\text{Na}_2\text{HPO}_4. \tag{1.7}$$

При химическом никелировании, наиболее часто, в качестве восстановителя никеля применяют гипофосфит натрия. Выбор восстановителя обуславливается химической составляющей получаемого покрытия.

Гипофосфит в растворе может диссоциировать по уравнению:

$$NaH_2PO_2 \leftrightarrow Na++H_2PO_2.$$
 (1.8)

Химические связи Р–О в молекуле гипофосфита полярны, а связь Р–Н фактически неполярна, ввиду того, что водород и фосфор имеют одинаковые электроотрицательности (2,1). Однако в литературе [118, 144] принято считать водород в связи Р–Н гидридным.

В исследованиях ряда других авторов [116, 167], суммарная реакция, представленная химическим уравнением (1.6), не соответствует действительному течению процесса осаждения покрытия никеля, а выявляет только некоторые конечные продукты реакции.

На основании анализа результатов исследований [29, 37, 46, 118, 144], можно сделать вывод, что механизма формирования покрытия химического никеля является более сложным, чем тот, который представлен химическими уравнениями (1.4)–(1.8) [19, 29, 37].

На первых этапах кристаллизация химического никеля протекает по островковому механизму (рисунок 1.13) [37].



Рисунок 1.13 – Модель формирования структуры островков

Островки покрытия формируются таким образом, что наиболее плотно упакованная грань <111> гранецентрированной кристаллической решетки располагается в основном параллельно поверхности катода, а в плоскости катода они формируются хаотически [36].

В настоящее время наиболее детально исследовано осаждение композиционных никель-фосфорных покрытий, в которых в качестве веществ второй фазы используют SiC, Si₃N₄, Al₂O₃, TiO₂, B, BN, MoS₂ [21, 84].

Особенностью совместно соосаждения химического покрытия никеля и частиц второй фазы является большее внедрение частиц в покрытие, чем при электролитическом соосаждении, при одних и тех же концентрациях суспензий [5, 21, 179].

При внедрении частиц второй фазы изменяется плотность получаемых покрытия. Так, в работах [5, 180] указано на то, что плотность химического покрытия никеля при содержании фосфора 9,1–9,8 % по массе составляет 7,8–8,1 г/см³, плотность химического никель-фосфорного покрытия при добавлении оксида алюминия 7,5 % по массе – 7,7 г/см³, а при добавлении оксида титана 12 % по массе – 7,8 г/см³.

По данным, представленным в [22], пористость композиционного химического покрытия при введении частиц не увеличивается или снижается. Так, композиционные химические покрытия полученные с использованием частиц карбида титана при толщине 10 мкм были беспористыми, в то время как покрытия той же толщины полученные без использования частиц второй фазы имели пористость 20...25 пор/см².

При разработке новых технологий восстановления прецизионных деталей топливной и гидравлической аппаратуры с применением нанокомпозиционных покрытий одной из главных задач является улучшение физико-механических свойств получаемых покрытий.

Многочисленными исследованиями доказано, что внедрение частиц второй фазы в химическое покрытие никеля в большинстве случаев приводит к значительному увеличению его микротвердости и износостойкости [5, 21, 84, 181].

По данным [29, 46], микротвердость композиционного химического покрытия никеля достигает значений, которые в 2–2,5 раза выше, чем у покрытий полученных без применения частиц. Значение микротвердости зависит в основном от природы частиц второй фазы. Так, например, применение карбида кремния увеличивает микротвердость получаемых покрытий до 700 МПа. Последующая термообработка покрытий способствует дополнительному

увеличению их микротвердости в 1,5–2 раза, однако при температурах превышающих 500 °С может снижаться.

Помимо этого, при внедрении частиц второй фазы происходит значительное увеличение износостойкости получаемых покрытий. При внедрении в химические покрытия никеля частиц карбида кремния их износ по массе в 2–3 раза, а частиц карбида бора в 3–4 раза меньше, чем у покрытий, полученных без применения частиц второй фазы [180].

Другим, не менее важным физико-механическим свойством любых гальвано-химических покрытий является их коррозионная стойкость. Авторами работ [37, 144, 173, 174] проведены исследования коррозионной стойкости химических покрытий никеля, полученных с применением частиц оксидов титана алюминия, циркония. С повышением количества частиц в получаемых покрытиях, во всех случаях, наблюдалось увеличение их коррозионной стойкости.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что для повышения микротвердости и коррозионной стойкости химического никель-фосфорного покрытия можно использовать порошки Al₂O₃, Ti, SiC и др. Однако этого недостаточно, несомненно, что для увеличения износостойкости наряду с повышением микротвердости, необходимо также улучшать антифрикционные характеристики покрытий.

Число веществ, применяемых при создании антифрикционных нанокомпозиционных покрытий, обширно и включает, в частности графит, нитриды (α-BN), сульфиды (MoS₂, WS₂, ZnS, CdS), селениды (MoSe₂, NbSe2, TaSe₂) и др. [23, 181].

Такие вещества являются основой для получения покрытий самосмазывающихся или с улучшенными антифрикционными свойствами. Слоистая структура таких материалов обеспечивает легкое расслоение частиц при трении.

Частицы графита в основном крупнозернисты и электропроводны, поэтому не пригодны для создания нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий [5].

Нитрид бора α-BN имеет графитоподобную структуру. В отличие от графита, несмотря на малое расстояние между слоями в кристаллической решетке α-BN неэлектропроводен. При высоких температурах в присутствии кислот α-BN может частично гидролизоваться водой, гидролиз его в кислых гальванических электролитах практически не наблюдается. Он легко разлагается в 5%-ной серной кислоте и в горячих щелочных растворах [21].

Для большинства сульфидов характерны низкие и постоянные значения коэффициентов трения (0,05-0,25). Сульфиды молибдена и вольфрама отличаются высокой адгезией к металлам, при введении их в состав композиций, они образуют с жидкими смазками системы с высокими антифрикционными свойствами. Наиболее интересным из сульфидов с точки зрения включения в покрытия является дисульфид молибдена. Дисульфид молибдена легко образует мягкие чешуйки благодаря тому, что ионы молибдена, прочно связанные между собой, одновременно слабо связаны с соседними слоями, состоящими из атомов серы. Дисульфид молибдена стоек при кипячении в воде, но разлагается в азотной и серной кислотах [23].

Большинство наноразмерных антифрикционных материалов малопригодны для получения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий, поскольку они разлагаются в кислотах и щелочах.

В настоящее время в ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.» разработана технология получения наноразмерных частиц полититаната калия.

Полититанат калия ($K_2O \cdot nTiO_2$) представляет собой новый класс химических соединений, который состоит из слоистых кристаллов чешуйчатой формы. Данное соединение является промежуточным продуктом синтеза волокнистых титанатов калия. Размер частиц – 0,05–0,08 мкм. Чешуйчатый полититанат калия является наполнителем высокопрочных композиционных материалов и, что особенно важно, не разлагается в кислотах и щелочах.

Изложенное свидетельствует о том, что механизмы соосаждения частиц и гальвано-химических покрытий малоизучены и определяются сложной

корреляционной взаимосвязью факторов, зависящих как от природы, формы и размеров частиц, так и от условий осаждения покрытий.

Из анализа литературных данных видно, ЧТО наиболее вероятно направление получения качественных нанокомпозиционных гальванохимических покрытий при использовании неэлектропроводных частиц второй фазы, имеющих шарообразную форму и размеры 0,01...0,1 мкм. Кроме того, для упрочнения покрытий частицы должны обладать твердостью, превышающей твердость основного металла покрытия. С целью увеличения износостойкости покрытий следует стремиться к улучшению антифрикционных характеристик, используя для их модификации не только твердые наноразмерные материалы, но и материалы с антифрикционными свойствами.

1.4 Выводы по первой главе

1. Анализ надежности сельскохозяйственной техники позволил установить, что она в большой степени определяется ресурсом агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры, на которые приходится до 42 и 26 % всех неисправностей и отказов соответственно. Агрегатами, лимитирующими долговечность топливной и гидравлической аппаратуры, являются топливные насосы высокого давления и гидрораспределители, ресурсы которых в свою очередь ограничены ресурсами плунжерных и золотниковых пар.

Основным видом изнашивания сопряжений плунжерных и золотниковых пар является гидроабразивное разрушение рабочих поверхностей, омываемых жидкостью, сопровождающееся гидравлическим и механическим защемлением. Максимальная суммарная величина износа плунжерных пар составляет 60 мкм, золотниковых пар гидрораспределителей Р160 – 200 мкм, а золотниковых пар гидрораспределителей Р160 – 200 мкм, а золотниковых пар гидрораспределителей Р80 – 100 мкм.

Снизить износ и исключить схватывание в прецизионных парах топливной и гидравлической аппаратуры можно за счет повышения микротвердости рабочих

поверхностей с учетом подбора триботехнически совместимых материалов для сопрягаемых поверхностей.

2. Существующие способы восстановления плунжерных и золотниковых пар технологически трудно управляемы и не обеспечивают требуемого уровня долговечности агрегатов, поэтому разработка новых технологий, повышающих эффективность восстановления деталей, является актуальной научной проблемой. Установлено, наиболее перспективными восстановления ЧТО ДЛЯ ресурсоопределяющих деталей топливной И гидравлической аппаратуры являются нанокомпозиционное электролитическое хромирование, нанокомпозиционное электролитическое железнение, нанокомпозиционное химическое никелирование.

3. Механизм соосаждения наноразмерных частиц и гальвано-химических покрытий малоизучен и определяется сложной корреляционной взаимосвязью факторов, зависящих как от природы, формы и размеров частиц, так и от условий осаждения покрытий. Анализ литературных данных показал, что наиболее вероятно получение качественных нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий при использовании неэлектропроводных частиц второй фазы, имеющих шарообразную форму и размеры 0,01...0,1 мкм.

4. Анализ литературных источников показал, что наиболее эффективным вариантом решения проблемы повышения долговечности прецизионных деталей может быть модификация гальвано-химических покрытий новыми наноразмерными материалами. Это решение и обусловливает необходимость дальнейшего развития и углубления экспериментальных и теоретических исследований данной проблемы и в частности:

• теоретического обоснования механизма упрочнения гальванохимических покрытий наноразмерными материалами и степени повышения ресурса сопряжений прецизионных деталей топливной и гидравлической аппаратуры при их восстановлении нанокомпозиционными гальванохимическими покрытиями;
• исследования морфологии, структуры, химического состава и основных физико-механических свойства нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля;

• повышения долговечности агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры за счет разработки более эффективных способов восстановления их ресурсоопределяющих деталей.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ АГРЕГАТОВ ТОПЛИВНОЙ И ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ

Показатели долговечности агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры проявляются в процессе их эксплуатации и зависят от условий использования агрегатов, принятой системы их ремонта, методов технического обслуживания, режимов работы и других эксплуатационных факторов. Основным показателем долговечности агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры является их ресурс.

2.1 Ресурс агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры

Повышение среднего технического ресурса агрегатов наиболее рационально проводить путем увеличения межремонтных ресурсов, сохраняя неизменным количество капитальных ремонтов [32].

Для сопряжения из двух деталей зависимость между ресурсом и износом можно представить в виде схемы (рисунок 2.1) [27, 111, 176, 190].

Согласно рисунку 2.1, предельный износ сопряжения U_{np} [38]:

$$U_{\rm np} = U'_{\rm np} + U''_{\rm np} = S_{\rm np} - S_{\rm hay} \,. \tag{2.1}$$

В исследованиях, проведенных И.В. Крагельским, Д.Н. Гаркуновым и А.А. Старосельским [109–111, 188], установлена зависимость ресурса сопряжения от скорости изнашивания:

$$T_{\text{пары}} = \frac{M_{\text{пр}}}{I_{h(t)}},\tag{2.2}$$

где $I_{h(t)}$ – скорость изнашивания сопряжения, мм/ч:

$$I_{h(t)} = I'_{h(t)} + I''_{h(t)}, \qquad (2.3)$$

где $I'_{h(t)}$, $I''_{h(t)}$ – скорости изнашивания первой и второй деталей соответственно, мм/ч.



Рисунок 2.1 – Зависимость между ресурсом и износом для сопряжения из двух деталей: U'_{np} , U''_{np} – предельные износы первой и второй деталей соответственно; $S_{\text{нач}}$, S_{np} – начальный и предельный зазоры сопряжения соответственно; $T_{napы}$ – ресурс сопряжения

Таким образом, в соответствии с формулами (2.2) и (2.3) ресурс сопряжения при неизменном предельном зазоре определяется скоростями изнашивания сопрягаемых деталей.

В расчетах на износ при установившемся процессе изнашивания принято использовать значение интенсивности изнашивания I_h .

Интенсивность линейного изнашивания связана со скоростью изнашивания зависимостью [188, 200]:

$$I_h = \frac{I_{h(t)}}{V_{\rm rp}},\tag{2.4}$$

где $V_{\rm rp}$ – скорость относительного перемещения поверхностей трения, мм/ч.

При расчете ресурсоопределяющих сопряжений на износ немаловажным фактором является установление характера взаимодействия трущихся поверхностей.

Разрушение поверхностей трения обычно проявляется в отделении частиц материала, размер которых изменяется от долей микрометров до нескольких микрометров [99, 108, 176]. Этот процесс в большей степени сопровождается многократным воздействием нагрузок и температурных импульсов на единичные неровности. В основном разрушению предшествует изменение свойств трущихся поверхностей. В связи с этим механизмы и характеры изнашивания поверхностей достаточно разнообразны.

В работах И.В. Крагельского [109–111] предложена классификация фрикционных связей трущихся поверхностей устанавливающая пять их видов: упругое оттеснение материала; пластическое оттеснение материала; срез внедрившегося материала; схватывание пленок, покрывающих поверхности твердых тел, и их разрушение; схватывание поверхностей, сопровождающееся глубинным вырыванием материала.

Исследования, представленные в работах [4, 12, 15, 20, 32, 81, 90, 93, 143], а также доводы, изложенные выше, дают основания полагать, что в плунжерных и золотниковых парах преобладающими являются пластическое оттеснение металла и микрорезание.

В работах И.В. Крагельского и Д.Н. Гаркунова установлена суммарная зависимость интенсивности изнашивания при совместном действии нескольких видов изнашивания [109–111, 188].

Тогда суммарную интенсивность изнашивания $\sum I_h$ одной из двух деталей сопряжений плунжерных или золотниковых пар можно представить в виде:

$$\sum I_h = I_h^{\text{III}} + I_h^{\text{p}}, \qquad (2.5)$$

где I_h^{nn} – интенсивность изнашивания в результате пластического оттеснения металла; I_h^p – интенсивность изнашивания в результате микрорезания.

Интенсивность изнашивания в результате пластического оттеснения металла можно определить по формуле [111]:

$$I_{h}^{\Pi\Pi} = \frac{\sqrt{\frac{h_{\max}^{\nu}}{r}} \left\{ -\ln \left[1 - \frac{h_{\max}}{r} \left(\frac{q_{a}}{HB} \right)^{1/\nu} - \sqrt{\frac{2h_{\max}}{R}} \left(\frac{q_{a}}{HB} \right)^{1/\nu} \frac{\sigma_{s} + 2\tau}{\sigma_{s} - 2\tau} \right] \right\}^{t}}{2(\nu+1)[\ln(1+\delta)]^{t}} \times (2.6)$$
$$\times \left(\frac{q_{a}}{HB} \right)^{1+\frac{1}{2\nu}},$$

где h – глубина внедрения (высота микронеровности), мм; r – радиус пятна контакта, мм; v – эмпирический коэффициент, зависящий от шероховатости поверхности; q_a – давление на номинальную площадь контакта, Па; НВ – твердость; R – радиус закругления микровыступов (радиус единичной микронеровности), мм; σ_s – предел текучести, Па; τ – тангенциальная прочность фрикционной связи, Па; t – показатель кривой усталости; δ – разрывное удлинение, %.

Интенсивность изнашивания в результате микрорезания [111]:

$$I_h^{\rm p} = \frac{\mathrm{tg}\beta}{2(n+1)} \frac{q_a}{\mathrm{HB}},\tag{2.7}$$

где β – угол внедрения абразивной частицы в поверхность детали, град.; *n*+1 – число циклов, приводящих к отделению частиц износа.

Интенсивность изнашивания при микрорезании зависит от остроты абразивных частиц, она пропорциональна удельному номинальному давлению и обратно пропорциональна твердости материала детали.

С учетом формул (2.5)–(2.7) выражение для определения суммарной интенсивности изнашивания одной из двух деталей сопряжений плунжерных или золотниковых пар примет вид:

$$\sum I_{h} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{h_{\max}^{\nu}}{r}} \left\{ -\ln\left[1 - \frac{h_{\max}}{r} \left(\frac{q_{a}}{HB}\right)^{1/\nu} - \sqrt{\frac{2h_{\max}}{R}} \left(\frac{q_{a}}{HB}\right)^{1/\nu} \frac{\sigma_{s} + 2\tau}{\sigma_{s} - 2\tau} \right] \right\}^{t} \\ \frac{2(\nu+1)[\ln(1+\delta)]^{t}}{\left[\ln(1+\delta)\right]^{t}} \\ \times \left(\frac{q_{a}}{HB}\right)^{1+\frac{1}{2\nu}} \\ + \left[\frac{\mathrm{tg}\beta}{2(n+1)}\frac{q_{a}}{HB}\right]. \tag{2.8}$$

Анализ формулы (2.8) показывает, что интенсивность изнашивания пропорциональна нагрузке *q_a* в степени больше единицы:

$$\sum I_h \sim q_a^{1 + \frac{t+1}{2\nu}}.$$
 (2.9)

Учитывая, что обычно *v* и *t* колеблются в пределах 2–3, показатель степени при нагрузке будет изменяться в пределах 1,5–2,0.

Интенсивность линейного изнашивания связана с физико-механическими свойствами материала трущихся поверхностей следующей зависимостью:

$$\sum I_h \sim \frac{\left(\frac{\sigma_s + 2\tau}{\sigma_s - 2\tau}\right)^{\frac{t}{2}}}{\delta^t (\text{HB})^{1 + \frac{t+1}{2\nu}}}.$$
(2.10)

Зависимость (2.10) выражает связь износа с характеристиками пластичности материала, твердости, фрикционными свойствами и усталостью. В общем случае интенсивность линейного изнашивания тем меньше, чем меньше тангенциальная прочность фрикционной связи и чем выше твердость и разрывное удлинение.

Твердость материала трущихся поверхностей связана с интенсивность износа следующим образом [109–111]:

$$\sum I_h \sim \left(\frac{1}{\text{HB}}\right)^{1 + \frac{t+1}{2\nu}}.$$
(2.11)

Анализируя выражение (2.8), можно сделать вывод о том, что важным фактором, оказывающим влияние на интенсивность износа, является твердость трущихся поверхностей. Поэтому большой научно-практический интерес представляет изучение влияния наноразмерных частиц на микротвердость получаемых покрытий, интенсивность их изнашивания и ресурс сопряжений в целом.

Для большинства деталей сельскохозяйственной техники выход из строя обусловлен изнашиванием. Чем выше твердость металла, тем меньше износ, однако некоторые характеристики структуры или свойств вносят определенный, а иногда и существенный вклад в сопротивление изнашиванию. Следовательно, методы повышения твердости поверхности приводят в разной степени к повышению износостойкости деталей машин.

Таким образом, очевидно, что с повышением твердости материала будет повышаться его износостойкость и увеличиваться ресурс сопряжений, изготовленных из этого материала.

В исследованиях, проведенных Ф.А. Аюповым, В.А. Вандышевым, В.М. Дзыцюком, В.Ф. Молчановым и рядом других исследователей [28, 140, 179], установлено, что в результате внесения наноразмерных частиц в различные электролиты и растворы микротвердость получаемых покрытий возрастает. Однако в литературе практически нет теоретических зависимостей, позволяющих рассчитывать и прогнозировать микротвердость нанокомпозиционных гальванохимических покрытий. Это объясняется большим количеством сопутствующих процессу нанесения покрытий факторов, таких, как электрофоретический диффузия, броуновское перенос, движение, налипание, смачиваемость, седиментация, адсорбция, адгезия, электрическое взаимодействие катода с частицами, столкновение частиц второй фазы с формирующимися блоками зародышами другими незавершенными кристаллов, И структурами, возникновение дефектов структуры металла покрытия (пор, трещин, капилляров, микро- и макронеровностей поверхности катода) и др.

Наиболее вероятным представляется определение усредненной микротвердости нанокомпозиционного покрытия, которая представляет собой микротвердость покрытия на единичной площади, при условии, что на увеличение микротвердости влияет не только микротвердость самих частиц, но и

микротвердость материала покрытия, упрочненного в результате изменения его структуры.

Для установления зависимости изменения микротвердости покрытий необходимо изучить процессы образования и упрочнения гальвано-химических покрытий нанокомпозиционными включениями.

2.2 Механизм упрочнения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий

Исследованию влияния структуры металла на его физико-механические свойства посвящено значительное количество работ [71, 73, 98, 102, 127, 192], в них установлены соотношения между пределом текучести, твердостью и размером блоков металла, что позволяет теоретически исследовать протекающий процесс образования и упрочнения нанокомпозиционных покрытий.

Решения вопросов физики твердого тела, в частности, теории несовершенства кристаллического строения (теории дислокаций) представляют большой научный интерес, так как открывают возможности поиска новых путей решения основных теоретических задач трения и на этом основании позволяют исследовать и разрабатывать новые практические методы управления процессом изнашивания.

2.2.1 Дислокационный механизм упрочнения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий

Гальвано-химические покрытия имеют четко выраженную кристаллическую структуру, поэтому процесс катодного восстановления металлов называют электрокристаллизацией [40]. Известно, что различные дефекты кристаллической решетки (например, вакансии, дислоцированные атомы, дислокации, а в чистых металлах также наличие примесей чужеродных атомов) играют важную роль в различных физических процессах, происходящих в кристаллических решетках металлов и сплавов. При этом особое значение представляет вопрос изучения влияния искажений кристаллической решетки на прочность металлов (рисунок 2.2) [41].



Плотность дислокаций и других искажений

Рисунок 2.2 – Схематическое изображение влияния искажений кристаллической решетки на прочность металлов

Из представленного графика становится очевидным, что решая вопрос увеличения прочности металлов путем управления состоянием их строением следует придерживаться двух направлений: либо направления создания изделий,

которые имеют структуру идеальных монокристаллов с решеткой, не содержащей каких-либо дефектов (при современном уровне техники осуществление данного направления является весьма затруднительным); либо направления заключающегося в обеспечении преобразования структурного состояния металла, условий, с помощью оптимального для заданных электрохимического, химического, механического, термического, термомеханического и других видов воздействий.

Известно, что большинство физико-механических свойств металлов определяется их внутренним строением [98]: структурным состоянием, величиной мозаичных блоков, наличием дефектов в кристаллической решетке, а также величиной остаточных напряжений. В различных твердых телах расположение атомов в решетке носит несовершенный характер.

Присутствие различного рода несовершенств оказывает влияние на физические процессы, которые происходят в металлах, и может изменять их свойства, они в этом случае являются структурно чувствительными и должны быть связаны с плотностью распределения дефектов в кристаллах.

Различные гипотезы, описывающие характер дефектов кристаллической решетки, были предложены в свое время рядом авторов [41, 98, 106, 198, 219] и их можно разделять по размерности или геометрическому признаку на следующие группы [98, 102, 192]:

• точечные (нольмерные) дефекты малы во всех измерениях, их размеры по всем направлениям не превышают несколько атомных диаметров; к ним относятся вакансии, межузельные атомы, примесные атомы внедрения и замещения, а также их комплексы;

 линейные (одномерные) дефекты в двух измерениях имеют малые размеры, а в третьем – значительную величину, соизмеримую с длиной кристалла; к ним относятся дислокации, цепочки вакансий и межузельных атомов;

• поверхностные (двумерные) дефекты малы только в одном измерении; ими являются границы зерен, субзерен и двойников, дефекты упаковки, границы доменов, поверхности раздела фаз. Точечные дефекты представляют собой концентраторы локальных искажений в кристаллической решетке. Однако существенные смещения атомов, которые окружают межузельный атом или вакансию, возникает только на расстояниях нескольких атомных диаметров от центра дефекта, в связи с этим следует, что поля упругих напряжений являются близкодействующими, т. е. быстро убывают (с увеличением расстояния) от дефекта. Точечные дефекты требуют определенной затраты энергии для образования, одновременно с этим они являются термодинамически равновесными, т. е. всегда присутствуют в кристалле.

При осаждении нанокомпозиционных покрытий, частицы наноразмерной фазы находящиеся в электролите, вызывают нарушение в построении кристаллической решетки, которая содержит точечные, линейные и плоскостные дефекты. Высокая концентрация вакансий обусловливает повышение скорости диффузионных процессов, количество дефектов в кристаллической решетке увеличивается [106].

Реальное строение твердых тел хорошо описывается теорией дислокаций [41, 106, 134], согласно которой каждое кристаллическое тело характеризуется определенным типом дислокаций и их плотностью.

Линейные дефекты в кристаллах характеризуются тем, что их поперечные размеры не превышают нескольких межатомных расстояний, а длина может достигать размера кристалла. К линейным дефектам в первую очередь относятся дислокации – линии, вдоль и вблизи которых нарушено правильное периодическое расположение атомных плоскостей кристалла [106].

Краевая дислокация представляет собой границу неполной атомной плоскости (экстраплоскости). Винтовую дислокацию можно определить как сдвиг одной части кристалла относительно другой. Так как деформация в кристаллических телах осуществляется движением дислокаций, то упрочнение может быть достигнуто путем создания препятствий для их продвижения [198].

Таким образом, дислокацию можно представить в виде линейного несовершенства, которое является границей зоны сдвига внутри кристалла.

Данная граница разделяет ту часть плоскости скольжения, где сдвиг уже произошел, от той части, где он еще не начинался. При макроскопическом рассмотрении такая граница зоны сдвига внутри кристалла является геометрической линией. В плоскости скольжения линия дислокации является пространственной линией произвольной формы, т. е. является смешанной дислокацией. Отдельные малые участки этой кривой имеют краевую или винтовую ориентацию, но большая ее часть не перпендикулярна и не параллельна вектору сдвига.

Если в кристалле присутствует краевая дислокация, то сдвиг происходит в плоскости скольжения перпендикулярно линии дислокации. В результате сравнительно небольших перемещений атомов вблизи дислокации она под воздействием напряжения сдвига передвигается через решетку (рисунок 2.3, a, δ). При выходе дислокации на противоположную поверхность кристалла образуется единичная ступенька скольжения (рисунок 2.3, a), а дислокация исчезает.

В 1948 г. Р. Хайнденрайх и В. Шокли [106] обнаружили следующее явление. Полосы скольжения в алюминиевом образце состоят из ряда тонких линий скольжения, отстоящих друг от друга на несколько сот межатомных расстояний, и между полосами находятся участки, не претерпевшие сдвига. Ими было установлено, что величина сдвига по каждой плоскости скольжения составляет несколько тысяч межатомных расстояний. Последующие работы в данном направлении показали, что расстояние между линиями скольжения, так же как и интенсивность сдвига, зависит от температуры, скорости деформации, а также от свойств материала.

С целью объяснения происхождение подобных полос скольжения, Франк и Рид предложили дислокационный механизм, с помощью которого сдвиги большой величины могут создаваться дислокациями, имеющими один и тот же источник [106]. В процессе роста кристалла в нем образуется множество дислокаций, одни из них лежат в плоскостях легкого скольжения, а другие – в таких плоскостях, скольжение по которым невозможно. В настоящее время доказано, что в кристалле существует трехмерная сетка дислокаций [21, 106].



Рисунок 2.3 – Пространственная схема последовательного перемещения краевой дислокации через кристалл: *а* – краевая дислокация в кристаллической структуре; *б* – дислокация, перемещенная на одно межатомное расстояние в решетке под влиянием приложенной силы; *в* – дислокация, достигшая поверхности кристалла и совершившая единичный сдвиг

Обычными препятствиями, которые заставляют дислокацию переходить из одной плоскости в другую, являются выделения, примеси, линейные или поверхностные дефекты и др. [21]. Один из результатов поперечного скольжения – образование на поверхности металла изогнутых линий скольжения. Они характерны для кристаллов, обладающих несколькими плоскостями скольжения и

ориентированных так, что напряжения на главных плоскостях приблизительно одинаковы.

При деформации металлических материалов происходят взаимодействие и пересечение дислокаций. Взаимодействие между дислокациями определяется стремлением их структуры занять такое положение, которое ведет к минимуму ее общей энергии. При пересечении дислокаций возникают дислокационные пороги, вакансии и перестройка внедренных атомов [41]. Если две дислокации, лежащие в пересекающихся плоскостях, движутся навстречу, пересекаются и затем продолжают свое движение в противоположные стороны, то после этого могут возникать цепочки вакансий или образовываться на дислокациях ступеньки – пороги.

Плотность дислокации играет существенную роль в формировании структуры и свойств кристаллических материалов. Этот показатель зависит от многих обстоятельств. Нитевидные кристаллы могут быть бездислокационными или с одной винтовой дислокацией роста. В сильно деформированных металлах плотность дислокаций достигает 10^{11} см⁻². В тонких осажденных пленках возможно образование плотности дислокаций до 10^{12} см⁻² [98, 106].

Для того чтобы краевая дислокация могла двигаться в кристалле, свободном от дефектов, необходимо приложить минимальное (критическое) касательное напряжение, при котором дислокация преодолевает потенциальный барьер, разделяющий соседние атомы кристаллической решетки. Сила, необходимая для этого перемещения дислокации, называется силой Пайерлса – Набарро и определяется следующим образом [21]:

$$f_n = b\tau_n, \tag{2.12}$$

где *b* – вектор Бюргерса; τ_n – минимальное касательное напряжение, необходимое для скольжения дислокации в совершенном кристалле (напряжение Пайерлса – Набарро).

Препятствия на пути движения дислокаций требуют дополнительного напряжения для их дальнейшего продвижения, способствуя повышению сопротивляемости материала внешним нагрузкам. Эффективными барьерами для движения дислокаций могут являться с одной стороны границы зерен, а с другой – наноразмерные частицы, сравнительно равномерно распределенные в получаемых покрытиях.

Включение в покрытия наноразмерных частиц нарушает упорядочение роста его кристаллов, а при зарастании включений имеется вероятность образования дополнительных винтовых дислокаций [140].

Если частицы второй фазы расположены достаточно далеко друг от друга и сами частицы некогерентны матрице, то может реализоваться механизм Орована. При скольжении под действием приложенного напряжения краевой дислокации приходится преодолевать периодически изменяющееся поле напряжений вдоль фронта равномерно распределенных частиц. Если расстояние между частицами намного больше их радиуса, составляющая поля напряжений в промежутке между частицами имеет минимальное значение, и дислокация может прогибаться, принимая волнообразную форму, а затем преодолевать частицу по механизму, сходному с механизмом размножения Франка – Рида. Если между частицами пройдут и другие дислокации, то они оставят вокруг частицы новые петли большего размера. Прохождение последующих дислокаций между частицами в большей степени будет затруднено, таким образом, повысится плотность дислокаций и произойдет упрочнение композиции [179].

При равномерном распределении частиц в покрытии будет образовываться своеобразный регулярный микрорельеф по всей его толщине. Это принципиально отличает упрочнение нанокомпозиционными гальвано-химическими покрытиями от таких традиционных методов, какими являются химико-термический, термический и др., при которых с уменьшением толщины упрочненного слоя микротвердость снижается [180].

Теория дислокаций не может претендовать на абсолютно достоверное описание явлений, как, впрочем, и любая другая теория. Но достижения в теоретических работах и экспериментальных исследованиях дислокаций столь велики, что эта теория стала неотъемлемой частью физического металловедения. Не вызывает сомнение и тот факт, что все процессы, протекающие в металлах и сплавах, неразрывно связаны с характером и плотностью дефектов кристаллического строения.

Дислокационный механизм упрочнения нанокомпозиционных покрытий является не единственным. Другим, не менее важным, фактором упрочнения является измельчение зерен покрытий вследствие внедрения в них наноразмерных частиц.

2.2.2 Упрочнение нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий вследствие измельчения зерна

Исследования строения металлов [98, 102, 134] показали, что зерна в поликристаллах не являются монолитными, совершенными монокристаллами, а состоят из отдельных субзерен (блоков), повернутых одно относительно другого на малый угол.

Согласно исследованиям [41, 108], неупорядоченное строение переходного слоя усугубляется скоплением в этой зоне дислокаций и повышенной концентрацией примесей. Переходный слой имеет сложное строение, в нем нарушена правильность расположения атомов, имеются скопления дислокаций, повышена концентрация тех примесей, которые понижают поверхностную энергию [41].

Границы субзерен представляют собой стенки дислокаций, которые отдельные субзерна блоки [134]. Согласно разделяют зерно на ИЛИ исследованиям, проведенным в работах [41,108], границы зерен влияют на многие механические характеристики, во-первых, потому что они мешают двигаться дислокациям; во-вторых, потому что на границах концентрируются примеси. Чем мельче зерно, тем выше предел текучести, вязкость и меньше опасность хрупкого отрыва [106]. Границы зерен создают поле напряжений и могут задерживать движение дислокаций [41]. Барьерное воздействие границы обусловлено тем, что при переходе через нее скачкообразно изменяются плоскости и направления скольжения.

В работах [134, 142, 198] указано, что с ростом угла разориентировки усиливается эффективность границ как препятствий, так как повышается степень несовпадения ориентации плоскостей скольжения в соседних зернах. В этом случае дислокации, дойдя до границы, надежно задерживаются, деформация локализуется в микрообъеме, а общее сопротивление деформации всего поликристаллического материала возрастает.

У поликристаллических материалов в большом диапазоне размеров зерен наблюдается увеличение твердости с уменьшением размера зерна. Подобное поведение материалов описывается уравнением Холла-Петча [198]:

$$H_{v}(\sigma_{T}) = H_{o}(\sigma_{o}) + \frac{k}{\sqrt{D}}, \qquad (2.13)$$

где H_v – твердость материала; $\sigma_{\rm T}$ – предел текучести, Па; H_o – твердость тела зерна; $\sigma_{\rm o}$ – внутреннее напряжение, препятствующее распространению пластического сдвига в теле зерна, Па; k – коэффициент пропорциональности; D – размер зерна, мм.

Соотношение Холла-Петча описывает механические свойства материалов, в которых деформации происходят преимущественно по дислокационному механизму.

Исследованиями, проведенными в работах [5, 21, 41] установлено, что границы зерен служат эффективными барьерами и препятствиями для передвижения дислокаций. Чем мельче зерно, тем чаще встречаются эти барьеры на пути скользящих дислокаций, и требуются более высокие напряжения для пластической деформации материала уже на начальных ее стадиях. В результате по мере измельчения зерна твердость возрастает [179].

Под величиной *D* в более широком смысле понимают расстояние, которое проходит дислокация, не встречая сопротивления (длина свободного пробега дислокации). В чистом металле это величина зерна или субзерна, в сплавах с гетерогенной структурой – расстояние между частицами второй фазы [134, 142].

Протяженность границ и размеры зерен определяют многие свойства гальвано-химических покрытий, а доля дисперсной фазы обусловливает

микроискажения кристаллической решетки [21, 140]. Так, например, Г.В. Гурьянов впервые обратил внимание на закономерное изменения размеров блоков, плотности дислокаций и микродеформаций кристаллической решетки железа при включении в покрытие частиц Al₂O₃ и MoS₂ размером 10...20 мкм [76].

Л.И. Антропов [5], не отрицая теории дислокаций и препятствий, высказал мнение о том, что на упрочнение электролитического осадка влияет также контакт частиц с осадком, приводящий к эффекту наклепа. Автор исследовал соосаждение крупнодисперсных частицы с гальваническими покрытиями. Частицы, внедряясь в осаждаемый металл или контактируя с его поверхностью, кристаллическую образовывали дефекты нарушали структуру И В кристаллической решетке. Таким образом, наличие дисперсных материалов в электролите и их контакт с катодом даже без включения в покрытие будет приводить к упрочнению металла вследствие того, что они будут нарушать правильную последовательность чередования атомных плоскостей.

При значительном содержании наноразмерных частиц в покрытии и достижении определенной плотности дислокаций может происходить образование микротрещины, в соответствии с механизмом, связанным с наличием препятствий. Частицы могут прочных превращаться В концентраторы напряжений. По-видимому, должна существовать оптимальная концентрация второй фазы, при которой обеспечивается наибольшее упрочнение матрицы.

Следовательно, упрочнение покрытий будет происходить как от внедрения в них частиц, так и от контакта частиц с формирующимися покрытиями.

Таким образом, учитывая вышеописанные процессы, можно предположить, что схема механизма образования и упрочнения нанокомпозиционных гальванохимических покрытий будет иметь вид, представленный на рисунке 2.4.

Из вышеизложенного следует рабочая гипотеза, что для упрочнения гальвано-химических покрытий наноразмерными частицами необходимо обеспечить образование оптимального структурного состояния материала, путем увеличения числа дислокаций и измельчения зерен покрытий.



Рисунок 2.4 – Схема механизма образования нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий

2.3 Теоретическое обоснование повышения долговечности агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры путем применения нанокомпозиционных покрытий

Описанные выше механизмы образования нанокомпозиционных гальванохимических покрытий дают возможность построить модель их упрочнения с физико-математической точки зрения.

На первом этапе моделирования процесса упрочнения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий рассмотрена линейная модель (рисунок 2.5) и определена модельная плоскость множеством точек M_i (l_i ; h_i) [78].



Множество точек $\{h_i\}_{i=0}^{\infty}$ образует ось *OH*, определяющую микротвердость элементов в покрытии, а множество точек $\{l_i\}_{i=0}^{\infty}$ – ось *OL*, соответствующую расстояниям между элементами в покрытии. Введенные обозначения позволили построить относительно этих осей схему, отражающую линейную зависимость изменения микротвердости покрытия от расстояния между его элементами (см. рисунок 2.5).

На основании [129, 208] конкретизированы опорные точки:

• *M*₁ (*l*_{м1}; *h*_м) – произвольная начальная точка построения схемы, характеризующая микротвердость основного материала покрытия;

• *M*₂ (*l*_{y1}; *h*_y) – точка, характеризующая увеличение микротвердости покрытия вследствие измельчения зерна, находящаяся на некотором расстоянии Δ₁ от начальной точки построения схемы;

• M_3 (l_{u12} ; h_u) – точка, характеризующая микротвердость наноразмерных частиц, находящаяся на некотором расстоянии Δ_2 от точки M_2 ;

• M_4 (l_{y2} ; h_y) — точка, характеризующая увеличение микротвердости покрытия вследствие измельчения зерна, находящаяся на некотором расстоянии Δ_2 от точки M_3 ;

• M_5 (l_{M23} ; h_M) — точка, характеризующая микротвердость основного материала покрытия, находящаяся на некотором расстоянии $2(\Delta_1 + \Delta_2)$ от начальной точки M_1 ;

*M*₆ (*l*_{y3}; *h*_y), *M*₇ (*l*_{q34}; *h*_q), *M*₈ (*l*_{y4}; *h*_y), *M*₉ (*l*_{м4}; *h*_м) – точки, аналогичные точкам
 *M*₂, *M*₃, *M*₄, *M*₅ с периодом σ соответственно.

На рисунке 2.5 точки *M_i* определяют соответствующие прямые и являются их точками пересечения.

При определении микротвердости нанокомпозиционных гальванохимических покрытий, наиболее вероятно ее нахождение как микротвердости в единице объема, определяемой эффективной областью $[l_{m1}; l_{m23}]$.

Большое воздействие на микротвердость нанокомпозиционных покрытий оказывает расстояние между наноразмерными частицами $l_{\rm Hdy}$, которое, по сути,

является периодом повторения эффективной области [l_{M1} ; l_{M23}]. Кроме того, $l_{HA^{H}}$ непосредственно влияет на углы наклона прямых α и φ , что также играет важную роль в формировании микротвердости нанокомпозиционных гальванохимических покрытий.

Анализ линейной физико-математической модели показал, что существенное влияние на микротвердость нанокомпозиционных покрытий оказывают микротвердость основного материала покрытия, микротвердость применяемых наноразмерных частиц и расстояние между наноразмерными частицами в покрытии.

Данную модель рассматривали в виде системы последовательных линейных процессов, что позволило судить о линейности системы в целом. Результирующий эффект линейных процессов получен путем математического изучения отдельных стадий их графического представления.

На основании данных модели можно сделать вывод о функциональной взаимосвязи микротвердости нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий от расстояния между наноразмерными частицами в покрытии. Это устанавливает характер зависимости микротвердости от расстояния между элементами в покрытии:

$$h = f(l), \tag{2.14}$$

где *h* и *l* – переменные, характеризующие микротвердость и расстояние между элементами в покрытии.

В соответствии со схемой, представленной на рисунке 2.5, установлено, что расстояние между наноразмерными частицами в покрытии следует определить следующим образом:

$$l_{\rm HJY} = l_{\rm Y34} - l_{\rm Y12}, \qquad (2.15)$$

отсюда

$$l_{\rm HJY} = \sigma = 2(\Delta_1 + \Delta_2). \tag{2.16}$$

В результате исследования свойств функции (2.14) можно с физикоматематической точки зрения описать механизм упрочнения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий. Это, несомненно, позволит в последующем вырабатывать управляющие решения для получения нанокомпозиционных покрытий с требуемыми физико-механическими свойствами.

Исходные выражения для аналитического представления физикоматематической модели механизма упрочнения нанокомпозиционных покрытий описывались на основании уравнений прямых проходящих через две заданные точки и представлены в виде:

$$M_i M_j : \frac{h - h_i}{h_j - h_i} = \frac{l - l_i}{l_j - l_i}; \quad i \neq j,$$
 (2.17)

где M_iM_j – прямая, проходящая через точки M_i и M_j ; h_i , h_j , l_i , l_j – произвольные координаты точек соответствующих прямых.

Подставляя координаты известных точек *M*₁₋₅ в формулу (2.17) получим систему уравнений:

$$M_{1}M_{2}: h = \operatorname{tg} \alpha l + b_{1}, \quad l \in [l_{M1}; l_{y1}];$$

$$M_{2}M_{3}: h = \operatorname{tg} \varphi l + b_{2}, \quad l \in [l_{y1}; l_{y12}];$$

$$M_{3}M_{4}: h = -\operatorname{tg} \alpha l + b_{3}, \quad l \in [l_{y12}; l_{y2}];$$

$$M_{4}M_{5}: h = -\operatorname{tg} \varphi l + b_{4}, \quad l \in [l_{y2}; l_{M23}],$$
(2.18)

где *b*₁, *b*₂, *b*₃, *b*₄ – коэффициенты, зависящие от расположения рассматриваемой прямой в указанной системе координат.

Подставляя координаты известных точек в уравнение (2.17), получим следующие уравнения прямых:

1) т.
$$M_1(l_{M1}; h_M)$$
, т. $M_2(l_{y1}; h_y) \in$ прямой M_1M_2 :

$$M_1 M_2: \frac{l - l_{\rm M1}}{l_{\rm y1} - l_{\rm M1}} = \frac{h - h_{\rm M}}{h_{\rm y} - h_{\rm M}}.$$
 (2.19)

После преобразования получим:

$$M_{1}M_{2}: h = l \frac{h_{y} - h_{M}}{l_{y1} - l_{M1}} - l_{M1} \frac{h_{y} - h_{M}}{l_{y1} - l_{M1}} + h_{M} =$$

$$= (l - l_{M1}) \frac{h_{y} - h_{M}}{l_{y1} - l_{M1}} + h_{M};$$

$$l \in [l_{M1}; l_{y1}].$$
(2.20)

2) т. $M_2(l_{y1}; h_y)$, т. $M_3(l_{y12}; h_y) \in$ прямой M_2M_3 :

$$M_2 M_3: \frac{l - l_{y1}}{l_{y12} - l_{y1}} = \frac{h - h_y}{h_y - h_y}.$$
 (2.21)

После преобразования получим:

$$M_{2}M_{3}: h = l \frac{h_{q} - h_{y}}{l_{q12} - l_{y1}} - l_{y1} \frac{h_{q} - h_{y}}{l_{q12} - l_{y1}} + h_{y} =$$

$$= (l - l_{y1}) \frac{h_{q} - h_{y}}{l_{q12} - l_{y1}} + h_{y};$$

$$l \in [l_{y1}; l_{q12}].$$
(2.22)

3) т. $M_3(l_{\mathtt{v12}}; h_{\mathtt{v}})$, т. $M_4(l_{\mathtt{v2}}; h_{\mathtt{v}}) \in$ прямой M_3M_4 :

$$M_{3}M_{4}:\frac{l-l_{\rm q12}}{l_{\rm y2}-l_{\rm q12}}=\frac{h-h_{\rm q}}{h_{\rm y}-h_{\rm q}}.$$
(2.23)

После преобразования получим:

$$M_{3}M_{4}: h = l \frac{h_{y} - h_{q}}{l_{y2} - l_{q12}} - l_{q12} \frac{h_{y} - h_{q}}{l_{y2} - l_{q12}} + h_{q} =$$

$$= (l - l_{q12}) \frac{h_{y} - h_{q}}{l_{y2} - l_{q12}} + h_{q};$$

$$l \in [l_{q12}; l_{y2}].$$
(2.24)

4) т. $M_4(l_{y2}; h_y)$, т. $M_5(l_{м23}; h_{\scriptscriptstyle M}) \in$ прямой M_4M_5 :

$$M_4 M_5 : \frac{l - l_{y2}}{l_{M23} - l_{y2}} = \frac{h - h_y}{h_M - h_y}.$$
 (2.25)

После преобразования получим:

$$M_{4}M_{5}: h = l \frac{h_{M} - h_{y}}{l_{M23} - l_{y2}} - l_{y2} \frac{h_{M} - h_{y}}{l_{M23} - l_{y2}} + h_{y} =$$

$$= (l - l_{y2}) \frac{h_{M} - h_{y}}{l_{M23} - l_{y2}} + h_{y};$$

$$l \in [l_{y2}; l_{M23}].$$
(2.26)

Рассмотрим функцию (2.14), уточненную уравнениями прямых (2.19)– (2.26), в выбранном интервале $[l_{M1}; l_{M23}]$:

- функция имеет область определения интервал [*l*_{м1}; *l*_{м23}];
- интервал $[h_{M}; h_{q}]$ это область значений функции;
- функция возрастает $\forall l$, если $l \in [l_{M1}; l_{H12}];$
- функция убывает $\forall l$, если $l \in [l_{q12}; l_{M23}];$

значения функции *h* сверху и снизу ограничены известными величинами
 *h*_м и *h*_ч в области определения [*l*_{м1}; *l*_{м23}];

функция достигает максимального значения в точке с координатами
 (*h*₄; *l*₄₁₂) рассматриваемого интервала;

• прямая *l*=*l*_{ч12} является осью симметрии графика функции в рассматриваемом интервале.

Для определения теоретической микротвердости нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий были использованы элементы интегрального исчисления.

Предположим, что микротвердость нанокомпозиционных покрытий будет определяться как усредненное значение микротвердостей рассматриваемых участков, а нахождение средних величин микротвердостей отдельных участков определению ИХ площадей, отнесенных к соответствующим сведется к приращениям OL.Тогда можно определить микротвердость ПО оси гальвано-химических покрытий, выраженную нанокомпозиционных через координаты точек соответствующих прямых:

$$H_{\rm KTII}^{\rm JH} = \frac{2\left(\int_{l_{\rm MI}}^{l_{\rm YI}} \left(\left(l - l_{\rm M1}\right)\frac{h_{\rm y} - h_{\rm M}}{l_{\rm y1} - l_{\rm M1}} + h_{\rm M}\right) dl + \int_{l_{\rm y1}}^{l_{\rm q12}} \left(\left(l - l_{\rm y1}\right)\frac{h_{\rm q} - h_{\rm y}}{l_{\rm q12} - l_{\rm y1}} + h_{\rm y}\right) dl}{l_{\rm HJq}}\right).$$
(2.27)

Проведя интегральные исчисления, получим:

$$H_{\rm KTII}^{\rm JH} = \frac{2\left[\left(\left(l^{2} - l_{\rm M1}l\right)\frac{h_{\rm y} - h_{\rm M}}{l_{\rm y1} - l_{\rm M1}} + h_{\rm M}l\right)\right]_{l_{\rm M1}}^{l_{\rm y1}} + \left(\left(l^{2} + l_{\rm y1}l\right)\frac{h_{\rm q} - h_{\rm y}}{l_{\rm q12} - l_{\rm y1}} + h_{\rm y}l\right)\right]_{l_{\rm y1}}^{l_{\rm q12}}\right)}{l_{\rm Hqq}} = \frac{2\left[\frac{\left(l^{2}_{\rm y1} - l_{\rm M1}l_{\rm y1}\right)(h_{\rm y} - h_{\rm M}}{l_{\rm y1} - l_{\rm M1}} + \frac{\left(l^{2}_{\rm q12} - l_{\rm y1}l_{\rm q2}\right)(h_{\rm q} - h_{\rm y}}{l_{\rm q12} - l_{\rm y1}}\right)}{l_{\rm q12} - l_{\rm y1}} + \frac{2\left(h_{\rm M}\left(l_{\rm y1} - l_{\rm M1}\right) + h_{\rm y}\left(l_{\rm q12} - l_{\rm y1}\right)\right)}{l_{\rm Hqq}}\right]}{l_{\rm Hqq}} + \frac{2\left(h_{\rm M}\left(l_{\rm y1} - l_{\rm M1}\right) + h_{\rm y}\left(l_{\rm q12} - l_{\rm y1}\right)\right)}{l_{\rm Hqq}}\right]$$

Полученные выражения (2.27)–(2.28) дают возможность в первом приближении теоретически прогнозировать микротвердость нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий в зависимости от применяемых наноразмерных частиц, материала покрытия и расстояния между наноразмерными частицами в покрытии.

Формулы (2.27)–(2.28) описывают линейный характер изменения микротвердости нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий, однако изменение микротвердости носит, скорее всего, более сложный нелинейный характер в объеме всего покрытия. В связи с этим необходимо привести предлагаемую модель к нелинейному виду. Наиболее вероятно описание характера изменения микротвердости нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий по выражению:

$$h(l) = \left(\frac{1}{\frac{1}{(h_{\rm q} - h_{\rm M})} + l^2}\right) + h_{\rm M}.$$
 (2.29)

Схематично данная функция представлена на рисунке 2.6.





Функция (2.29) определена на интервале $[-\infty;+\infty]$, однако, опираясь на физическую составляющую процесса изменения микротвердости, необходимо ограничиться интервалом $[0;+\infty]$. Помимо этого следует отметить, что данная функция является непрерывной и имеет период $l_{\rm Hqu} = \sigma$, что позволяет рассматривать единичный фрагмент данной функции. Множество точек функции $\{[N_{\rm nc}; N_{\rm nc}; 1]\}_{i=1}^{\infty}$ является подмножеством точек, $\{[0;+\infty]\}$ и $|N_{\rm nc}; N_{\rm nc}| = l_{\rm Hqu} = \sigma$.

Рассмотрим единичный фрагмент схемы, ограниченный интервалом $[N_{\rm nc1}; N_{\rm nc2}]$. Выбор данного интервала продиктован равенством $l_{\rm hay} = \sigma = N_{\rm nc1} N_{\rm nc2}$.

С целью обоснования координат точек экстремума графика функции, так как функция является непрерывной, найдем ее первую производную:

$$h' = \left(\left(\frac{1}{\frac{1}{h_{\rm q} - h_{\rm M}} + l^2} \right) + h_{\rm M} \right) = -\frac{2l}{\left(\frac{1}{\frac{1}{h_{\rm q} - h_{\rm M}} + l^2} \right)^2}.$$
 (2.30)

Приравнивая первую производную к нулю определяются корни полученного уравнения:

$$-\frac{2l}{\left(\frac{1}{h_{\rm q}}-h_{\rm M}}+l^2\right)^2}=0.$$
 (2.31)

В окрестности точки $N_{\rm q}$ производная h' меняет свой знак, следовательно, можно сделать вывод о том, что точка $N_{\rm q}$ ($l_{\rm q}$; $h_{\rm q}$) является точкой максимума функции. Учитывая периодичность функции $l_{\rm Hdq} = \sigma$, можно получить координаты всех точек максимума.

Другими крическими точками графика функции являются точки перегиба $N_{\rm nr1}$ и $N_{\rm nr2}$, которые характеризуют изменение интенсивности повышения или понижения микротвердости. Для установления их координат определена вторая производная функции:

$$h'' = \left(-\frac{2l}{\left(\frac{1}{h_{\rm q} - h_{\rm M}} + l^2\right)^2} \right)'' = -2 \left(\frac{l' \left(\frac{1}{h_{\rm q} - h_{\rm M}} + l^2\right)^2 - l \left(\left(\frac{1}{h_{\rm q} - h_{\rm M}} + l^2\right)^2\right)'}{\left(\frac{1}{h_{\rm q} - h_{\rm M}} + l^2\right)^4} \right) = (2.32)$$
$$= \frac{6l^2 - 2\frac{1}{h_{\rm q} - h_{\rm M}}}{\left(\frac{1}{h_{\rm q} - h_{\rm M}} + l^2\right)^3}.$$

Приравняем вторую производную к нулю и найдем корни полученного уравнения:

$$\frac{6l^2 - 2\frac{1}{h_{\rm q} - h_{\rm M}}}{\left(\frac{1}{h_{\rm q} - h_{\rm M}} + l^2\right)^3} = 0.$$
(2.33)

Учитывая знаки второй производной относительно полученной критической точки, можно сделать вывод, что на интервале $[N_{nc1}; N_{nc2}]$ точки перегиба имеют следующие координаты:

$$N_{\rm III}\left(\sqrt{\frac{1}{3(h_{\rm q}-h_{\rm M})}};\frac{h_{\rm q}+3h_{\rm M}}{4}\right); N_{\rm IIII}\left(\left(l_{\rm q}+\left(l_{\rm q}-\sqrt{\frac{1}{3(h_{\rm q}-h_{\rm M})}}\right)\right);\frac{h_{\rm q}+3h_{\rm M}}{4}\right).$$

Таким образом, зная координаты опорных точек графика функций, можно по аналогии с линейной зависимостью (2.27), найти микротвердость нанокомпозиционного покрытия, используя элементы интегрального исчисления:

$$H_{\rm KFII}^{\rm H,I} = \frac{\int_{n_{\rm cl}}^{l_{\rm ncl}} \left(\left(\frac{1}{\frac{1}{h_{\rm q} - h_{\rm M}} + l^2} \right) + h_{\rm M} \right) dl}{l_{\rm H,I,I}}.$$
(2.34)

Как уже было отмечено, модель упрочнения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий целесообразно рассматривать в единичном

объеме. Для этого использовалась методика исследования объемной модели, полученной вращением графика функции (2.29) вокруг оси $l=l_{4}$ (рисунок 2.7) [78, 129, 208]. Тогда формула для определения микротвердости нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий, учитывающая изменения в единичном объеме, примет вид:

$$H_{\rm KFII}^{\rm of} = \frac{\pi \int_{l_{\rm ncl}}^{l_{\rm nc2}} \left(\left(\frac{1}{\frac{1}{(h_{\rm q} - h_{\rm M})} + l^2} \right) + h_{\rm M} \right)^2 dl}{l_{\rm HJq}}.$$
(2.35)

Пределы интегрирования можно определить следующим образом:

$$l_{\rm nc1} = l_{\rm q} - \frac{l_{\rm HJ}}{2}; \qquad (2.36)$$

$$l_{\rm nc2} = l_{\rm q} + \frac{l_{\rm Hdq}}{2}.$$
 (2.37)

Расстояние между наноразмерными частицами в нанокомпозиционных гальвано-химических покрытиях можно найти по известному уравнению [179]:

$$l_{\rm HJ} = 3,74 d_{\rm q} a_{\rm v}^{-1/3}, \qquad (2.38)$$

где $d_{\rm q}$ – диаметр частиц, м; $a_{\rm v}$ – содержание частиц в покрытии, %:

$$a_{\rm v} = \frac{100C_{\rm y}}{\rho_{\rm y}},\tag{2.39}$$

где C_3 – концентрация частиц в электролите (растворе), кг/л; ρ_4 – плотность частиц, кг/м³.

С учетом формул (2.38)–(2.39) выражение для определения микротвердости нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий примет вид:

$$H_{\rm KFII}^{\rm ob} = \frac{\pi \int_{l_{\rm nc1}}^{l_{\rm nc2}} \left(\left(\frac{1}{(h_{\rm q} - h_{\rm M})} + l^2 \right) + h_{\rm M} \right)^2 dl}{3,74d_{\rm q} \left(\frac{100C_3}{\rho_{\rm q}} \right)^{-1/3}}.$$
(2.40)





нанокомпозиционных покрытий

Полученное выражение (2.40) позволяет рассчитывать микротвердость нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий в единичном объеме. Этот показатель зависит от микротвердости материала матрицы, микротвердости наноразмерных частиц, концентрации частиц в электролите (растворе) и плотности материала частиц.

Таким образом, используя полученную зависимость (2.40) можно определить микротвердость нанокомпозиционных покрытий, а, следовательно, и твердость одной из двух сопрягаемых деталей на которую нанесено покрытие.

Согласно выражению (2.8), интенсивность изнашивания втулки плунжера или корпуса золотника можно определить по выражению:

$$\sum I'_{h} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{h_{\max}^{v'_{ax}}}{r}} \left\{ -\ln\left[1 - \frac{h_{\max}}{r} \left(\frac{q_{a}}{HB'}\right)^{1/v'} - \sqrt{\frac{2h_{\max}}{R}} \left(\frac{q_{a}}{HB'}\right)^{1/v'} \frac{\sigma'_{s} + 2\tau'}{\sigma'_{s} - 2\tau'} \right] \right\}^{t'}}{2(v'+1)[\ln(1+\delta')]^{t'}} \\ \times \left(\frac{q_{a}}{HB'}\right)^{1+\frac{1}{2v'}} + \left[\frac{tg\beta}{2(n+1)'} \frac{q_{a}}{HB'}\right].$$
(2.41)

где v' – эмпирический коэффициент, зависящий от шероховатости поверхности втулки или корпуса; HB' – твердость материала втулки или корпуса; σ'_s – предел текучести материала втулки или корпуса, Па; τ' – тангенциальная прочность фрикционной связи материала втулки или корпуса, Па; t' – показатель кривой усталости материала втулки или корпуса; δ' – разрывное удлинение материала втулки или корпуса, %; (n+1)' – число циклов, приводящих к отделению частиц износа материала втулки или корпуса.

Аналогичным образом, интенсивность изнашивания плунжера или золотника можно найти по формуле:

$$\sum I_{h}^{"} = \begin{bmatrix} \sqrt{\frac{h_{\max}^{v''}}{r}} \left\{ -\ln \left[1 - \frac{h_{\max}}{r} \left(\frac{q_{a}}{HB''} \right)^{1/v''} - \sqrt{\frac{2h_{\max}}{R}} \left(\frac{q_{a}}{HB''} \right)^{1/v''} \frac{\sigma_{s}^{"} + 2\tau^{"}}{\sigma_{s}^{"} - 2\tau^{"}} \right] \right\}^{t''} \\ + \frac{2(v''+1)[\ln(1+\delta'')]^{t''}}{\times \left(\frac{q_{a}}{HB''} \right)^{1+\frac{1}{2v''}}} \\ \times \left(\frac{q_{a}}{HB''} \right)^{1+\frac{1}{2v''}} \\ + \left[\frac{tg\beta}{2(n+1)^{"}} \frac{q_{a}}{HB''} \right].$$
(2.42)

где v'' – эмпирический коэффициент, зависящий от шероховатости поверхности плунжера или золотника; HB" – твердость материала плунжера или золотника; σ''_s – предел текучести материала плунжера или золотника, Па; τ'' – тангенциальная прочность фрикционной связи материала плунжера или золотника, Па; t'' – показатель кривой усталости материала плунжера или золотника; δ'' – разрывное удлинение материала плунжера или золотника, %; (n+1)'' – число циклов, приводящих к отделению частиц износа материала плунжера или золотника.

При расчете интенсивности изнашивания деталей с нанокомпозиционными покрытиями по формуле (2.42) следует учитывать то, что по выражению (2.40) определяется микротвердость покрытия, и при использовании рассчитанного значения микротвердости его необходимо перевести в значение твердости шкалы НВ согласно справочным данным, связывающим различные шкалы твердости [7, 71, 73, 192]. Кроме этого, при расчете интенсивности изнашивания было сделано допущение, что в отличие от микротвердости, остальные физико-механические свойства нанокомпозиционных покрытий принимались равными соответствующим свойствам базовых покрытий определяемых согласно справочным данным [7, 40, 73, 94].

С учетом формул (2.2)–(2.4) и (2.40)–(2.42) можно определить ресурс сопряжения плунжерной или золотниковой пары в зависимости от интенсивности изнашивания сопрягаемых деталей:

$$T_{\text{пары}} = \frac{M_{\text{пр}}}{(\sum I'_{h} + \sum I''_{h})V_{\text{тр}}}.$$
 (2.43)

Таким образом, методика теоретической оценки ресурса сопряжения, детали которого восстановленны с применением нанокомпозиционных гальванохимических покрытий предусматривает расчет микротвердости наносимого покрытия и суммарных интенсивностей изнашивания сопрягаемых деталей.

Сравнение теоретически рассчитанных и полученных экспериментально значений микротвердости нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий и ресурса сопряжений, восстановленных и упрочненных такими покрытиями, представлено в четвертой главе.

2.5 Выводы по второй главе

1. Установлено, что повышать средний ресурс агрегатов наиболее рационально путем увеличения межремонтных ресурсов, сохраняя неизменным количество капитальных ремонтов. Средний ресурс сопряжения при неизменном предельном зазоре определяется скоростями изнашивания сопрягаемых деталей.

2. На основании положений теории трения определено, что в плунжерных и золотниковых парах топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники при изнашивании преобладающими являются пластическое оттеснение металла и микрорезание. Из анализа выражений для определения интенсивностей изнашивания при пластическом контакте (2.6) и микрорезании (2.7) можно сделать вывод о том, что важным фактором, оказывающим влияние на интенсивность изнашивания, является твердость трущихся поверхностей (2.11). Следовательно, повышение поверхностной твердости приводит в той или иной степени к увеличению износостойкости.

3. Для упрочнения гальвано-химических покрытий наноразмерными частицами необходимо обеспечивать образование оптимального для заданных условий структурного состояния материала путем увеличения числа структурных

несовершенств. Эффективными барьерами для движения дислокаций могут являться наноразмерные частицы, находящиеся в покрытии, и границы зерен.

4. B результате физико-математического представления процесса образования и упрочнения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий получено выражение (2.40),позволяющее рассчитывать микротвердость покрытий, изменяющуюся по нелинейному принципу в единичном объеме покрытия, в зависимости от микротвердости материала матрицы, микротвердости наноразмерных частиц и расстояния между ними в покрытии. Используя полученное выражение (2.40) можно определить интенсивности изнашивания деталей сопряжений плунжерной или золотниковой пары по выражениям (2.41), (2.42)И ресурсы сопряжений С деталями, восстановленными нанокомпозиционными покрытиями по выражению (2.43).

5. На основании полученных зависимостей (2.40) и (2.43) рассчитаны микротвердость нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий хрома, железа и никеля и ресурсы сопряжений, восстановленных и упрочненных такими покрытиями.

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Программа исследований

Программа исследований включала в себя несколько этапов, определяющих структурно логическую связь стадий исследований, представленных в диссертационной работе.

Структурная схема программы исследований представлена на рисунке 3.1.

Для исключения влияния не исследуемых параметров на результаты исследований было предусмотрено:

• готовить образцы (в пределах своей группы) из одной марки металла, гальвано-химические покрытия получать из одного состава электролита или химического раствора на одном оборудовании при строгом соблюдении технологического процесса;

• при нанесении гальвано-химических покрытий выдерживать температуру воздуха в помещении 18...22 °С и относительную влажность воздуха 45–55 %;

• корректировку электролитов и химического раствора производить после покрытия группы деталей из трех образцов и ежедневно перед началом работы;

• наносить гальвано-химические покрытия на образцы в течение одного промежутка времени.

Физико-механические свойства получаемых покрытий исследовали путем определения микротвердости, износостойкости, коррозионной стойкости и прочности сцепления с основным металлом. Морфологию, структуру и элементные составы получаемых покрытий исследовали с помощью комплекса на базе растрового электронного микроскопа Mira II Tescan.

Износостойкость покрытий исследовали на модернизированной машине трения МИ-1М.
Анализ литературных данных по вопросам повышения долговечности агрегатов сельскохозяйственной техники, формирования и совершенствования свойств нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий



Рисунок 3.1 – Структурная схема программы исследований

Ускоренные коррозионные испытания осуществляли на лабораторной установке чередованием погружения образцов в солевой раствор и высушивания их на воздухе.

Стендовые ускоренные износные испытания ТНВД проводили в соответствии с ОСТ 23.1–364–81 «Насосы топливные высокого давления тракторных и комбайновых дизелей. Методы ускоренных испытаний на надежность» [149].

Стендовые ускоренные износные испытания гидрораспределителей проводили согласно ОСТ 1.00228–77 «Методика определения режимов ускоренных эквивалентных испытаний агрегатов управления потоком жидкости в гидросистемах» [146].

Эксплуатационные испытания ТНВД проводили на тракторах К-700А, гидрораспределителей – на тракторах ДТ-75М, МТЗ-80, Т-150К, К-700А, выполняющих различные сельскохозяйственные работы.

Технологические процессы восстановления прецизионных деталей разрабатывали с учетом технических требований, обеспечивая высокую производительность и экономическую эффективность.

Таким образом, исследования носили комплексный характер, позволяющий с высокой степенью достоверности оценить влияние нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на долговечность агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры.

3.2 Методики получения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий

3.2.1 Методика получения наноразмерных частиц

На основе анализа существующих технологий получения наноразмерных материалов был выбран способ плазменной переконденсации, позволяющий получать различные нанодисперсные материалы с размером частиц от 10 до 100

нм [155, 158]. Данный способ основан на испарении крупнодисперсного порошка (сырья) в плазменном потоке с температурой 4500...6000 °С и конденсации пара до частиц требуемого размера.

На рисунках 3.2. и 3.3. представлены внешний вид и принципиальная схема установки для получения наноразмерных частиц.



Рисунок 3.2 – Установка для получения наноразмерных частиц

Синтез наноразмерных частиц проводили следующим образом. Дисперсное сырье из дозатора 4 (см. рисунок 3.3) с пневмотранспортным газом поступало в плазменный испаритель 5, где происходило испарение сырья и конденсация наноразмерных частиц. Аэрозоль с наноразмерными частицами охлаждался в холодильнике и поступал через циклон 7 в бункер 8, где улавливалась часть наноразмерных частиц. Окончательное отделение наноразмерных частиц от технологического газа осуществлялось при помощи фильтра 9. Пирофорность порошка устранялась в реакторе 10. Жидкий углеводород поступал из емкости 12 через дозатор 11 и покрывал наноразмерные частицы. Процесс происходил в

среде нейтрального газа аргона, циркулирующего с помощью компрессора 1 через ресивер 2. Технологический газ распределялся по схеме посредством газовой рампы 3.



Рисунок 3.3 – Схема установки для получения наноразмерных частиц: 1 – компрессор; 2 – ресивер; 3 – газовая рампа; 4 – дозатор для дисперсного сырья; 5 – плазменный испаритель; 6 – холодильник; 7 – циклон; 8 – бункер улавливания; 9 – фильтр; 10 – реактор; 11 – дозатор для жидкого углеводорода; 12 – емкость с жидким углеводородом

Полученные наноразмерные частицы имели сферическую форму. Внешний вид наноразмерных частиц оксида алюминия, полученных методом плазменной переконденсации, представлен на рисунке 3.4.

При выборе материала наноразмерных частиц для нанесения покрытий руководствовались следующими основными соображениями:

• наноразмерные частицы должны обладать достаточной микротвердостью для увеличения микротвердости покрытия;

• они должны иметь высокую химическую стойкость в электролитах и растворах и хорошо ими смачиваться;

• частицы должны обеспечивать повышенную коррозионную и износостойкость покрытий.



Рисунок 3.4 – Внешний вид наноразмерных частиц оксида алюминия, полученных плазменной переконденсацией

Для повышения износостойкости получаемых покрытий не всегда достаточно увеличивать только микротвердость, в некоторых случаях следует также улучшать антифрикционные характеристики покрытия. Лучше всего для этой цели применять различные наноразмерные материалы – графит, дисульфид молибдена, тефлон, политетрафторэтилен (разновидность тефлона), полититанат калия и др. [5, 21].

Из числа перечисленных материалов второй фазы наибольший интерес в настоящий момент представляют полититанаты калия, которые являются новыми функциональными материалами, используемыми в различных направлениях техники. Полититанат калия аналогично графиту и дисульфиду молибдена имеет слоистую структуру. Слои материала сформированы титан-кислородными октаэдрами, в пространстве между которыми расположены ионы калия.

Полититанат калия, являющийся промежуточным продуктом синтеза волокнистых титанатов калия, состоит из частиц безопасной чешуйчатой формы, имеющих линейные размеры 200...800 нм и толщину 50...100 нм. В ходе синтеза, проводимого при 450...550 °C, и последующей промывки водой образуются агломераты частиц, которые далее диспергируются до субмикронного размера ультразвуковой обработкой.

Внешний вид наноразмерных частиц полититаната калия представлен на рисунке 3.5.



Рисунок 3.5 – Внешний вид наноразмерных частиц полититаната калия

Учитывая вышесказанное, на основании анализа литературных данных [5, 21, 28, 140, 179, 215, 220, 227, 232] для получения нанокомпозиционных гальванохимических покрытий на основе хрома, железа и никеля для исследований была выбрана следующая группа наноразмерных частиц: Al_2O_3 , AlN, SiC, TiC, WC, K_2O nTiO₂.

3.2.2 Средства технологического оснащения процесса нанесения нанокомпозиционных покрытий

Приготовление электролитов хромирования и железнения для получения нанокомпозиционных электролитических покрытий заключалось в следующем. Сначала готовили базовый электролит. Далее в отдельной стеклянной емкости смешивали электролит и наноразмерный порошок и путем растирания в течение 10 мин доводили до пастообразного состояния. Полученную концентрированную суспензию вливали в электролит при постоянном перемешивании. Электролит был профильтрован и проработан заранее. После этого электролит-суспензию обрабатывали ультразвуком с помощью ультразвукового генератора типа УЗГ-2М (рисунок 3.6) с частотой 22 кГц в течение 10–12 мин [43, 88, 107]. Соблюдение такой методики позволяло повысить седиментационную устойчивость электролита-суспензии и исключить дополнительную проработку электролитов, ведущую к неоправданному расходу наноразмерных порошков.



Рисунок 3.6 – Ультразвуковой генератор УЗГ-2М

Нанесение всех покрытий проводили на лабораторной гальванической установке (рисунок 3.7) при постоянном воздействии ультразвука частотой 18 кГц. Схема установки представлена на рисунке 3.8.

Установка представляет собой ультразвуковую ванну 1, оснащенную тремя ультразвуковыми элементами 2, соединенную с ультразвуковым генератором 3. В результате воздействия ультразвука осуществляется перемешивание электролита, диспергация агломератов наноразмерных частиц, а также подвод частиц к поверхности для лучшего их зарастания покрытием. Температура поддерживается шкафом автоматического управления 4, к которому подключены ТЭН 5 и температурный датчик 6. Заданная сила тока поддерживается посредством источника тока 7.

На предлагаемую конструкцию установки для получения нанокомпозиционных покрытий получен патент на изобретение № 2680116 по заявке № 2018116958 от 07.05.2018 (приложение Б) [163].

Одним из условий получения качественных нанокомпозиционных гальванохимических покрытий и повышения содержания в них наноразмерных частиц является высокая седиментационная устойчивость рабочих электролитов и растворов с наноразмерными частицами. В связи с этим для определения наиболее эффективного способа обеспечения высокой седиментационной устойчивости рабочих электролитов и растворов были проведены следующие исследования.

Исследуемые электролиты и растворы были разделены на 4 группы по способам внесения в них наноразмерных частиц:

1. Электролиты и растворы, полученные путем внесения наноразмерных частиц и перемешивания вручную.

2. Электролиты и растворы, полученные путем внесения наноразмерных частиц и обработки ультразвуковым генератором УЗГ-2М с частотой 22 кГц в течение 10–12 мин.

116



Рисунок. 3.7 – Лабораторная гальваническая установка



Рисунок. 3.8 – Схема лабораторной установки для получения нанокомпозиционных покрытий: *1* – ультразвуковая ванна; – ультразвуковой элемент; *3* – ультразвуковой генератор; – шкаф автоматического управления температурой; *5* – ТЭН; – температурный датчик; *7* – источник тока; *8* – аноды; *9* – катод 3. Электролиты и растворы, полученные путем внесения наноразмерных частиц, перемешивания вручную и при постоянном действии ультразвуковых колебаний ультразвуковой ванны УЗУ 0,25 (рисунок 3.9) с частотой 18 кГц в течение 1 ч.

4. Электролиты и растворы, полученные путем внесения наноразмерных частиц, обработки ультразвуковым генератором УЗГ-2М с частотой 22 кГц в течение 10–12 мин и при постоянном действии ультразвуковых колебаний ультразвуковой ванны УЗУ 0,25 с частотой 18 кГц в течение 1 ч.



Рисунок 3.9 – Ультразвуковая ванна УЗУ 0,25

Исследуемые электролиты и растворы вливали в стеклянные мерные цилиндры объемом 135 мл и диаметром 30 мм, нагревали до рабочих температур соответствующих процессов нанесения покрытий и оставляли в покое на 1 ч.

Седиментационную устойчивость рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{A}{B} \cdot 100\%, \qquad (3.1)$$

где *А* – объем электролита-суспензии, мл; *В* – общий объем электролита в цилиндре, мл.

Исследований проводили в 3-кратной повторности, за истинное значение седиментационной стойкости принимали среднее трех измерений.

В процессе нанесения покрытий кислотность рабочих электролитов и растворов контролировали с помощью ионометрического преобразователя И-500 (рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 – Ионометрический преобразователь И-500

3.2.3 Методика получения нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе хрома

Для получения нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе хрома был выбран саморегулирующийся электролит хромирования. Такой электролит широко распространен в ремонтном производстве, так как позволяет получать качественные хромовые покрытия с высокой микротвердостью (8...10 ГПа) [40, 94, 117, 203]. Кроме того, он дает возможность в широком диапазоне изменять физико-механические свойства покрытий при изменении режимов хромирования, что очень важно для исследования и создания новых износостойких покрытий.

В литературе представлены многочисленные рекомендации по выбору условий электролиза, позволяющие получать покрытия с высокими физикомеханическими свойствами [28, 45, 117, 141, 203]. В соответствии с этими рекомендациями были выбраны состав и режимы электролиза, принятые за основу при получении и исследовании свойств нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе хрома.

Проработку электролита осуществляли из расчета 8...10 А·ч/л при температуре 50...60 °C, катодной плотности тока 6...8 А/дм² и соотношении катодной и анодной поверхностей 3:1.

Технологический процесс получения нанокомпозиционных покрытий на основе хрома на образцах состоял из следующих основных операций [141, 203]:

1. Механическая обработка до выведения следов износа и придания поверхности правильной геометрической формы.

2. Промывка образцов бензином или ацетоном.

3. Монтаж образцов на подвески и изоляция поверхностей, не подлежащих нанесению покрытия.

4. Химическое обезжиривание:

раствор:

• тринатрий фосфат 50 г/л;

- углекислый натрий 25 г/л;
- едкий натр 10 г/л.

режимы:

- температура 75 °С;
- плотность тока 6 А/дм²;
- время 5 мин.
- 5. Промывка в теплой, затем в холодной воде.
- 6. Декапирование (травление):
- раствор соляной кислоты 75 г/л;
- температура 20 °С;
- время 5 мин.
- 7. Промывка в холодной проточной воде.
- 8. Хромирование:

электролит, г/л:

- хромовый ангидрид (CrO₃) 250;
- калий кремнефтористый (K₂SiF₆) 20;
- барий сернокислый (BaSO₄) 5;
- серная кислота (H₂SO₄) 0,34;

• наноразмерные частицы (концентрация определена в результате экспериментов).

режимы:

- плотность тока 50 $A/дм^2$;
- температура 50 °С.

После загрузки в ванну детали выдерживали без тока 1–2 мин для прогрева. В первые 0,5–1,5 мин давали импульс тока 80…120 А/дм², затем плотность тока снижали до номинального значения. Аноды свинцовые.

9. Промывка в непроточной горячей, проточной горячей, проточной холодной воде.

10. Сушка.

11. Обезводороживание: температура 250 °C; время 2 ч.

Такая технология позволяла обеспечить получение износостойких хромовых покрытий, прочно сцепляющихся с основным металлом.

В процессе работы электролитической ванны состав электролита непрерывно менялся. Для поддержания необходимой концентрации компонентов его периодически корректировали путем введения новых порций растворимых и нерастворимых компонентов.

Количества хромового ангидрида определяли в соответствии с методикой [72, 115]. 1 мл электролита помещали в коническую колбу КН-3-500-34 емкостью 500 мл, разбавляли водой до 200 мл, добавляли 10 мл H₂SO₄ и избыток 0,1 н. раствора соли Мора (до перехода окраски из желтой в зеленую). Избыток соли Мора оттитровывали 0,1 н. КМпO₄ до появления розовой окраски:

$$\operatorname{CrO}_{3} = \frac{33, 3(al-b)H}{n},$$
 (3.2)

где a – количество соли Мора, взятое для определения, мл; l – соотношение между солью Мора и перманганатом; b – количество раствора КМпO₄, затраченное на титрование, мл; н. – нормальность раствора перманганата; n – количество электролита, взятое для анализа, мл.

Содержание серной кислоты в электролите определяли по методике [115]. Электролит в объеме 10...20 мл разбавляли водой до 50 мл в стакане на 300 мл, добавляли 6 мл HCl и спирт для восстановления CrO₃ (появление зеленой окраски). Затем раствор кипятили 15 мин, разбавляли 100 мл концентрированной уксусной кислоты и 100 мл воды, кипятили 2–3 мин и прибавляли 10 мл горячего 10%-го раствора BaCl₂. Получившийся осадок BaSO₄ отстаивали, фильтровали и промывали горячим 2%-м раствором CH₃COOH. Количество SO₄^{2–} подсчитывали по формуле:

$$SO_4^{2-} = \frac{a \cdot 0.4115 \cdot 1000}{n},$$
 (3.3)

где a – масса осадка BaSO₄, г; n – количество электролита, взятое для анализа, мл; 0,4115 – коэффициент пересчета на SO₄^{2–}. Для оперативного контроля нерастворимых наноразмерных частиц использовали формулу, предложенную В.Ф. Молчановым [140]:

$$C = \frac{\rho_1(\rho_c + \rho_s) \cdot 1000}{\rho_c \rho_1},$$
 (3.4)

где *С* – количество нерастворимых наноразмерных частиц, г/л; ρ_1 – плотность наноразмерных частиц, г/см³; ρ_c – плотность суспензии, г/см³; ρ_3 – плотность электролита без наноразмерных частиц, г/см³.

На предлагаемый способ получения композиционных электрохимических покрытий на основе хрома получен патент на изобретение № 2283373 по заявке № 2004126058/02 от 25.08.2004 (приложение Б) [159].

3.2.4 Методика получения нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе железа

Для нанесения нанокомпозиционных покрытий на основе железа был выбран среднеконцентрированный горячий хлористый электролит [86, 135].

На основе анализа литературных данных [135, 165, 206] были выбраны состав и режимы электролиза, принятые за основу при получении и исследовании свойств нанокомпозиционных покрытий на основе железа. Хлористый электролит железнения, г/л:

- хлорид железа (FeCl₂·4H₂O) 250;
- соляная кислота (HCl) –1,5.
- хлористый марганец (MnCl₂) 7;

• наноразмерные частицы (концентрация определена в результате экспериментов).

Технологический процесс нанесения нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе железа состоял из следующих основных операций:

- подготовка поверхности детали;
- нанесение покрытия;

- нейтрализация полученного покрытия;
- контроль качества покрытия.

Подготовка поверхности детали к нанесению покрытий включала в себя обезжиривание и декапирование (травление).

Обезжиривание проводили в 30%-м растворе гидроксида натрия (NaOH) в дистиллированной воде. Режимы обработки:

- температура раствора 60 °С;
- сила тока 20 А/дм²;

• время обезжиривания – 1 мин на токе обратной полярности, 5 мин на токе прямой полярности.

После этого осуществляли промывку образцов в горячей воде при температуре 60 °C в течение 1–2 мин и затем в проточной воде при комнатной температуре в течение 1–2 мин.

Для удаления с поверхности детали окисленного слоя и выявления кристаллической структуры проводили декапирование (анодную обработку) в 30%-м растворе серной кислоты в дистиллированной воде. Режимы обработки:

- температура раствора 40 °С;
- сила тока 10 А/дм²;

• время травления на токе прямой полярности 1 мин.

После декапирования деталь промывали в проточной воде комнатной температуры в течение 1–2 мин.

Покрытия наносили на лабораторной установке под воздействием ультразвука (см. рисунки 3.7, 3.8).

Нейтрализацию полученного покрытия проводили в 30%-м растворе гидроксида натрия (NaOH) в дистиллированной воде. Температура раствора 60 °C, время нейтрализации – 10 мин.

Для поддержания заданной концентрации компонентов электролита его корректировали путем введения новых порций компонентов в соответствии с методикой [115]. Корректировку рН производили 10%-м раствором соляной кислоты (HCl). Добавление 100 мл 10%-го раствора повышает значение рН на 0,1. Показатель рН замеряли перед загрузкой каждой партии деталей.

На предлагаемый электролит-суспензию для получения нанокомпозиционных покрытий на основе железа получен патент на изобретение № 2610381 по заявке № 2015126298 от 13.07.2015 (см. приложение Б) [162].

3.2.5 Методика получения нанокомпозиционных химических покрытий на основе никеля

В настоящее время процесс химического никелирования наиболее часто осуществляют в кислых и щелочных химических растворах. Покрытия, которые получают из кислых растворов, имеют такие преимущества, как высокая скорость осаждения – до 20 мкм/ч и микротвердость – до 600 МПа [29, 36, 118]. В связи с этим, для получения нанокомпозиционных химических покрытий никеля был использован базовый кислый раствор следующего состава: сернокислый никель NiSO₄ · 7H₂O – 30 г/л, уксуснокислый натрий NaC₂H₃O₂ · 3H₂O – 10 г/л, гипофосфит натрия NaH₂PO₂ · H₂O – 15 г/л.

Приготовление раствора-суспензии заключалось в следующем. Изначально в химической ванне нагревали дистиллированную воду до температуры 60 °C. Затем в отдельной емкости осуществляли смешивание определенного количества наноразмерных частиц с дистиллированной водой, полученную суспензию доводили до однородного состояния путем растирания в течение 10 мин. Далее производили обработку полученной водной суспензии ультразвуком при помощи ультразвукового генератора УЗГ-2М с частотой 22 кГц в течение 10–12 мин. После этого, обработанную ультразвуком водную суспензию вливали в основную химическую ванну при постоянном механическом перемешивании. Затем в химическую ванну вносили необходимое количество сернокислого никеля и уксуснокислого натрия. Получившийся таким образом химический растворсуспензию нагревали до температуры 80 °C и добавляли гипофосфит натрия. В заключение, после тщательного перемешивания, производили нагрев химического раствор до рабочей температуры 92 °C.

Технологический процесс нанесения нанокомпозиционных химических покрытий на основе никеля состоял из следующих основных операций:

• подготовка поверхности детали;

- нанесение покрытия на образец;
- термическая обработка покрытия;
- контроль качества покрытия.

Обезжиривание осуществляли в растворе следующего состава:

- тринатрий фосфат 50 г/л;
- углекислый натрий 25 г/л;
- едкий натр 10 г/л;
- стекло жидкое 5 г/л.

Температура раствора 60 °С, время обезжиривания – 20 мин.

После этого, образцы промывали в воде при температуре 60 °C в течение 1– 2 мин и затем в воде при комнатной температуре в течение 1–2 мин.

Для удаления с поверхности покрываемых образцов окислов проводили травление в 10%-м растворе соляной кислоты. Температура раствора 20 °C, время травления 1–2 мин. Далее образцы промывали в проточной воде в течение 1–2 мин.

Покрытия на образцы наносили на лабораторной установке (см. рисунки 3.7, 3.8) под воздействием ультразвуковых колебаний ультразвуковой ванны УЗУ 0,25 с частотой 18 кГц. Термическую обработку получаемых покрытий проводили в печи СНОЛ 12/16 при температуре 400 °C в течение 1 ч.

С целью поддержания необходимой концентрации компонентов осуществляли периодическую корректировку химического раствора введением в него новых порций, которые определяли в соответствии с методикой [115, 144].

Содержание сернокислого никеля определяли по выражению:

NiSO₄ · 7H₂O =
$$\frac{a \cdot 0,0029345 \cdot 1000}{n} \cdot 4,78$$
, (3.5)

где *а* – количество раствора трилона Б, израсходованное на титрование, мл; *n* – количество раствора никелирования, взятое для анализа, мл.

На предлагаемый раствор для химического осаждения нанокомпозиционных никелевых покрытий получен патент на изобретение № 2465374 по заявке № 2011111482 от 25.03.2011 (см. приложение Б) [161].

3.3 Методика проведения лабораторных исследований

3.3.1 Методика выбора наиболее эффективной наноразмерной фазы

С целью определения материала наиболее эффективных упрочняющих фаз покрытий были проведены предварительные эксперименты.

Нанокомпозиционные покрытия на основе хрома наносили на образцы, которые были изготовленны из стали ШХ15 ГОСТ 801-78 [62], покрытия на основе железа и никеля на образцы из стали 15Х ГОСТ 4543-2016 [59]. Все образцы подвергались термообработке до твердости 55-60 HRC, размеры образцов 40×40×4 мм.

Концентрацию наноразмерных частиц в электролитах и химическом растворе выбирали опытно-экспериментальным путем. При выборе наиболее эффективной упрочняющей фазы концентрация наноразмерных частиц составляла 3 г/л.

Степень эффективности материала наноразмерной фазы оценивали по микротвердости получаемых покрытий.

Определив наиболее эффективный материал наноразмерной фазы, дальнейшие исследования морфологии, структуры и физико-механических свойств нанокомпозиционных покрытий проводили только с использованием данного материала частиц.

3.3.2 Методика определения микротвердости и толщины покрытий

Одним из наиболее важных свойств покрытий, влияющих на их износостойкость, является микротвердость. Микротвердость покрытий определяли на микротвердомере DuraScan 20 (рисунок 3.11) по методу восстановленного отпечатка вдавливанием алмазной пирамиды согласно ГОСТ 9450-76 [66]. Микротвердомер имеет рабочий диапазон нагрузок от 0,25 гс до 62,5 кгс.



Рисунок 3.11 Микротвердомер DuraScan 20

Важнейшим фактором для получения точных результатов является измерение отпечатка после снятия нагрузки. Такие результаты возможны только

при наличии четких различимых отпечатков с оптимальными значениями яркости и контрастности. Качество изображения, получаемое на микротвердомере DuraScan 20, не зависит от оператора и контролируется электроникой камеры, это является необходимым условием для автоматических не зависимых от оператора измерений.

С целью исключения влияния твердости основного металла измерение микротвердости получаемых покрытий проводить следует используя металлографические шлифы, путем вдавливания алмазной пирамиды В шлифованный торец исследуемого образца. Шлифы изготавливали на отрезном станке Labotom 5 (рисунок 3.12).



Рисунок 3.12 – Отрезной станок Labotom 5

Плоскость металлографического шлифа должна быть строго перпендикулярна покрытию. С целью предотвращения завала кромок образцы запрессовывали в акриловую термопластичную смолу, используя электрогидравлический пресс Struers CitoPress-1 (рисунок 3.13).

Шлифование и полирование металлографических шлифов осуществляли с помощью двухдисковой шлифовальной машины MDG02 (рисунок 3.14) и шлифовально-полировального станка Struers TegraPol-15 (рисунок 3.15).



Рисунок 3.13 – Электрогидравлический пресс Struers CitoPress-1



Рисунок 3.14 – Двухдисковая шлифовальная машина MDG02



Рисунок 3.15 – Шлифовально-полировальный станок Struers TegraPol-15

Для получения отчетливой границы между металлическими слоями после полирования проводили травление шлифов в реактивах следующих составов [11]:

• покрытия на основе хрома – 50 мл соляной кислоты, 100 мл этилового спирта, погружение на 1 мин при 50 °С;

• покрытия на основе железа – 10 мл азотной кислоты, 30 мл соляной кислоты, 10 мл этилового спирта, погружение на 10 с при 20 °C;

• покрытия на основе химического никеля – 10 мл азотной кислоты, 30 мл соляной кислоты, погружение на 10 мин при 20 °C.

При изучении механизма упрочнения нанокомпозиционных покрытий большое значение имеет установление характера изменения микротвердости покрытий В получаемых ПО толщине слоя. СВЯЗИ С ЭТИМ измерения микротвердости проводили по толщине слоя покрытия согласно схеме, представленной на рисунке 3.16, делая по 5 равноудаленных замеров по толщине слоя покрытия и 3 замера микротвердости подложки.



Рисунок 3.16 – Схема измерения микротвердости покрытий на шлифе

Толщину получаемых покрытий на основе хрома и химического никеля измеряли с помощью магнитного толщиномера МТ2007 (рисунок 3.17).

Толщину покрытий на основе железа измеряли с помощью микрометрической скобы СР 25 ГОСТ 11098-75 [47].



Рисунок 3.17 – Толщиномер магнитный МТ2007

3.3.3 Методика определения прочности сцепления покрытия с основным металлом

Прочность сцепления с основным металлом является одной из важнейших физико-механических характеристик любых гальвано-химических покрытий.

Во время эксплуатации гальвано-химические покрытия подвергаются воздействию механических нагрузок, температур, и других внешних и внутренних сил. Наиболее напряженное место в покрытии – граница раздела между ним и основным металлом детали.

В связи с этим, для испытания получаемых покрытий на прочность сцепления с основным металлом были выбраны метод изгиба и метод изменения температур согласно ГОСТ 9.302–88 [63].

Нанокомпозиционные электролитические покрытия на основе хрома наносили на образцы, которые были изготовлены из стали ШХ15 ГОСТ 801-78 [62], покрытия на основе железа и никеля на образцы из стали 15Х ГОСТ 4543-2016 [59]. Все образцы подвергались термообработке до твердости 55-60 HRC, размеры образцов 40×40×4 мм. При использовании метода изменения температур образцы с покрытиями нагревали в муфельной печи СНОЛ 12/16 до температуры 300 °C, выдерживали при данной температуре в течение 15 мин и охлаждали в воде температурой 15...25 °C. Прочность сцепления покрытия с основой оценивали по наличию на поверхности образца вздутий, трещин и отслаивания.

Метод изгиба заключался в испытании пластинчатых образцов на изгиб под углом 90° в обе стороны. При высокой прочности сцепления отслаивание покрытия должно отсутствовать.

При нанесении химических покрытий ОЛНИМ ИЗ показателей, характеризующим их адгезионные свойства, является толщина диффузионного слоя. Для ее определения были проведены металлографические исследования шлифов образцов с нанокомпозиционным химическим покрытием никеля после термообработки базе на исследовательском комплексе на растрового электронного микроскопа Mira II Tescan (рисунок 3.18).

3.3.4 Методика исследования морфологии, структуры и элементного состава покрытий

Физико-механические свойства покрытий зависят от процесса формирования структуры. Морфологию и структуру поверхностей получаемых покрытий исследовали с помощью растрового электронного микроскопа Mira II Tescan (см. рисунок 3.18).

С его помощью исследовали морфологию получаемых покрытий с целью установления принципиальных различий между базовыми и нанокомпозиционными покрытиями, а также структуру покрытий с целью определения средних размеров их зерен.

134



Рисунок 3.18 – Исследовательский комплекс Mira II Tescan

Перед испытанием образцы тщательно очищали с помощью растворителя № 646, чтобы избежать образования газообразных продуктов, затрудняющих получение требуемого вакуума при откачке воздуха из камеры микроскопа.

Плотность дислокаций в покрытиях определяли по формуле Вильямсона – Смоллмена [137]:

$$\rho = \frac{3}{D^2},\tag{3.6}$$

где *D* – размер зерна металла, см.

С целью определения элементного состава получаемых покрытий и обнаружения в них присутствия наноразмерных частиц был проведен эмиссионный анализ образцов по дифракции отраженных электронов.

Исследовательский комплекс на базе растрового электронного микроскопа Mira II Tescan снабжен системой энергодисперсионного микроанализа INCA Energy 350, что позволило получить более полную информацию об исследуемых покрытиях. Чувствительность детектора INCA Energy 350 – 133 эВ/10 мм², что дает возможность анализировать химические элементы от бериллия до плутония. Способ исследования – энерго-дисперсионный. Исследования проводили в режиме высокого вакуума порядка 10⁻² Па при ускоряющем напряжении 20 кВ.

3.3.5 Методика трибологических испытаний

Износостойкость является ОДНИМ ИЗ основных свойств, которое характеризует качество поверхностного слоя материала деталей машин, интенсивного работающих износа. Процесс В условиях изнашивания поверхностного слоя детали зависит от многих факторов и связан со сложными структурными химическими физико-механическими, И изменениями В поверхностных слоях, происходящими при трении. В сопряжениях плунжерной пары ТНВД и золотниковой пары гидрораспределителя основным видом трения является трение скольжения. Его можно воспроизвести на модернизированной машине трения МИ-1М по схеме «ролик – колодка» (рисунок 3.19). Схема контактирования образцов представлена на рисунке 3.20.



Рисунок 3.19 – Модернизированная машина трения МИ-1М



Рисунок 3.20 – Схема испытания образцов на износостойкость: *а* – для испытаний на чистом смазочном материале или топливе; *б* – для испытаний на загрязненном смазочном материале или топливе; *1* – колодка; 2 – ролик; 3 – ролик, передающий нагрузку; 4 – смазочный материал или топливо; 5 – делительная воронка с загрязненным смазочным материалом или топливом

Испытания проводили согласно ГОСТ 23.224-86 «Обеспечение износостойкости деталей. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей» [54].

Колодки изготавливали из кольца наружным диаметром 65 мм, внутренний диаметр которого шлифовали под размер дисков. Длина колодки по окружности 20 мм, ширина 10 мм. Ролики изготавливали диаметром 50 мм и шириной 12 мм. На них наносили экспериментальные покрытия. Исследованиям подвергали образцы без покрытий, покрытые нанокомпозиционными и базовыми покрытиями. Для моделирования сопряжения деталей плунжерной пары ТНВД колодки и ролики изготавливали из стали ШХ15 ГОСТ 801-78 [62] и подвергались термообработке до твердости 55-60 HRC.

Испытания проводили в двух средах: на чистом дизельном топливе и на дизельном топливе, с добавлением частиц кварца размером 3-5 мкм при концентрации абразива 3 % по массе топлива.

137

Для моделирования сопряжения деталей золотниковых пар гидрораспределителей колодки изготавливали из серого чугуна СЧ 20 ГОСТ 1412-85 [48], ролики из стали 15Х ГОСТ 4543-2016 [59] с термообработкой до твердости 55-60 HRC.

Испытания проводили в двух средах: на чистом и загрязненном индустриальном масле И-20 (ГОСТ 20799–88) [51]. В качестве загрязнителя также использовали кварцевый порошок с размерами частиц 3-5 мкм при концентрации 3 % по массе масла [52].

Внешний вид пары трения до проведения испытаний представлен на рисунке 3.21.



Рисунок 3.21 – Внешний вид образцов пар трения до проведения испытаний

Основная нагрузка испытаний составляла 850 Н. Перед испытаниями образцы пар трения прирабатывали в течение 3 ч на режимах основного испытания, продолжительность которого составляла 4 ч. Износ образцов

определяли взвешиванием на аналитических весах HR-250AZG 1-го класса точности (ГОСТ OIML R 76–1–2011) [68].

3.3.6 Методика коррозионных испытаний

Под действием коррозии снижаются прочность и пластичность поверхности металла, ухудшаются фрикционные свойства [87, 116, 133, 183]. На скорость протекания процесса коррозионного разрушения металлов значительное влияние оказывает влажность воздуха, содержание в нем загрязнений (газы, частички соли) и время воздействия влаги на поверхность металла [199].

Коррозионные испытания исследуемых покрытий проводили согласно ГОСТ 9.308–85 «Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний» [64] при погружении исследуемых образцов в солевой раствор [65]. Данный метод заключается в ускорении коррозионных процессов попеременным погружением образцов в солевой раствор и высушиванием их на воздухе.

Испытания проводили на лабораторной установке, внешний вид которой представлен на рисунке 3.22.



Рисунок 3.22 – Лабораторная установка для коррозионных испытаний

Установка коррозионных испытаний состоит из ванны с 3%-м раствором хлористого натрия (NaCl) ГОСТ 4233–77 [57] и механизма, осуществляющего погружение в раствор и подъем в исходное положение завешенных на штативе образцов.

Конструкция установки обеспечивает полное погружение части образцов с нанесенным покрытием в солевой раствор в вертикальном положении. Для автоматизации процесса предусмотрено программное управление установкой. Покрытия наносили на образцы, изготовленные из стали 15X ГОСТ 4543-2016 [59] с термообработкой до твердости 55-60 HRC, размеры образцов 100×15×2 мм.

Образцы были разделены на 3 группы по 12 образцов в соответствии с исследуемыми покрытиями (на основе хрома, железа и никеля). На 6 образцов каждой группы наносили базовое покрытие, на другие 6 – нанокомпозиционные и 6 образцов испытывали без покрытий. Предварительно образцы взвешивали на аналитических весах HR-250AZG, после чего их помещали на металлическую рамку установки по 3 образца одной группы каждого вида (базовые и нанокомпозиционные).

Объем солевого раствора в ванне устанавливали в зависимости от площади поверхности образцов из расчета 30...50 см³ раствора на 1 см² покрытия.

Образцы с покрытием погружали в раствор на 10 мин, после чего их поднимали из раствора и оставляли на открытом воздухе в течение 50 мин. Продолжительность испытаний составляла 360 ч. Смену раствора проводили после полного цикла испытаний одной партии образцов. Уровень раствора в ванне контролировали через каждые 6 ч путем добавления готового 3%-го раствора хлористого натрия.

Коррозионную стойкость покрытий оценивали по потере массы образцов после удаления продуктов коррозии, которое осуществляли помещением образцов после испытаний в ванну с 8 %-м раствором NaOH и выдерживанием в течение 20 мин при температуре 20 °C [116].

140

3.4 Методика стендовых испытаний

Необходимость проведения стендовых испытаний диктуется тем, что при малых затратах как времени, так и материальных средств можно получить результат, позволяющий судить о целесообразности разрабатываемого способа восстановления.

В сопряжениях прецизионных деталей преобладающим видом изнашивания является гидроабразивное. В связи с этим, интенсификация гидроабразивного износа деталей при проведении стендовых испытаний, дает возможность значительно сократить продолжительность испытаний.

Во время проведения стендовых испытаний не ставилась задача доведения испытываемых агрегатов с прецизионными деталями до предельного состояния. Длительность испытаний ограничивалась временем позволяющим получить зависимости ресурсоопределяющих параметров испытываемых агрегатов от продолжительности испытаний и способа восстановления прецизионных деталей.

3.4.1 Методика стендовых испытаний топливных насосов высокого давления

Для испытания восстановленных плунжерных пар топливных насосов дизелей ЯМЗ-238НДЗ был применен метод ускоренных износных испытаний проводимых с добавлением абразивных частиц в дизельное топливо [149]. Абразивный материал представлял собой частицы кварца с размерами 3-5 мкм при концентрации абразива 15 г/т.

Испытания проводили на участках по ремонту топливной аппаратуры ООО «Саратовдизельаппарат», ООО «Сельхозтехника» и в лаборатории ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», используя стенды КИ-22205-01 ГОСНИТИ (рисунок 3.23). На стендах были смонтированы термокамера и смеситель, позволяющие поддерживать температуру и заданную загрязненность топлива. Топливо, с

добавлением абразивного материала, подавалось в ТНВД из смесителя, после прохождения топлива через ТНВД оно вновь возвращалось в смеситель.



Рисунок 3.23 - Стенд КИ-22205-01 ГОСНИТИ для испытания ТНВД

Экспериментальные ТНВД комплектовали серийными и восстановленными с применением нанокомпозиционного и базового хромирования плунжерными парами. Для соблюдения идентичных условий изнашивания испытуемых плунжерных пар, ТНВД комплектовали нагнетательными клапанами, форсунками и трубопроводами высокого давления одинаковой пропускной способности и гидравлической плотности. Подобранные форсунки, нагнетательные клапаны и трубопроводы устанавливались в определенные секции, а перестановки в течение испытаний не допускались. Геометрические параметры рабочих поверхностей плунжерных пар соответствовали требованиям, предъявляемым к ним [15–17]: шероховатость рабочих поверхностей втулки и плунжера Ra = 0,04...0,06 мкм, нецилиндричность – 2...4 мкм, некруглость – 0,2...0,3 мкм, конусность по длине 20 мм – не более 0,5...0,6 мкм. Восстановленные плунжерные пары

комплектовали в ТНВД по гидроплотности. Испытаниям подвергали по шесть насосов на предприятии. Каждые два насоса комплектовали соответственно серийными плунжерными парами, восстановленными базовым и нанокомпозиционным хромированием. Испытания проводили в два этапа: 1 – обкатка в течение 10 ч на чистом дизельном топливе; 2 – основные испытания на дизельном топливе, содержащем абразивные частицы кварца с размерами 3-5 мкм при концентрации абразива 15 г/т. После каждой серии испытаний топливо с абразивом заменяли. Во всех случаях концентрация абразива не менялась.

Испытания проводили при числе оборотов кулачкового вала 830 мин⁻¹. С испытываемого ТНВД был демонтирован регулятор частоты вращения, рейка насоса фиксировалась в определенном положении, соответствующем при номинальной частоте вращения кулачкового вала насоса значению номинальной подачи, на протяжении испытания положение рейки не изменялось.

Время испытаний – 130 ч. Через каждые 10 ч фиксировали пусковую цикловую подачу топлива на эталонном ТНВД, который в процессе испытаний не участвовал. После испытаний плунжерные пары демонтировали с насоса и проверяли на гидроплотность с помощью установки модели КИ-759.

3.4.2 Методика стендовых испытаний гидрораспределителей

Для определения эффективности предлагаемых технологических решений и Р-160-3/1-222 были отремонтированы гидрораспределители Р80-3/1-222 (рисунок 3.24). Экспериментальные гидравлические распределители комплектовали серийными золотниками, золотниками, восстановленными базовым железнением и базовым химическим никелированием, и золотниками, восстановленными нанокомпозиционным электролитическим железнением и нанокомпозиционным химическим никелированием. Перед началом испытаний гидрораспределители регулировали и проверяли в соответствии с ГОСТ 20245-74 «Гидроаппаратура. Правила приемки и методы испытаний» [50] на стенде КИ-4815М (рисунок 3.25).



Рисунок 3.24 – Ремонтируемые гидрораспределители



Рисунок 3.25 – Стенд для испытаний гидрораспределителей КИ-4815М
Испытания проводили на участках по ремонту гидравлической аппаратуры ООО «Саратовдизельаппарат», ООО «Сельхозтехника» и в лаборатории ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ», согласно ОСТ 114.68.9.542-85 [148]. На каждом предприятии испытаниям подвергали по шесть гидрораспределителей Р160 и по шесть гидрораспределителей Р80. Каждые два гидрораспределителя Р160 комплектовали соответственно серийными золотниками, восстановленными базовым железнением и нанокомпозиционным железнением. Каждые два P80 гидрораспределителя комплектовали соответственно серийными золотниками, восстановленными базовым никелированием И нанокомпозиционным никелированием.

Ускоренные испытания гидрораспределителей проводили, применяя кварцевый порошок с размером частиц 3-5 мкм при концентрации 0,08 % по массе масла [52]. Для поддержания седиментационной стойкости абразива масло в баке периодически перемешивали лопастной мешалкой.

Для имитации работы золотников стенд модернизировали приспособлением собственного изготовления (рисунок 3.26), которое позволяет испытывать каждый золотник в позициях «подъем», «опускание», «плавающее» и «нейтральное».



Рисунок 3.26 – Приспособление к гидравлическому стенду для испытания гидрораспределителей: 1 – электродвигатель; 2 – упругая муфта; 3 – червячный редуктор; 4 – шатун; 5 – удлинитель Продолжительность испытаний каждого золотника составляла 40 ч.

Испытания проходили в 2 этапа. Первый этап заключался в приработке каждого золотника в течение 8 ч, второй этап проводили при основных режимах работы, его продолжительность 32 ч.

Золотниковые пары проверяли на герметичность по утечкам через каждые 8 часов испытаний с помощью средств контроля КИ-28084М (рисунок 3.27).



Рисунок 3.27 – Комплект средств диагностирования гидравлических систем автотракторной техники КИ 28084M

3.5 Методика эксплуатационных испытаний

Целью проведения эксплуатационных испытаний являлось выявление показателей долговечности агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры с прецизионными деталями, восстановленными нанокомпозиционными покрытиями в условиях рядовой эксплуатации.

Выбор хозяйства и места проведения эксплуатационных испытаний производили в соответствии с требованиями РД 50-690-89 [175] с соблюдением условия обеспечения всех тракторов одинаковыми условиями эксплуатации.

Очистка, смена рабочих жидкостей, фильтрующих элементов, промывка систем и технические обслуживания проводили через интервалы времени, установленные заводами-изготовителями.

Эксплуатационные сравнительные испытания ТНВД с восстановленными и серийными плунжерными парами проводили в ИП Глава К(Ф)Х «Волков В.В.» и ООО «Агрофирма «Рубеж» на тракторах К-700А, выполняющих различные сельскохозяйственные работы. Перед эксплуатационными испытаниями экспериментальные ТНВД с восстановленными и серийными плунжерными парами были отрегулированы и в течение 10 ч обкатаны на стенде КИ-22205-01 ГОСНИТИ. Перед началом проведения испытаний на всей технике были установлены новые сменные фильтрующие элементы в фильтрах тонкой очистки топлива, проведена регулировка ТНВД с рабочими форсунками и клапанами.

В процессе эксплуатационных испытаний контролировали наработку ТНВД и изменение пусковой цикловой подачи топлива каждые 250 мото-ч на стенде КИ-22205-01 ГОСНИТИ с комплектом контрольных трубопроводов и форсунок.

Эксплуатационные сравнительные испытания гидрораспределителей Р80 и Р160 с восстановленными и серийными золотниками проводили в К(Ф)Х «Лавровское», К(Ф)Х «Харенко В.В.», СХПК «Горецкое», ИП Глава К(Ф)Х «Волков В.В.» и ООО «Агрофирма «Рубеж». Экспериментальные гидрораспределители были установлены на тракторах ДТ-75М, МТЗ-80, Т-150К, К-700А, которые выполняли различные типы сельскохозяйственных работ. Перед началом испытаний гидрораспределители регулировали и проверили на стенде КИ-4815М.

В процессе эксплуатационных испытаний контролировали наработку тракторов и техническое состояние гидрораспределителей. Через каждые 125 мото-ч измеряли величину утечек в золотниковых парах гидрораспределителей с помощью комплекта средств КИ-28084М.

Информацию по надежности при испытаниях получали, обрабатывали и анализировали согласно ГОСТ 27.301-95 [55] и РД 50-690-89 [175], которые устанавливают методы планирования испытаний при оценке показателей надежности. При проведении испытаний использовали план испытаний NUT (N – количество объектов, поставленных под наблюдение, U – отказавшие во время испытаний объекты не восстанавливаются и не заменяются, T – испытания прекращают по истечении времени испытаний, или наработки для каждого не отказавшего объекта).

3.6 Обработка экспериментальных данных и оценка точности измерений

Для повышения достоверности результатов необходимы выбор и обоснование массовости объектов исследования. При измерении соответствующих величин выбирали методы и приборы, обеспечивающие наибольшую точность.

Обоснование необходимого минимального числа экспериментальных узлов основывается на рекомендациях РД 50-690-89 [175], где изложены принципы сбора и статистической обработки полученной информации, приведены методики планирования эксплуатационных наблюдений при оценке долговечности изделий. Данный руководящий документ позволяет оценивать надежность, как отдельных деталей, так и всего изделия в целом, что дает возможность значительно сократить количество испытуемых агрегатов и приводит к уменьшению длительности эксплуатационных испытаний и сокращению трудоемкости на них. Данные меры позволяют минимизировать затраты на проведение испытаний.

Согласно РД 50-690-89 [175], при доверительной вероятности 0,8, предельной относительной ошибке 0.2 И коэффициенте вариации 0.15 минимальное количество опытных плунжерных пар, составило 24. a золотниковых пар гидрорспределителей – 15.

Оценку точности полученных в ходе испытаний данных проводили по методике обработки результатов испытаний [172, 175].

Опытную вероятность определяли по формуле:

$$p_i = \frac{m_i}{N},\tag{3.7}$$

где m_i – опытная частота в *i*-м интервале статистического ряда; N – число выполненных опытов.

Среднее значение показателя надежности находили по выражению:

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^{n} t_{ci} p_i ,$$
 (3.8)

где n – число интервалов в статистическом ряду; t_{ci} – значение середины *i*-го интервала; p_i – опытная вероятность *i*-го интервала.

Среднеквадратическое отклонение рассчитывали по выражению:

$$\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (t_{ci} - \bar{t})^2 p_i} .$$
(3.9)

Коэффициент вариации определяли по формуле:

$$\mathbf{v} = \frac{\sigma}{\bar{t} - \mathbf{C}},\tag{3.10}$$

где С – смещение рассеивания показателя надежности – расстояние от начала координат до начала рассеивания случайной величины.

Смещение рассеивания определяли по выражению:

$$C = t_{H1} - 0.5A, \qquad (3.11)$$

где *t*_{н1} – начало первого интервала статистического ряда; *А* – длина интервала.

Для определения дифференциальной функции через центрированную нормированную функцию использовали уравнение:

$$f(t) = \frac{A}{\sigma} f_0 \left(\frac{t_{ci} - \bar{t}}{\sigma} \right).$$
(3.12)

3.7 Выводы по третьей главе

1. Разработана программа экспериментальных исследований, позволяющая с высокой степенью достоверности оценить влияние нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на долговечность агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники. 2. Для повышения ресурса плунжерных и золотниковых пар нанесением нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля выбрана наиболее перспективная группа наноразмерных частиц: Al_2O_3 ; BN, TiC, AlN, SiC, B, WC и K₂O nTiO₂.

3. Разработаны методика электролитов-суспензий приготовления И лабораторная установка для нанесения нанокомпозиционных покрытий, седиментационную устойчивость электролитовпозволяющие повысить суспензий, исключить дополнительную проработку электролитов и растворов, ведущую к повышенному расходу наноразмерных порошков и получать стабильно качественные нанокомпозиционные покрытия.

4. Физико-механические свойства получаемых покрытий изучали использованием известных методик измерения микротвердости, износостойкости, коррозионной стойкости и адгезии покрытий с основным металлом. Морфологию, структуру и элементные составы покрытий исследовали с помощью комплекса на базе растрового электронного микроскопа Mira II Tescan.

5. Разработана оригинальная лабораторная установка для проведения коррозионных испытаний получаемых покрытий.

6. Для определения эффективности предлагаемых технологических решений разработаны методики проведения испытаний стендовых отремонтированных ТНВД гидрораспределителей. Оценку И показателей технического ресурса новых и отремонтированных агрегатов проводили в условиях рядовой эксплуатации тракторах, на выполняющих различные сельскохозяйственные работы.

7. Обработку экспериментальных данных осуществляли методами математической статистики с использованием программы для анализа данных Statistica. Результаты, полученные графическим способом, были обработаны с помощью программ Компас-3D и Microsoft Excel.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Исследование и установление эффективных упрочняющих фаз и режимов получения покрытий

При нанесении нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий необходимо обеспечивать подвод наноразмерных частиц к катоду на протяжении всего процесса осаждения, путем повышения седиментационной устойчивости рабочих электролитов и химического раствора. В связи с этим были проведены исследования по выбору наиболее эффективного способа обеспечения высокой седиментационной устойчивости электролитов и химического раствора, согласно методике изложенной в параграфе 3.2.

В ходе проведенных исследований седиментационной устойчивости электролитов-суспензий, подготовленных различными способами, были получены результаты, представленные в таблице 4.1.

Проведенные исследования показали, что по сравнению с механическим методом диспергирования, ультразвуковой позволяет увеличивать седиментационную устойчивость получаемых электролитов и растворов. Наиболее эффективной является область частот ультразвука от 15 до 30 кГц, что хорошо согласуется с данными [43].

ультразвуковых При воздействии волн на жидкость главными диспергирующими механизмами являются ударные волны и кумулятивные струи, возникающие на поверхности дисперсных материалов и распространяющиеся по границам соединения агломератов наноразмерных частиц. Кроме того, в процесс обработки ультразвуком возникает явление кавитации. Ультразвуковые волны обладают собственным давлением на жидкость, которое накладывается на постоянное гидростатическое давление. Жидкости устойчивы против сжатия и очень чувствительны к растягивающим условиям, поэтому в момент разряжения в них образуется большое количество разрывов в местах, где их прочность ослаблена, Эти полости например, посторонних твердых частиц. V

(кавитационные пузырьки) сохраняются неизменными некоторое время, после чего «захлопываются». В это время развивается местное давление, приводящее к разрушению твердых тел, находящихся вблизи пузырька.

Таблица 4.1 – Седиментационная устойчивость электролитов-суспензий, полученных различными способами

	Седиментационная устойчивост				ость	, %						
Способ получения электролита-суспензии	электролит-суспензия для	нанокомпозиционного	электролитического	хромирования	электролит-суспензия для	нанокомпозиционного	электролитического	железнения	раствор-суспензия для	нанокомпозиционного	химического	никелирования
Внесение наноразмерных частиц	12		6			8						
и перемешивание вручную	12											
Обработка ультразвуковым	28			22			27					
генератором УЗГ-2М	20											
Перемешивание вручную и												
постоянное действие	74		68			72						
ультразвуковых колебаний												
Обработка ультразвуковым												
генератором УЗГ-2М и	90		97			98						
постоянное действие	77											
ультразвуковых колебаний												

Внешний вид образцов электролита-суспензии для нанесения нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе железа, после проведения исследований представлен на рисунке 4.1.



Рисунок 4.1 – Образцы электролита-суспензий для нанесения нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе железа: *а* – электролит-суспензия, полученный путем внесения наноразмерных частиц и перемешивания вручную; *б* – электролит-суспензия, полученный

путем обработки ультразвуковым генератором УЗГ-2М; *в* – электролит-суспензия, полученный путем перемешивания вручную и при постоянном действии ультразвуковых колебаний ультразвуковой ванны; *г* – электролит-суспензия, полученный путем обработки ультразвуковым генератором УЗГ-2М и при постоянном действии

ультразвуковых колебаний ультразвуковой ванны

Из представленных в таблице 4.1 и на рисунке 4.1 данных видно, что наибольшей седиментационной устойчивостью обладают составы, полученные путем внесения наноразмерных частиц, обработки ультразвуковым генератором УЗГ-2М с частотой 22 кГц в течение 10–12 мин и при постоянном действии ультразвуковых колебаний ультразвуковой ванны УЗУ 0,25 частотой 18 кГц в течение 1 ч. Данный способ был выбран для получения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля и рекомендован к практическому применению на предприятиях технического сервиса.

Для определения наиболее эффективных упрочняющих фаз каждого из рассматриваемых покрытий были проведены соответствующие исследования согласно методике, описанной в параграфе 3.3. Микротвердость покрытий измеряли на металлографических шлифах (рисунок 4.2). Для получения наилучшего эффекта от использования наноразмерных частиц нанесение покрытий необходимо проводить при режимах, обеспечивающих их заданные физико-механические свойства. Установление режимов нанесения покрытий и концентраций частиц наноразмерных фаз в электролитах (растворах) связано с трудностями из-за сложного характера известными взаимосвязи между основными режимами нанесения покрытий и качеством получаемых покрытий и требует значительного объема экспериментальных исследований. Для снижения трудоемкости и материальных средств на проведение исследовательских работ в целесообразно использовать настоящее время способ математического планирования эксперимента [3, 8, 92, 182].

В качестве параметра оптимизации в данных исследованиях была выбрана микротвердость получаемых покрытий, так как она в значительной степени указывает на износостойкость покрытий, ее достаточно быстро и просто измерить, что снижает время на проведение математического планирования. С целью анализа исследуемых процессов и наглядности, уравнения регрессии следует представлять графическим методом в виде поверхностей откликов. При числе факторов, большем или равном трем, интерпретация функции отклика возможна при использовании двух факторов и фиксации остальных на поверхностных уровнях.



б

Рисунок 4.2 – Металлографические шлифы образцов с покрытиями на основе хрома после измерения микротвердости (х100): а – базовое электролитическое покрытие; б – нанокомпозиционное

Ввиду того, что в качестве параметра оптимизации была принята микротвердость получаемых покрытий, для нахождения экстремума функции следует определять частные производные по соответствующим факторам и приравнивать их к нулю. Решая полученную систему уравнений можно определить область факторного пространства, которая обеспечивает искомые режимы нанесения гальвано-химических покрытий.

4.1.1 Исследование нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе хрома

С целью установления эффективных материалов наноразмерных частиц для каждого из рассматриваемых покрытий были проведены исследования согласно методике представленной в параграфах 3.2 и 3.3. Степень эффективность материала оценивали по микротвердости получаемых покрытий.

Результаты натурных измерений микротвердости покрытий на основе хрома с наноразмерными частицами Al_2O_3 , AlN, SiC, TiC, WC, $K_2O \cdot nTiO_2$ и теоретические значения микротвердости, рассчитанные по формуле (2.40), представлены в таблице 4.2.

Из представленных данных видно, что наибольшей микротвердостью обладает нанокомпозиционное электролитическое покрытие на основе хрома, полученное при введении в электролит хромирования наноразмерного порошка Al_2O_3 . Это объясняется, скорее всего, не только высокой микротвердостью наноразмерных частиц Al_2O_3 , но и тем, что Al_2O_3 в отличие от боридов, карбидов и нитридов более устойчив к агрессивным средам, термостоек, при обычных условиях не разлагается и не превращается в другие соединения. Данный наноразмерный материал по сравнению с другими имеет повышенный период индукции, что в действительности указывает на время, в течение которого электролит-суспензия нейтрализуется или разрушается [21].

Таблица 4.2 – Результаты натурных измерений и расчетных данных микротвердости нанокомпозиционных покрытий на основе хрома

	Значение микротвердости, ГПа					
материал наноразмерных частиц	теоретическое	эксперимен- тальное	расхождение между теоретическими и экспериментальными значениями, %			
Al ₂ O ₃	13,31 (841 HB)	14,10 (max 14,32)	5,9			
AlN	12,81	13,42	4,8			
SiC	12,78	13,26	3,7			
WC	12,44	12,71	2,2			
TiC	12,28	12,62	2,8			
K ₂ O nTiO ₂	11,16	11,61	4,0			
$Al_2O_3 + K_2O \cdot nTiO_2$	13,22	13,72	3,8			
Без наноразмерных частиц	9,90	9,64	2,7			

Микротвердость нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе хрома, полученных при использовании наноразмерных частиц Al_2O_3 составила 14,10 ГПа, что в 1,05 раза больше микротвердости соответствующих покрытий, полученных при использовании наноразмерных частиц AlN (13,42 ГПа), в 1,06 раза больше, чем при использовании наноразмерных частиц SiC (13,26 ГПа), в 1,11 раза больше, чем при использовании наноразмерных частиц WC (12,71 ГПа), в 1,12 раза больше, чем при использовании наноразмерных частиц WC (12,62 ГПа), в 1,21 раза больше, чем при использовании наноразмерных частиц наноразмерных частиц K₂O·*n*TiO₂ (11,61 ГПа), в 1,03 раза больше, чем при использовании наноразмерных частиц Alopaзмерных частиц Alopaзмерных частиц Alopaзмерных частиц Alopaзмерных частиц Alopaзмерных частиц K₂O·*n*TiO₂ (11,61 ГПа), в 1,03 раза больше, чем при использовании наноразмерных частиц Alopaзмерных частиц K₂O·*n*TiO₂ (11,61 ГПа), в 1,03 раза больше, чем при использовании наноразмерных частиц Alopaзмерных части Alopaз

Расхождение между теоретически рассчитанными и измеренными значениями микротвердости нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе хрома не превышает 5,9 %, что является допустимым и свидетельствует о справедливости и применимости к покрытиям на основе хрома предложенной теоретической модели механизма упрочнения нанокомпозиционных гальванохимических покрытий и формулы (2.40) для расчета их микротвердости.

В результате проведенных экспериментов была определена наноразмерная фаза Al₂O₃, позволяющая достичь наибольшего (14,1 ГПа), по сравнению с рассматриваемыми порошками, повышения микротвердости покрытия. Все последующие исследования нанокомпозиционных покрытий на основе хрома проводили только с наноразмерным порошком Al₂O₃. Основные факторы, влияющие на процесс нанесения нанокомпозиционного покрытия на основе хрома, уровни и интервалы их варьирования, представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Характеристики факторны	х значений эк	сспериментов п	о нанесению
нанокомпозиционных покрытий на основ	е хрома		

Фактор	-1	0	+1	Интервал варьирования
Концентрация наноразмерной фазы, г/л (Х1)	1	3	5	2
Температура электролита, °С (X ₂)	40	50	60	10
Плотность тока, $A/дм^2(X_3)$	45	55	65	10

В результате проведенных расчетов получены уравнения, описывающие процесс нанесения нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе хрома с кодированными (4.1) и с физическими (4.2) переменными значениями:

$$Y_{j}^{P} = 13882 + 748X_{1} + 467X_{3} - 1006X_{1}^{2} - 967X_{2}^{2} - 714X_{3}^{2};$$
(4.1)

$$y_j^{PH} = -37845, 5 + 1883x_1 + 967x_2 + 831, 7x_3 - 251x_1^2 - 9, 67x_2^2 - 7, 14x_3^2.$$
(4.2)

По полученным уравнениям (4.1) и (4.2) были построены поверхности отклика в исследуемом факторном пространстве (рисунок 4.3).



Рисунок 4.3 – Поверхности отклика исследуемого процесса получения нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе хрома: *а* – факторы «температура электролита» и «плотность тока»; *б* – факторы «плотность тока» и «концентрация наноразмерных частиц»; *в* – факторы «температура электролита» и «концентрация наноразмерных частиц»

в

Из представленных данных видно, что наибольшая микротвердость нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе хрома достигается при нагреве электролита до температуры 50 °C, плотности тока 59 А/дм² и концентрации частиц наноразмерной фазы в электролите 3,2 г/л, что в итоге соответствует повышению микротвердости до 14,32 ГПа.

Нахождение экстремумов и построение поверхностей отклика осуществлялось с использованием программы для анализа данных Statistica.

После проверки полученных уравнений на адекватность с помощью критерия Фишера было установлено, что они адекватно описывают поверхности отклика, так как выполняется условие $F_{\rm p} \leq F_{\rm табл}$ (4,92 \leq 5,41).

4.1.2 Исследование нанокомпозиционных электролитических покрытия на основе железа

Результаты натурных измерений и расчетных данных микротвердости покрытий на основе железа представлены в таблице 4.4.

Из таблицы 4.4 видно, что наибольшей микротвердостью обладает нанокомпозиционное электролитическое покрытие на основе железа, полученное при введении в электролит железнения наноразмерного порошка AlN. Высокая микротвердость электролитических покрытий с включением наноразмерных частиц AlN, по сравнению с другими наноразмерными частицами, объясняется, скорее всего, не только их высокой микротвердостью, но и химическими свойствами нитридов. Так, согласно [21], нитриды при взаимодействии с кислотами, присутствующими в электролите железнения, выделяют азот, внедрение которого в электролитическое покрытие дополнительно улучшает его физико-механические свойства.

Микротвердость нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе железа, полученных при использовании наноразмерных частиц AlN составила 6,82 ГПа, что в 1,01 раза больше микротвердости соответствующих покрытий, полученных при использовании наноразмерных частиц Al₂O₃ (6,76

ГПа), в 1,02 раза больше, чем при использовании наноразмерных частиц SiC (6,68 ГПа), в 1,04 раза больше, чем при использовании наноразмерных частиц WC (6,54 ГПа), в 1,05 раза больше, чем при использовании наноразмерных частиц TiC (6,52 ГПа), в 1,11 раза больше, чем при использовании наноразмерных частиц K₂O nTiO₂ (6,16 ГПа), в 1,07 раза больше, чем при использовании наноразмерных частиц AlN + K₂O nTiO₂ (6,36 ГПа) и в 1,16 раза больше микротвердости базовых покрытий (5,86 ГПа).

Таблица 4.4 – Результаты натурных измерений и расчетных данных микротвердости нанокомпозиционных покрытий на основе железа

	Значение микротвердости, ГПа					
Материал			расхождение между			
наноразмерных	TAODATHIAOKOA	эксперимен-	теоретическими и			
частиц	теоретическое	тальное	экспериментальными			
			значениями, %			
Al ₂ O ₃	7,13	6,76	5,5			
AlN	6,98 (578 HB)	6,82 (max 7,28)	2,3			
SiC	6,94	6,68	3,9			
WC	6,18	6,54	5,8			
TiC	6,17	6,52	5,7			
K ₂ O nTiO ₂	5,92	6,16	4,0			
$AlN + K_2O \cdot nTiO_2$	6,62	6,36	4,1			
Без наноразмерных частиц	6,03	5,86	2,9			

Расхождение теоретически между рассчитанными измеренными И значениями микротвердости нанокомпозиционных электролитических покрытий превышает 5,8 %, на основе железа не ЧТО является допустимым И свидетельствует о справедливости и применимости к покрытиям на основе железа предложенной теоретической модели упрочнения механизма

нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий и формулы (2.40) для расчета их микротвердости.

В результате проведенных экспериментов была определена наноразмерная фаза AlN, позволяющая достичь наибольшего (6,82 ГПа), по сравнению с рассматриваемыми порошками повышения микротвердости покрытия. Все последующие исследования нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе железа проводили только с порошком AlN.

Основные факторы, влияющие на процесс нанесения нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе железа, уровни и интервалы их варьирования, представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Характеристики факторных значений экспериментов по нанесению нанокомпозиционных покрытий на основе железа

Фактор		0	+1	Интервал
			11	варьирования
Концентрация наноразмерной фазы, г/л (X ₁)	1	3	5	2
Температура электролита, °С (X ₂)	60	70	80	10
Плотность тока, $A/дм^2(X_3)$	15	20	25	5

В результате проведенных расчетов получены уравнения, описывающие процесс нанесения нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе железа с кодированными (4.3) и с физическими (4.4) переменными значениями:

$$Y_{j}^{P} = 6877 + 406X_{1} + 220X_{3} - 694X_{1}^{2} - 499X_{2}^{2} - 385X_{3}^{2};$$
(4.3)

$$y_j^{PH} = -26784,5 + 1244x_1 + 698,6x_2 + 660x_3 - 173,5x_1^2 - 4,99x_2^2 - 15,4x_3^2.$$
(4.4)

После проверки полученных уравнений на адекватность с помощью критерия Фишера было установлено, что уравнения адекватно описывают поверхности отклика, так как выполняется условие $F_p \leq F_{\text{табл}}$ (2,99 \leq 5,41). По полученным уравнениям были построены поверхности отклика в исследуемом факторном пространстве (рисунок 4.4).



Рисунок 4.4 – Поверхности отклика исследуемого процесса получения нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе железа: *а* – факторы «температура электролита» и «плотность тока»; *б* – факторы «плотность тока» и «концентрация наноразмерных частиц»; *в* – факторы «температура электролита» и «концентрация наноразмерных частиц»

Из представленных данных видно, что наибольшая микротвердость нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе железа достигается при нагреве электролита до температуры 70 °C, плотности тока 21 А/дм² и концентрации частиц наноразмерной фазы в электролите 3,1 г/л, что в итоге соответствует повышению микротвердости до 7,28 ГПа.

Нахождение экстремумов и построение поверхностей отклика осуществлялось с использованием программы для анализа данных Statistica.

4.1.3 Исследование нанокомпозиционных химических покрытий на основе никеля

Результаты натурных измерений и расчетных данных микротвердости покрытий на основе никеля представлены в таблице 4.6.

Из таблицы 4.6 видно, что наибольшей микротвердостью обладает нанокомпозиционное химическое покрытие на основе никеля, полученное при введении в раствор никелирования наноразмерного порошка Al₂O₃.

Микротвердость нанокомпозиционных покрытий на основе химического никеля, полученных при использовании смеси порошков $Al_2O_3 + K_2O \cdot nTiO_2$, составила 9,46 ГПа, что практически соответствует микротвердости покрытий, полученных при использовании наноразмерных частиц Al_2O_3 (9,48 ГПа), в 1,02 раза больше микротвердости соответствующих покрытий, полученных при использовании наноразмерных частиц AlN (9,28 ГПа), в 1,07 раза больше, чем при использовании наноразмерных частиц SiC (8,84 ГПа), в 1,15 раза больше, чем при использовании наноразмерных частиц WC (8,26 ГПа) или TiC (8,22 ГПа), в 1,32 раза больше, чем при использовании наноразмерных частиц K₂O $\cdot nTiO_2$ (7,14 ГПа), и в 1,81 раза больше микротвердости базовых покрытий (5,22 ГПа).

Расхождение между теоретически рассчитанными и измеренными значениями микротвердости нанокомпозиционных химических покрытий на основе никеля не превышает 4,7 %, что является допустимым и свидетельствует о справедливости и применимости к покрытиям на основе никеля предложенной теоретической модели механизма упрочнения нанокомпозиционных гальванохимических покрытий и формулы (2.40) для расчета их микротвердости.

Таблица 4.6 – Результаты натурных измерений и расчетных данных микротвердости нанокомпозиционных покрытий на основе никеля

	Значение микротвердости, ГПа					
Материал			расхождение между			
наноразмерных	TAADATHIJAAKAA	эксперимен-	теоретическими и			
частиц	Теоретическое	тальное	экспериментальными			
			значениями, %			
Al ₂ O ₃	9,74	9,48	2,7			
AlN	8,92	9,28	4,0			
SiC	8,58	8,84	3,0			
WC	8,56	8,26	3,6			
TiC	8,54	8,22	3,9			
K ₂ O nTiO ₂	6,82	7,14	4,7			
$Al_2O_3 + K_2O \cdot nTiO_2$	9,10 (678 HB)	9,46 (max 9,64)	4,0			
Без наноразмерных частиц	5,43	5,22	4,0			

На основании доводов, изложенных в третьей главе, а также учитывая положительный результат экспериментов по получению качественных нанокомпозиционных покрытий на основе химического никеля с порошком полититаната калия, для увеличения износостойкости и антифрикционных характеристик покрытия было принято решение о дальнейшем использовании смеси порошков Al₂O₃ + K₂O·nTiO₂.

Все последующие исследования нанокомпозиционных химических покрытий на основе никеля проводили только со смесью этих порошков.

Основные факторы, влияющие на процесс нанесения нанокомпозиционного химического покрытия на основе никеля, уровни и интервалы их варьирования, представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Характеристики факторных значений экспериментов по нанесению нанокомпозиционных покрытий на основе никеля

Фактор	-1	0	+1	Интервал варьирования
Концентрация наноразмерной фазы оксида алюминия, г/л (X ₁)	1	3	5	2
Концентрация наноразмерной фазы полититаната калия, г/л (X ₂)	1	3	5	2
Температура последующей термической обработки, °С (X ₃)	200	350	500	150

В результате проведенных расчетов получены уравнения, описывающие процесс нанесения нанокомпозиционных химических покрытий на основе никеля с кодированными (4.5) и с физическими (4.6) переменными значениями:

$$Y_j^P = 9727 + 540X_1 + 313X_2 - 531X_1^2 - 338X_2^2 - 835X_3^2;$$
(4.5)

$$y_j^{PH} = 2835,6 + 1066,5x_1 + 663,5x_2 + 26,89x_3 - 132,75x_1^2 - 84,5x_2^2 - 0,04x_3^2.$$
(4.6)

По полученным уравнениям (4.5) и (4.6) были построены поверхности отклика в исследуемом факторном пространстве (рисунок 4.5).

После проверки полученных уравнений на адекватность с помощью критерия Фишера было установлено, что они адекватно описывают поверхности отклика, так как выполняется условие $F_{\rm p} \leq F_{\rm табл}$ (5,09 \leq 5,41).

Нахождение экстремумов и построение поверхностей отклика осуществлялось с использованием программы для анализа данных Statistica.



Рисунок 4.5 – Поверхности отклика исследуемого процесса получения нанокомпозиционных химических покрытий на основе никеля: *a* – факторы «температура термической обработки» и «концентрация K₂O nTiO₂»; *б* – факторы «температура последующей термической обработки» и «концентрация Al₂O₃»; *в* – факторы «концентрация Al₂O₃» и «концентрация K₂O nTiO₂»

Из представленных данных видно, что наибольшая микротвердость нанокомпозиционного химического покрытия на основе никеля достигается при концентрации частиц оксида алюминия 3,2 г/л, концентрации частиц полититаната калия 4,1 г/л и температуре последующей термической обработки 350 °C, что в итоге соответствует повышению микротвердости до 9,64 ГПа.

Результаты измерения микротвердости нанокомпозиционных покрытий хорошо согласуются с теоретическими исследованиями (см. главу 2). Как видно из представленных в таблицах 4.2, 4.4, 4.6 данных, расхождение между теоретически рассчитанными и измеренными значениями микротвердости не превышает 6 %. Это свидетельствует о справедливости формулы (2.40) для определения микротвердости нанокомпозиционных покрытий и учитывая выражения (2.41)–(2.43) дает основание полагать об увеличении ресурса сопряжений прецизионных деталей восстановленных нанокомпозиционными гальвано-химическими покрытиями на основе хрома, железа и никеля.

4.2 Результаты лабораторных испытаний

4.2.1 Результаты исследования микротвердости покрытий

Микротвердость получаемых покрытий исследовали на металлографических шлифах по толщине слоя от границы раздела с основным металлом (см. рисунок 4.2) в соответствии с методикой, изложенной в параграфе 3.3.

Результаты замеров микротвердости нанокомпозиционных и базовых покрытий хрома, железа и никеля, проведенных в соответствии со схемой на рисунке 3.16, представлены на рисунках 4.6–4.8 соответственно.

Из представленных данных видно, что прослеживается определенная закономерность в распределении микротвердости всех рассматриваемых покрытий.



📥 Сталь ШХ15

Рисунок 4.6 – Распределение микротвердости покрытий на основе хрома по толщине слоя



-Нанокомпозиционное электролитическое покрытие на основе железа

-Базовое электролитическое покрытие на основе железа

—Сталь 15X

Рисунок 4.7 – Распределение микротвердости покрытий на основе железа по толщине слоя



Рисунок 4.8 – Распределение микротвердости покрытий на основе химического никеля по толщине слоя

Так, у базовых гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и всей У микротвердость равномерна никеля по толщине слоя. нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий по мере удаления от С основным металлом микротвердость увеличивается, границы ЧТО свидетельствует о более плотном строении зерна ближе к поверхности таких покрытий. Это следует связывать с дислокационным механизмом упрочнения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий, так как дислокации, будучи термодинамически неустойчивыми дефектами, будут стремиться выйти на поверхность, что подтверждает теоретические доводы, изложенные во второй главе. Несколько сниженная микротвердость нанокомпозиционных гальванохимических покрытий в глубине слоя позволяет повысить их стойкость к образованию субмикротрещин.

Осаждение нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий с положительным градиентом микротвердости по толщине позволит нивелировать

разницу величин микротвердости покрытий и основного металла и станет дополнительным фактором, способствующим повышению прочности сцепления покрытий с основой с одной стороны и их износостойкости с другой.

На основании измерений микротвердости нанокомпозиционных гальванохимических покрытий на основе хрома, железа и никеля были сформированы статистические ряды и построены графические зависимости, представленные в приложении В. Измерениям подвергались по 30 образцов каждого ИЗ рассматриваемых покрытий. По результатам измерений микротвердости среднее квадратическое отклонение значений нанокомпозиционных покрытий на основе хрома составило 0,05 (коэффициент вариации 0,283), нанокомпозиционных железа 0,06 (коэффициент вариации покрытий на основе _ 0,276), нанокомпозиционных покрытий на основе никеля – 0,03 (коэффициент вариации 0,284). Для выравнивания полученной опытной информации микротвердости всех трех покрытий выбран закон нормального распределения, так как коэффициент вариации *v* < 0,3. Из графиков представленных в приложении В следует, что наибольшая вероятность значений микротвердости нанокомпозиционных покрытий на основе хрома наблюдается в интервале 14.32-14.37 ГПа. нанокомпозиционных покрытий на основе железа в интервале 7,24–7,30 ГПа, и нанокомпозиционных покрытий на основе никеле в интервале 9,63–9,67 ГПа.

4.2.2 Результаты исследования прочности сцепления покрытий с основным металлом

Какими бы положительными свойствами ни обладало электролитическое или химическое покрытие, оно может быть использовано для практических целей лишь при достаточно прочном сцеплении его с деталью. Исследования проводили в соответствии с методикой, изложенной в параграфе 3.3, согласно ГОСТ 9.302– 88 [63] используя методы изгиба и изменения температур. Результаты исследований гальвано-химических покрытий на прочность сцепления с основой, которые проведены по методу изгиба представлены на рисунке 4.9.

на основе никеля

а – нанокомпозиционное электролитическое покрытие на основе хрома; б – нанокомпозиционное электролитическое покрытие на основе железа; в – нанокомпозиционное химическое покрытие

Рисунок 4.9 – Внешний вид образцов после испытаний на прочность сцепления с основным металлом (×50):



Из представленных иллюстраций следует, что отслаивания покрытий в месте излома ни в одном из трех исследуемых вариантов не наблюдалось. Все виды покрытий растрескивались с образованием сетки трещин без отслаивания от основного металла.

Визуальный осмотр покрытий после проведения испытаний методом изменения температур показал отсутствие вздутий и отслаиваний на поверхностях как базовых, так и нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий.

Помимо этого, исследованиям подвергались металлографические шлифы химических покрытий никеля на предмет установления толщины диффузионного слоя, образующегося в процессе нанесения покрытий. При определении толщины диффузионного слоя нанокомпозиционного химического покрытия на основе никеля на металлографическом шлифе выделяли некоторые контрольные точки (рисунок 4.10). В этих точках производили измерение содержание железа и никеля.



Рисунок 4.10 – Металлографический шлиф

с контрольными точками

Результаты исследования этих веществ в каждой контрольной точке представлены на рисунке 4.11.



Рисунок 4.11 – Содержание никеля и железа в контрольных точках

Из представленных результатов следует, что никель проникает в основной металл на величину 5–6 мкм. Таким образом, формируется диффузионный слой, способствующий увеличению прочности сцепления покрытия с основой.

В результате вышеизложенного можно сделать вывод о том, что прочность сцепления нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля с основным металлом превышает прочность слоя самих покрытий на разрыв и удовлетворяет требованиям ГОСТ 9.302–88 [63].

4.2.3 Результаты исследования морфологии и структуры покрытий

Механические и эксплуатационные свойства нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий зависят от структуры матрицы, концентрации и свойств наноразмерной фазы.

Морфологию и структуру покрытий исследовали с помощью комплекса на базе растрового электронного микроскопа Mira II Tescan, согласно методике изложенной в параграфе 3.3.

На рисунках 4.12–4.14 представлены иллюстрации поверхностей базовых покрытий без наноразмерных частиц и нанокомпозиционных непосредственно после нанесения покрытий.



Рисунок 4.12 – Морфология электролитических покрытий на основе хрома: *а* – базовое покрытие; *б* – нанокомпозиционное

Как видно из представленных данных, внешний вид покрытий достаточно сильно различается. Базовые покрытия не имеют на своей поверхности какихлибо включений.



Рисунок 4.13 – Морфология электролитических покрытий на основе железа: *а* – базовое покрытие; *б* – нанокомпозиционное



Рисунок 4.14 – Морфология химических покрытий на основе никеля: *а* – базовое покрытие; *б* – нанокомпозиционное

Нанокомпозиционные гальвано-химические покрытия имеют большое количество включений различного размера по всей поверхности и визуально более плотную структуру.

Помимо исследования морфологии поверхности покрытий, немаловажным является изучение характера роста кристаллов покрытий. Для этого были исследованы торцы базовых и нанокомпозиционных покрытий. На рисунке 4.15 представлен внешний вид торца излома базового и нанокомпозиционного покрытий на основе железа.



Рисунок 4.15 – Изломы торцов электролитических покрытий на основе железа: *а* – базовое покрытие; *б* – нанокомпозиционное

Оба вида покрытий имеют характерную структуру, полученную электрокристаллизацией железа. Нанокомпозиционное покрытие имеет более ориентированную столбчатую структуру.

Направление роста кристаллов перпендикулярно поверхности детали и, очевидно, совпадает с направлением силовых линий. Перпендикулярно ориентированные кристаллы нанокомпозиционного покрытия будут способствовать повышению его износостойкости за счет увеличения количества границ зерен на поверхности.

Исследование торца излома нанокомпозиционного и базового химических покрытий никеля (рисунок 4.16) показало наличие ряда параллельных слоев (рисунок 4.16, δ). Наличие ярко выраженных слоев в химическом покрытие на основе никеля можно объяснить изменением концентрации фосфора по его толщине, что хорошо согласуется с данными [29]. Кроме того, в толщине осадка и на поверхности можно рассмотреть внедренные частицы наноразмерной фазы (рисунок 4.16, δ), что также подтверждает доводы о зарастании частиц формирующимся покрытием.



Рисунок 4.16 – Изломы торцов химических покрытий на основе никеля: *а* – базовое покрытие; *б* – нанокомпозиционное

Для установления величин размеров зерен покрытий и расчета плотности дислокаций были проведены соответствующие исследования в соответствии с методикой, изложенной в параграфе 3.3. На рисунках 4.17–4.19 представлены изображения покрытий, полученные с помощью комплекса Mira II Tescan по сигналам потока вторичных (SE) и отраженных (BSE) электронов.



Рисунок 4.17 – Структура электролитических покрытий на основе хрома: *а* – базовое покрытие; *б* – нанокомпозиционное



SEM HV: 20.00 kV View field: 16.53 µm SEM MAG: 20.00 kx WD: 14.67 mm Det: SE + BSE Date(m/d/y): 05/06/19

20 µm

Performance in nanospace





Рисунок 4.18 – Структура электролитических покрытий на основе железа: *а* – базовое покрытие; *б* – нанокомпозиционное

Поверхности нанокомпозиционных покрытий сильно отличаются от поверхностей соответствующих базовых покрытий, так как наноразмерные частицы, вводимые в электролиты (растворы), активизируют процесс получения покрытий и являются их центрами кристаллизации, что приводит к получению
более плотной структуры, обусловленной субмикроскопической деформацией кристаллической решетки вокруг наноразмерных частиц, что подтверждает доводы об измельчении зерна покрытий, изложенные во второй главе.



Рисунок 4.19 – Структура химических покрытий на основе никеля: *a* – базовое покрытие; *б* – нанокомпозиционное

182

Средние значения размеров зерен, минимальных плотностей дислокаций, рассчитанных по формуле (3.6), и микротвердостей покрытий представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Средний размер зерна, минимальная плотность дислокаций и микротвердость покрытий

Вид покрытия	Средний размер зерна, см	Плотность дислокаций, см ⁻²	Среднее значение микротвердости, ГПа
Базовое на основе хрома	$1,1 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^8$	9,6
Нанокомпозиционное на основе хрома	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$5,7 \cdot 10^8$	14,32
Базовое на основе железа	5,5.10-4	$9,9 \cdot 10^{6}$	5,86
Нанокомпозиционное на основе железа	$2,6 \cdot 10^{-4}$	$4, 4 \cdot 10^7$	7,28
Базовое на основе химического никеля	$2,8 \cdot 10^{-4}$	$3,8 \cdot 10^7$	5,22
Нанокомпозиционное на основе химического никеля	9,6·10 ⁻⁵	$3,2 \cdot 10^8$	9,64

Из данных представленных в таблице 4.8 видно, что средний размер зерна у базового покрытия хрома составил $1,1\cdot10^{-4}$ см, что соответствовало плотности дислокаций $2,5\cdot10^8$ см⁻² и микротвердости 9,6 ГПа, в то время как у нанокомпозиционного покрытия на основе хрома средний размер зерна $7,2\cdot10^{-5}$ см, что соответствовало плотности дислокаций $5,7\cdot10^8$ и микротвердости 14,32 ГПа. У базового покрытия железа средний размер зерна составил $5,5\cdot10^{-4}$ см, что

соответствовало плотности дислокаций $9,9 \cdot 10^6$ см⁻² и микротвердости 5,86 ГПа, в то время как у нанокомпозиционного покрытия на основе железа средний размер зерна $2,6 \cdot 10^{-4}$ см, что соответствовало плотности дислокаций $4,4 \cdot 10^7$ и микротвердости 7,28 ГПа. У базового покрытия никеля средний размер зерна составил $2,8 \cdot 10^{-4}$ см, что соответствовало плотности дислокаций $3,8 \cdot 10^7$ см⁻² и микротвердости 5,22 ГПа, в то время как у нанокомпозиционного покрытия на основе никеля средний размер зерна $9,6 \cdot 10^{-5}$ см, что соответствовало плотности дислокаций $3,2 \cdot 10^8$ и микротвердости 9,64 ГПа.

Размер зерна нанокомпозиционного покрытия на основе хрома меньше размера зерна базового покрытия хрома в 1,53 раза, а плотность дислокаций выше в 2,28 раза. У нанокомпозиционного покрытия на основе железа размер зерна меньше размера зерна базового покрытия железа в 2,12 раза, а плотность дислокаций выше в 4,44 раза. Размер зерна нанокомпозиционного покрытия на основе никеля меньше размера зерна соответствующего базового покрытия в 2,92 раза, а плотность дислокаций выше в 8,42 раза. Анализ данных представленных в таблице 4.8 показал, что прослеживается закономерность между размером зерна покрытий, плотностью дислокаций и их микротвердостью. Уменьшение размера зерна покрытий приводит к увеличению плотности дислокаций и их микротвердости, что подтверждает доводы, изложенные во второй главе и указывает на справедливость предложенной теоретической модели образования и упрочнения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий (см. главу 2).

4.2.4 Результаты исследования химического состава покрытий

В результате анализа образцов, проведенного с помощью Mira II Tescan, согласно методике изложенной в параграфе 3.3 были получены спектрограммы базовых и нанокомпозиционных покрытий на основе хрома (рисунок 4.20), железа (рисунок 4.21) и химического никеля (рисунок 4.22).



на основе хрома

Рисунок 4.20 – Спектрограммы базового (*a*) и нанокомпозиционного (*б*) электролитических покрытий











на основе никеля

Исследование элементного состава проводилось с целью проверки предположения о внедрении наноразмерных частиц в гальвано-химические покрытия и определения количества частиц наноразмерной фазы в них. Изучение химического состава дает возможность прогнозировать и изменять физикомеханические свойства получаемых покрытий.

По полученным спектрограммам покрытий было рассчитано содержание основных элементов в каждом из них (таблицы 4.9–4.11)

Таблица 4.9 – Содержание основных элементов в покрытиях на основе электролитического хрома, % по массе

Элемент в покрытии	Базовое покрытие	Нанокомпозиционное	
	вазовое покрытие	покрытие	
Cr	91,96	79,32	
С	2,24	1,18	
Cl	1,12	1,27	
Fe	1,86	0,46	
0	0,34	3,53	
Al	_	2,79	

Таблица 4.10 – Содержание основных элементов в покрытиях на основе электролитического железа, % по массе

Элемент в покрытии	Базовое покрытие	Нанокомпозиционное	
	вазовое покрытие	покрытие	
Fe	85,18	80,55	
С	5,55	6,52	
0	6,15	7,45	
Cl	0,12	0,27	
Al	_	1,26	
N	_	0,95	

Элемент в покрытии	Базовое покрытие	Нанокомпозиционное покрытие	
Ni	74,07	62,19	
Р	19,83	10,56	
С	2,12	2,20	
K	_	2,40	
Ti	_	10,35	
0	2,26	6,59	
Al	_	1,24	

Таблица 4.11 – Содержание основных элементов в покрытиях на основе химического никеля, % по массе

Из данных, представленных в таблицах 4.9–4.11, видно, что помимо основного элемента хрома базовое покрытие содержит углерод, хлор, железо и кислород, а в нанокомпозиционном покрытии на основе хрома дополнительно присутствует алюминий в количестве 2,79 % по массе, которого нет в базовом покрытии. Базовое покрытие железа, помимо основного элемента – железа содержит углерод, хлор и кислород, а нанокомпозиционное покрытие на основе железа дополнительно содержит алюминий в количестве 1,26 % по массе и азот (0,95 %), которых нет в базовом покрытии. Базовое покрытие никеля кроме основных элементов никеля и фосфора содержит углерод и кислород, а нанокомпозиционное покрытие на основе и азот (2,40 % по массе), титан (10,35 %) и алюминий (1,24 %), которые отсутствуют в базовом покрытии.

Как видно из представленных данных, нанокомпозиционные гальванохимические покрытия содержат элементы добавляемых наноразмерных частиц, которые отсутствуют в базовых покрытиях.

Проведенные исследования элементного состава нанокомпозиционных и базовых покрытий подтверждают то, что наноразмерные частицы внедряются в покрытия, что дает возможность управлять физико-механическими свойствами

получаемых покрытий путем внедрения в них заданного количества наноразмерных частиц.

4.2.5 Результаты трибологических испытаний

Трибологические испытания образцов проводили на модернизированной машине трения МИ-1М, согласно методике представленной в параграфе 3.3.

Внешний вид образцов пар трения после проведения испытаний представлен на рисунке 4.23.



Рисунок 4.23 – Внешний вид образцов пар трения после проведения испытаний

Результаты лабораторных испытаний на износостойкость образцов без покрытий, с базовыми и нанокомпозиционными гальвано-химическими покрытиями на основе хрома, железа и никеля представлены на рисунках 4.24–4.26 соответственно.



Средний суммарный износ пары трения с нанокомпозиционным электролитическим покрытием на основе хрома при испытании на чистом топливе составил 8,9 мг, на загрязненном – 13,1 мг (рисунок 4.24).

У пары трения с базовым покрытием хрома средний суммарный износ при испытании на чистом топливе – 12,9 мг, на загрязненном – 24,2 мг, а у пары трения без покрытия – соответственно 18,7 и 28,8 мг. Средний суммарный износ по массе пары трения с нанокомпозиционным электролитическим покрытием на основе хрома при испытании на чистом дизельном топливе в 1,5 раза, на загрязненном – в 1,8 раза меньше, чем износ образцов с базовым покрытием хрома, и в 2,1–2,2 раза меньше износа пары трения без покрытия.

Средний суммарный износ пары трения с нанокомпозиционным электролитическим покрытием на основе железа при испытании на чистом масле составил 43,6 мг, на загрязненном – 62,1 мг (рисунок 4.25).



Испытания пары трения с базовым покрытием железа показали, что средний суммарный износ при испытании на чистом масле – 73,7 мг, на загрязненном – 100,6 мг, в то время как суммарный износ пары трения без покрытия – 56,7 и 83,8 мг соответственно.

Средний суммарный износ по массе пары трения с нанокомпозиционным электролитическим покрытием на основе железа при испытании на чистом масле в 1,7 раза, на загрязненном – в 1,6 раза меньше, чем износ образцов с базовым покрытием железа, и в 1,3 раза меньше износа пары трения без покрытия.

Средний суммарный износ пары трения с нанокомпозиционным химическим покрытием на основе никеля при испытании на чистом масле составил 36,3 мг, на загрязненном – 52,4 мг (рисунок 4.26). Испытания пары трения с базовым покрытием химического никеля показали, что средний суммарный износ при испытании на чистом масле – 65,4 мг, на загрязненном –

91,2 мг, в то время как суммарный износ пары трения без покрытия на чистом масле – 56,7 мг, на загрязненном – 83,8 мг.



🖾 пара трения без покрытия

🖾 пара трения с базовым покрытием никеля

□ пара трения с нанокомпозиционным покрытием на основе никеля

Рисунок 4.26 – Суммарный износ пар трения после проведения испытаний образцов с покрытиями на основе химического никеля

Средний суммарный износ по массе пары трения с нанокомпозиционным химическим покрытием на основе никеля при испытании на чистом масле в 1,8 раза, на загрязненном – в 1,7 раза меньше, чем износ образцов с базовым покрытием химического никеля, и в 1,6 раза меньше износа пары трения без покрытия.

На основании измерений износа по массе образцов после проведения трибологических испытаний были сформированы статистические ряды и построены графические зависимости, представленные в приложении Г. Измерениям подвергались по 24 образца без покрытий, с нанокомпозиционными и базовыми покрытиями.

По результатам измерений износа по массе образцов пар трения из стали ШХ15 после проведения испытаний на чистом дизельном топливе среднее квадратическое отклонение значений составило 0,22 (коэффициент вариации 0,27), а при испытании на загрязненном топливе – 0,15 (коэффициент вариации 0,266). После испытаний образцов с базовым покрытием хрома на чистом топливе среднее квадратическое отклонение 0,13 (коэффициент вариации 0,276), на загрязненном топливе – 0,16 (коэффициент вариации 0,292). По завершении испытаний образцов с нанокомпозиционным покрытием на основе хрома на чистом топливе среднее квадратическое отклонение 0,19 (коэффициент вариации 0,264), на загрязненном топливе – 0,15 (коэффициент вариации 0,264).

В результате измерений износа по массе образцов пар трения чугун СЧ20 – сталь 15Х после проведения испытаний на чистом масле среднее квадратическое отклонение значений составило 0,18 (коэффициент вариации 0,289), а при испытании на загрязненном масле – 0,1 (коэффициент вариации 0,266). После испытаний образцов с базовым покрытием железа на чистом масле среднее квадратическое отклонение 0,19 (коэффициент вариации 0,292), на загрязненном масле – 0,17 (коэффициент вариации 0,267). По завершении испытаний образцов с нанокомпозиционным покрытием на основе железа на чистом масле среднее квадратическое отклонение 0,13 (коэффициент вариации 0,227), на загрязненном масле – 0,12 (коэффициент вариации 0,284).

После испытаний образцов с базовым покрытием никеля на чистом масле среднее квадратическое отклонение 0,14 (коэффициент вариации 0,272), на загрязненном масле – 0,16 (коэффициент вариации 0,282). По завершении испытаний образцов с нанокомпозиционным покрытием на основе никеля на чистом масле среднее квадратическое отклонение 0,05 (коэффициент вариации 0,227), на загрязненном масле – 0,18 (коэффициент вариации 0,266).

Для выравнивания полученной опытной информации суммарного износа по массе всех образцов выбран закон нормального распределения, так как, во всех случаях, коэффициент вариации v < 0,3.

Из графиков, представленных в приложении Г, следует, что наибольшая вероятность значений суммарного износа образцов пар трения из стали ШХ15 наблюдается в интервале 18,52–18,78 мг при испытании на чистом дизельном топливе и 28,66–28,84 мг при испытании на загрязненном топливе, в то время как образцов с базовым покрытием хрома в интервалах 12,82–12,98 мг и 24,16–24,34 мг, а образцов с нанокомпозиционным покрытием на основе хрома 8,68–8,92 мг и 13,08–13,24 мг соответственно.

При испытании образцов пар трения чугун СЧ20 – сталь 15Х наибольшая вероятность значений суммарного износа наблюдается в интервале 56,68–56,82 мг при испытании на чистом масле и 83,74–83,86 мг при испытании на загрязненном масле, в то время как образцов с базовым покрытием железа в интервалах 73,64–73,86 мг и 100,44–100,66 мг, а образцов с нанокомпозиционным покрытием на основе железа 43,58–43,74 мг и 62,08–62,22 мг соответственно. При испытании образцов пар трения с базовым покрытием никеля наибольшая вероятность значений суммарного износа наблюдается в интервале 65,36–65,54 мг при испытании на чистом масле и 91,06–91,24 мг при испытании на загрязненном масле, в то время как образцов с нанокомпозиционным покрытием никеля в интервалах 36,28–36,34 мг и 52,24–52,46 мг соответственно.

Высокая износостойкость нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий объясняется их высокой микротвердостью, а также особенностями структуры. В частности, отсутствие трещин способствует тому, что не происходит скалывания покрытий в результате взаимодействия с абразивными частицами.

Таким образом, нанокомпозиционные гальвано-химические покрытия на основе хрома, железа и никеля по сравнению с соответствующими базовыми покрытиями обладают повышенной износостойкостью за счет внедрения в них наноразмерных частиц с высокой микротвердостью.

Как отмечалось в первой главе, большое влияние на износ ресурсоопределяющих деталей топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники оказывает коррозия.

Коррозионные испытания проводили согласно методике, представленной в параграфе 3.3. Результаты коррозионных испытаний представлены в таблице 4.12.

Образец	Масса образца до испытания, г	Масса образца после испытания, г	Потеря массы после испытаний, г		
Без покрытий	23,49	23,01	0,48		
Нанокомпозиционное электролитическое покрытие на основе хрома					
С базовым покрытием	24,68	24,55	0,13		
С нанокомпозиционным покрытием	25,47	25,39	0,07		
Нанокомпозиционное электролитическое покрытие на основе железа					
С базовым покрытием	27,64	26,77	0,87		
С нанокомпозиционным покрытием	29,12	28,59	0,53		
Нанокомпозиционное химическое покрытие на основе никеля					
С базовым покрытием	32,64	32,30	0,34		
С нанокомпозиционным покрытием	31,18	30,91	0,27		

Таблица 4.12 – Результаты коррозионных испытаний

Установлено, что во всех случаях коррозионная стойкость нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий выше базовых. Так, потеря

массы образцов без покрытий в среднем составила 0,48 г, с базовым покрытием хрома – 0,13 г, с нанокомпозиционным электролитическим покрытием на основе хрома – 0,07 г, с базовым покрытием железа – 0,87 г, с нанокомпозиционным электролитическим покрытием на основе железа – 0,53 г, с базовым покрытием химического никеля – 0,34 г, с нанокомпозиционным химическим покрытием на основе никеля – 0,27 г.

В результате проведенных исследований можно сделать вывод о том, что коррозионная стойкость нанокомпозиционного электролитического покрытия в среднем в 1,86 раза, нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе железа выше коррозионной стойкости базового покрытия железа в среднем в 1,64 раза, а коррозионная стойкость нанокомпозиционного покрытия на основе химического никеля выше коррозионной стойкость базового покрытия в среднем в 1,26 раза.

Кроме того установлено, что коррозионная стойкость нанокомпозиционного покрытия на основе железа ниже коррозионной стойкости стали 15Х в 1,1 раза, а нанокомпозиционные покрытия на основе хрома и химического никеля обладают коррозионной стойкостью, превышающей коррозионную стойкость стали 15Х в 6,86 и 1,78 раза соответственно.

Увеличение коррозионной стойкости нанокомпозиционных гальванохимических покрытий можно объяснить следующим образом. Поскольку коррозионные процессы начинаются на открытых поверхностях, то более плотная структура, обусловленная субмикропластическими деформациями матрицы вокруг наноразмерных частиц, будет препятствовать распространению коррозии в глубину покрытия за счет отсутствия в нем трещин и пор.

4.3 Результаты стендовых испытаний

4.3.1 Результаты стендовых испытаний топливных насосов высокого давления

Стендовые испытания ТНВД с серийными и восстановленными базовым и нанокомпозиционным хромированием плунжерными парами проводили на стенде КИ-22205-01 ГОСНИТИ по методике, изложенной в параграфе 3.4.

Предельным значением, ограничивающим работоспособность плунжерных пар ТНВД ЯМЗ-238НДЗ, являлась пусковая цикловая подача топлива, которая не должна быть ниже 180 мм³/цикл [149].

Изменение цикловой пусковой подачи плунжерных пар ТНВД ЯМЗ-238НДЗ во время прохождения испытаний представлено на рисунке 4.27.

B результате проведения испытаний было установлено, что все испытываемые ТНВД не достигли предельного состояния. Из представленных на рисунке 4.27 данных видно, что по окончании испытаний цикловая пусковая плунжерных подача пар, восстановленных нанокомпозиционным электролитическим хромированием, снизилась с 210 до 194 мм³/цикл, или в среднем на 7,6 %, в то время как восстановленных базовым хромированием – с 210 до 188 мм³/цикл (в среднем на 10,5 %), а серийных – с 210 до 181 мм³/цикл (в среднем на 13,8 %).

В сравнении с серийными плунжерными парами, восстановление пары с применением нанокомпозиционного электролитического хромирования позволяет уменьшить интенсивность снижения цикловой пусковой подачи в среднем на 7,2 %.

Гидроплотность плунжерной пары характеризует величину утечек топлива через зазоры в ней и косвенно позволяет судить о наличии износа. После испытаний гидроплотность плунжерных пар, восстановленных нанокомпозиционным электролитическим хромированием, составила в среднем 18 с, восстановленных базовым электролитическим хромированием – 16 с,





- серийные плунжерные пары
- Полиномиальная (нанокомпозиционное хромирование)
- —Полиномиальная (базовое хромирование)
- —Полиномиальная (серийные плунжерные пары)

Рисунок 4.27 – Изменение пусковой цикловой подачи топлива в процессе стендовых испытаний ТНВД дизеля ЯМЗ-238НД3

После проведения стендовых испытаний и разборки ТНВД следов задиров и схватывания на рабочих поверхностях плунжерных пар обнаружено не было.

4.3.2 Результаты стендовых испытаний гидрораспределителей Р160

Стендовые испытания гидрораспределителей с серийными и восстановленными базовым и нанокомпозиционным электролитическим железнением золотниковыми парами проводили на стенде КИ-4815M, согласно методике изложенной в параграфе 3.4.

Предельным значением, ограничивающим работоспособность гидрораспределителя Р160, являлась величина утечек, которая не должна превышать 40 см³/мин [148].

Результаты стендовых испытаний гидрораспределителей Р160 представлены на рисунке 4.28.

B результате проведения испытаний было установлено, что все испытываемые гидрораспределители не достигли предельного состояния. По окончании испытаний величина утечек у гидрораспределителей с золотниковыми нанокомпозиционным электролитическим парами, восстановленными железнением, составила в среднем 19,6 см³/мин, что в 1,7 раза меньше, чем в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены базовым электролитическим железнением, И В 1,3 раза меньше, чем В гидрораспределителях с серийными золотниками.

После проведения стендовых испытаний и разборки гидрораспределителей следов задиров и схватывания на рабочих поверхностях золотниковых пар обнаружено не было.

4.3.3 Результаты стендовых испытаний гидрораспределителей Р80

Предельным значением, ограничивающим работоспособность гидрораспределителя P80, являлась величина утечек, которая не должна превышать 25 см³/мин [148].

199



—Полиномиальная (серийные золотники)

Рисунок 4.28 – Изменение утечек в золотниковых парах в процессе стендовых испытаний гидрораспределителей Р160

Результаты стендовых испытаний гидрораспределителей Р80 представлены на рисунке 4.29.

В результате проведения испытаний было установлено, что все испытываемые гидрораспределители не достигли предельного состояния. По окончании испытаний величина утечек у гидрораспределителей с золотниковыми парами, восстановленными нанокомпозиционным химическим никелированием,

14,6 см³/мин, что в 1,6 раза меньше, среднем составила В чем В гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены базовым химическим никелированием, и в 1,5 раза меньше, чем в гидрораспределителях с серийными золотниками.



- нанокомпозиционное никелирование
- базовое никелирование
- серийные золотники
- Полиномиальная (нанокомпозиционное никелирование)
- —Полиномиальная (базовое никелирование)
- -Полиномиальная (серийные золотники)

Рисунок 4.29 – Изменение утечек в золотниковых парах в процессе

стендовых испытаний гидрораспределителей Р80

После проведения стендовых испытаний и разборки гидрораспределителей следов задиров и схватывания на рабочих поверхностях золотниковых пар обнаружено не было.

4.3.4 Анализ результатов стендовых испытаний

По результатам стендовых испытаний, согласно РД 50-690-89 [175], были сформированы статистические ряды и построены графические зависимости, представленные в приложении Д.

После проведенных испытаний и замеров пусковой цикловой подачи топлива серийных плунжерных пар среднее квадратическое отклонение значений составило 0,7 (коэффициент вариации 0,282), плунжерных пар с базовым покрытием хрома – 0,84 (коэффициент вариации 0,284), плунжерных пар с нанокомпозиционным покрытием хрома – 0,95 (коэффициент вариации 0,267).

В результате проведения испытаний гидрораспределителей Р160 среднее квадратическое отклонение значений утечек серийных золотниковых пар составило 0,41 (коэффициент вариации 0,298), золотниковых пар с базовым покрытием железа – 0,16 (коэффициент вариации 0,282), золотниковых пар с нанокомпозиционным покрытием железа – 0,19 (коэффициент вариации 0,291).

По окончании проведения испытаний гидрораспределителей P80 среднее квадратическое отклонение значений утечек серийных золотниковых пар составило 0,25 (коэффициент вариации 0,282), золотниковых пар с базовым покрытием никеля – 0,14 (коэффициент вариации 0,298), золотниковых пар с нанокомпозиционным покрытием никеля – 0,1 (коэффициент вариации 0,291).

Для выравнивания полученной опытной информации результатов стендовых испытаний выбран закон нормального распределения, так как, во всех случаях, коэффициент вариации *v* < 0,3.

Из графиков, представленных в приложении Д, следует, что после проведения стендовых испытаний, наибольшая вероятность значений пусковой цикловой подачи топлива серийных плунжерных пар наблюдается в интервале 180,6–181,4 мм³/цикл, в то время как у плунжерных пар с базовым покрытием хрома в интервале 188–189 мм³/цикл, а у плунжерных пар с нанокомпозиционным покрытием на основе хрома – 193,4–194,6 мм³/цикл.

По окончании испытаний серийных золотниковых пар гидрораспределителей Р160 наибольшая вероятность значений утечек наблюдается в интервале 24,32–24,78 см³/мин, в то время как у золотниковых пар с базовым покрытием железа в интервале 34,06–34,24 см³/мин, а у золотниковых пар с нанокомпозиционным покрытием на основе железа – 19,54–19,76 см³/мин.

В результате испытаний серийных золотниковых пар гидрораспределителей Р80 наибольшая вероятность значений утечек наблюдается в интервале 21,56–21,84 см³/мин, в то время как у золотниковых пар с базовым покрытием никеля в интервале 23,02–23,18 см³/мин, а у золотниковых пар с нанокомпозиционным покрытием на основе никеля – 14,54–14,66 см³/мин.

На основании проведенных испытаний, по корреляционным признакам можно предположить о повышение ресурса агрегатов с плунжерными и золотниковыми парами, восстановленными нанокомпозиционными гальванохимическими покрытиями, по сравнению с серийными и восстановленными базовыми покрытиями.

Менее интенсивное снижение пусковой цикловой подачи топлива плунжерными парами, восстановленными нанокомпозиционным хромированием И менее интенсивное увеличение утечек через золотниковые пары, восстановленные нанокомпозиционными железнением и никелированием можно объяснить более высокой микротвердостью и износостойкостью поверхностных слоев плунжера и золотника. За счет этого в сопряжениях сохраняется более стабильная величина зазора по сравнению с плунжерными и золотниковыми парами, восстановленными базовыми покрытиями, и серийными.

Данными испытаниями подтверждается эффективность повышения микротвердости и износостойкости прецизионных деталей для увеличения ресурса агрегатов сельскохозяйственной техники.

Результаты стендовых испытаний агрегатов подтверждены соответствующими актами (см. приложение Е).

4.4 Результаты эксплуатационных испытаний

4.4.1 Результаты эксплуатационных испытаний топливных насосов высокого давления

Эксплуатационные сравнительные испытания ТНВД проводили в ИП Глава КФХ «Волков В.В.» и ООО «Агрофирма «Рубеж» на тракторах К-700А выполняющих различные сельскохозяйственные работы, согласно методике представленной в параграфе 3.5.

В результате проведенных испытаний были получены значения пусковых цикловых подач топлива плунжерными парами через определенные равные промежутки времени. Результаты эксплуатационных испытаний ТНВД дизеля ЯМЗ-238НДЗ представлены на рисунке 4.30. В результате проведения испытаний было установлено, что все испытываемые ТНВД не достигли предельного состояния, ограничивающегося величиной пусковой цикловой подачи – 180 мм³/цикл.

При наработке порядка 2000 мото-ч, пусковая цикловая подача серийных плунжерных пар снизилась с 210 до 202 мм³/цикл, или в среднем на 3,8 %, в то время как восстановленных базовым хромированием – с 210 до 202,8 мм³/цикл (в среднем на 3,4 %), а нанокомпозиционным электролитическим хромированием – с 210 до 204,3 мм³/цикл (в среднем на 2,7 %). Снижение пусковой цикловой подачи ТНВД с топлива У плунжерными парами, восстановленными нанокомпозиционным электролитическим хромированием, в среднем в 1,1 раза меньше, чем у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными базовым хромированием, и в 1,4 раза меньше, чем у ТНВД с серийными плунжерными парами.



- —Полиномиальная (нанокомпозиционное хромирование)
- —Полиномиальная (базовое хромирование)
- Полиномиальная (серийные плунжерные пары)

Рисунок 4.30 – Изменение пусковой цикловой подачи топлива в процессе эксплуатационных испытаний ТНВД дизеля ЯМЗ-238НДЗ

После проведения эксплуатационных испытаний и разборки ТНВД, осмотр экспериментальных плунжерных пар показал отсутствие следов схватывания, задиров и коррозии на рабочих поверхностях.

4.4.2 Результаты эксплуатационных испытаний гидрораспределителей Р160

Эксплуатационные сравнительные испытания гидрораспределителей Р160 проводили в ИП Глава КФХ «Волков В.В.» и ООО «Агрофирма «Рубеж», согласно методике изложенной в параграфе 3.5. Результаты эксплуатационных испытаний гидрораспределителей Р160 представлены на рисунке 4.31.



—Полиномиальная (серийные золотники)

Рисунок 4.31 – Изменение утечек в золотниковых парах

в процессе эксплуатационных испытаний гидрораспределителей Р160

При наработке тракторов примерно 2000 мото-ч среднее значение величины утечек в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены нанокомпозиционным электролитическим железнением, составило в среднем 17,1 см³/мин, базовым железнением – в среднем 30,3 см³/мин, с серийными золотниками – в среднем 21,0 см³/мин. Утечки в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены нанокомпозиционным электролитическим железнением в 1,8 раза меньше, чем в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены базовым железнением, и в 1,2 раза меньше, чем в гидрораспределителях с серийными золотниками.

На протяжении всего периода испытаний отказов опытных гидрораспределителей зафиксировано не было. Ни один из них не достиг предельного состояния, характеризующегося величиной утечек 40 см³/мин.

4.4.3 Результаты эксплуатационных испытаний гидрораспределителей Р80

Результаты эксплуатационных испытаний гидрораспределителей Р80 представлены на рисунке 4.32.

На протяжении всего периода испытаний отказов опытных гидрораспределителей зафиксировано не было.

Ни один гидрораспределитель не достиг предельного состояния, характеризующегося величиной утечек 25 см³/мин.

При наработке тракторов порядка 2000 мото-ч среднее значение величины утечек в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены нанокомпозиционным химическим никелированием, составило в среднем 10,0 см³/мин, базовым химическим никелированием – в среднем 15,1 см³/мин, с серийными золотниками – в среднем 13,1 см³/мин. Утечки в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены нанокомпозиционным химическим никелированием, в среднем в 1,5 раза меньше,

чем в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены базовым химическим никелированием, и в 1,3 раза меньше, чем в гидрораспределителях с серийными золотниками.



• нанокомпозиционное никелирование

- базовое никелирование
- серийные золотники
- Полиномиальная (нанокомпозиционное никелирование)
- Полиномиальная (базовое никелирование)
 - -Полиномиальная (серийные золотники)

Рисунок 4.32 – Изменение утечек в золотниковых парах в процессе

эксплуатационных испытаний гидрораспределителей Р80

4.4.4 Анализ результатов эксплуатационных испытаний

По результатам эксплуатационных испытаний, согласно РД 50-690-89 [175], были сформированы статистические ряды и построены графические зависимости, представленные в приложении Ж.

После проведенных испытаний и замеров пусковой цикловой подачи топлива серийных плунжерных пар среднее квадратическое отклонение значений составило 0,26 (коэффициент вариации 0,297), плунжерных пар с базовым покрытием хрома – 0,21 (коэффициент вариации 0,289), плунжерных пар с нанокомпозиционным покрытием хрома – 0,27 (коэффициент вариации 0,284).

В результате проведения испытаний гидрораспределителей Р160 среднее квадратическое отклонение значений утечек серийных золотниковых пар составило 0,21 (коэффициент вариации 0,291), золотниковых пар с базовым покрытием железа – 0,13 (коэффициент вариации 0,298), золотниковых пар с нанокомпозиционным покрытием железа – 0,14 (коэффициент вариации 0,282).

По окончании проведения испытаний гидрораспределителей P80 среднее квадратическое отклонение значений утечек серийных золотниковых пар составило 0,12 (коэффициент вариации 0,298), золотниковых пар с базовым покрытием никеля – 0,07 (коэффициент вариации 0,291), золотниковых пар с нанокомпозиционным покрытием никеля – 0,16 (коэффициент вариации 0,284).

Для выравнивания полученной опытной информации результатов эксплуатационных испытаний выбран закон нормального распределения, так как, во всех случаях, коэффициент вариации *v* < 0,3.

Из графиков, представленных в приложении Ж, следует, что после проведения эксплуатационных испытаний, наибольшая вероятность значений пусковой цикловой подачи топлива серийных плунжерных пар наблюдается в интервале 201,76–202,04 мм³/цикл, в то время как у плунжерных пар с базовым покрытием хрома в интервале 202,68–202,92 мм³/цикл, а у плунжерных пар с нанокомпозиционным покрытием на основе хрома – 204,04–204,36 мм³/цикл.

По окончании испытаний серийных золотниковых пар гидрораспределителей Р160 наибольшая вероятность значений утечек наблюдается в интервале 20,88–21,12 см³/мин, в то время как у золотниковых пар с базовым покрытием железа в интервале 30,28–30,42 см³/мин, а у золотниковых пар с нанокомпозиционным покрытием на основе железа – 17,02–17,18 см³/мин.

В результате испытаний серийных золотниковых пар гидрораспределителей Р80 наибольшая вероятность значений утечек наблюдается в интервале 12,98–13,12 см³/мин, в то время как у золотниковых пар с базовым покрытием никеля в интервале 15,06–15,14 см³/мин, а у золотниковых пар с нанокомпозиционным покрытием на основе никеля – 9,96–10,14 см³/мин.

Результаты эксплуатационных испытаний хорошо согласуются С результатами лабораторных и стендовых испытаний и можно проследить определенные закономерности. Так нанокомпозиционное электролитическое покрытие на основе хрома обладая микротвердостью 14,32 ГПа, в 1,48 раза выше микротвердости базового покрытия на основе хрома и в 2,1 раза выше твердости стали ШХ15, так же обладает износостойкостью выше износостойкости базового покрытия хрома в среднем в 1,65 раза и выше износостойкости стали ШХ15 в среднем в 2,15 раза. Плунжерные пары, восстановленные с применением нанокомпозиционного электролитического хромирования, по результатам стендовых и эксплуатационных испытаний, так же показали меньшее снижение пусковой цикловой подачи топлива по сравнению с плунжерными парами, восстановленными базовым хромированием и серийными.

Нанокомпозиционное электролитическое покрытие на основе железа обладая микротвердостью 7,28 ГПа, в 1,24 раза выше микротвердости базового покрытия на основе железа и в 1,12 раза выше твердости стали 15Х, так же обладает износостойкостью выше износостойкости базового покрытия железа в среднем в 1,65 раза и выше износостойкости стали 15Х в среднем в 1,3 раза. Золотниковые пары гидрораспределителей Р160, восстановленные с применением нанокомпозиционного электролитического железнения, по результатам стендовых и эксплуатационных испытаний, так же показали меньшее значение

210

величины утечек по сравнению с золотниковыми парами восстановленными базовым железнением и серийными.

Нанокомпозиционное химическое покрытие на основе никеля обладая микротвердостью 9,64 ГПа, в 1,85 раза выше микротвердости базового покрытия на основе никеля и в 1,48 раза выше твердости стали 15Х, так же обладает износостойкостью выше износостойкости базового покрытия никеля в среднем в 1,75 раза и выше износостойкости стали 15Х в среднем в 1,6 раза. Золотниковые пары гидрораспределителей P80, восстановленные с применением нанокомпозиционного химического никелирования, по результатам стендовых и эксплуатационных испытаний, так же показали меньшее значение величины утечек по сравнению с золотниковыми парами восстановленными базовым железнением и серийными.

Такие закономерности свидетельствуют о повышении долговечности плунжерных И золотниковых пар восстановленных с применением нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий, по сравнению С плунжерными и золотниковыми парами, восстановленными с применением базовых покрытий и серийными.

Результаты эксплуатационных испытаний агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры подтверждены соответствующими актами (см. приложение 3).

4.5 Прогнозирование остаточного ресурса агрегатов

Целью любого прогнозирования является выявление текущей тенденции, и определение предполагаемого результата в отношении изучаемого объекта на определенный момент времени в будущем.

Для прогнозирования остаточных ресурсов агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники был выбран динамический графический метод с помощью программы Microsoft Excel.

211

Графическое прогнозирование осуществляли путем экстраполяции, выполненной построением линии тренда.

Вид аппроксимации данных – полиномиальный 3-й степени.

Прогнозирование проводили по данным эксплуатационных испытаний. Результаты представлены на рисунках 4.33–4.35.

В результате построения графических зависимостей были получены соответствующие уравнения и определена достоверность аппроксимации каждого уравнения R^2 (см. рисунки 4.33–4.35).

Принято считать, что при коэффициенте R^2 , превышающем 0,85, линия тренда является достоверной. Как видно из данных, представленных на графиках, во всех случаях линии тренда являются достоверными.

Ресурс плунжерных пар ТНВД дизеля ЯМЗ-238НДЗ лимитирован минимальным значением пусковой цикловой подачи топлива 180 мм³/цикл, гидрораспределителей Р160 – максимальным значением утечек 40 см³/мин, гидрораспределителей Р80 – максимальным значением утечек 25 см³/мин.

Полученные значения прогнозируемого ресурса сравнивали с теоретическими значениями, определенными по формуле (2.43).

Из представленных данных видно, что прогнозируемый ресурс ТНВД дизеля ЯМЗ-238НДЗ с плунжерными парами, восстановленными с применением нанокомпозиционного хромирования, в среднем составляет 7706 мото-ч, что в 1,39 раза больше, чем у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными с применением базового хромирования, и в 1,67 раза больше, чем у ТНВД с серийными плунжерными парами.

У гидрораспределителей Р160 с золотниковыми парами, восстановленными с применением нанокомпозиционного электролитического железнения, прогнозируемый ресурс в среднем составляет 3971 мото-ч, что в 1,55 раза больше, чем у гидрораспределителей, золотниковые пары которых восстановлены с применением базового железнения, и в 1,17 раза больше, чем у серийных гидрораспределителей.



Рисунок 4.33 – Прогнозирование ресурса ТНВД дизеля ЯМЗ-238НД3



- нанокомпозиционное железнение
- базовое железнение
- серийные золотники
- Теоретич. pecypc P160 с золотниковыми парами восстановленными нанокомпоз. железнением
 - Teopeтич. ресурс P160 с золотниковыми парами восстановленными базовым железнением
 - Теоретич. ресурс Р160 с серийными золотниковыми парами
 - Полиномиальная (нанокомпозиционное железнение)
- Полиномиальная (базовое железнение)
- Полиномиальная (серийные золотники)

Рисунок 4.34 – Прогнозирование ресурса гидрораспределителей Р160



- - базовое никелирование
- серийные золотники
- Teopeтич. pecypc P80 с золотниковыми парами восстановленными нанокомпоз. никелированием
 - Teopeтич. pecypc P80 с золотниковыми парами восстановленными базовым никелированием I
 - Теоретич. ресурс P80 с серийными золотниковыми парами I
 - Полиномиальная (нанокомпозиционное никелирование)
 - Полиномиальная (базовое никелирование)
- Полиномиальная (серийные золотники)

Рисунок 4.35 – Прогнозирование ресурса гидрораспределителей Р80

Прогнозируемый ресурс гидрораспределителей P80, золотниковые пары которых восстановлены с применением нанокомпозиционного химического никелирования, в среднем составляет 4917 мото-ч, что в 1,7 раза больше, чем у гидрораспределителей, золотниковые пары которых восстановлены с применением базового химического никелирования, и в 1,42 раза больше, чем у серийных гидрораспределителей.

Теоретически рассчитанное значение ресурса ТНВД дизелелей ЯМЗ-238НДЗ с плунжерными парами, восстановленными с применением нанокомпозиционного электролитического хромирования составило 7390 мото-ч, с плунжерными парами, восстановленными базовым хромированием – 5260 моточ, с серийными плунжерными парами – 4900 мото-ч.

Теоретически рассчитанное значение ресурса гидрораспределителей Р160 с золотниковыми парами, восстановленными с применением нанокомпозиционного электролитического железнения составило 4150 мото-ч, с золотниковыми парами, восстановленными базовым железнением – 2700 мото-ч, с серийными золотниковыми парами – 3200 мото-ч.

Теоретически рассчитанное значение ресурса гидрораспределителей Р80 с золотниковыми парами, восстановленными с применением нанокомпозиционного химического никелирования составило 4650 мото-ч, с золотниковыми парами, восстановленными базовым никелированием – 2750 мото-ч, с серийными золотниковыми парами – 3600 мото-ч.

Теоретически рассчитанные значения ресурсов агрегатов хорошо согласуются с прогнозируемыми, расхождения не превышают 6 %, что позволяет сделать вывод о справедливости предложенной теоретической модели.

4.6 Выводы по четвертой главе

1. Проведенные лабораторные исследования позволили установить наноразмерные материалы, позволяющие получать покрытия с повышенными значениями микротвердости и износостойкости, экспериментально
подтверждающие теоретические предпосылки о повышение микротвердости покрытий. Для нанокомпозиционного покрытия на основе хрома наноразмерный порошок оксида алюминия, для нанокомпозиционного покрытия железа – наноразмерный порошок нитрида на основе алюминия, ЛЛЯ нанокомпозиционного покрытия на основе химического никеля – смесь наноразмерных порошков оксида алюминия и полититаната калия.

2. В результате математического планирования экспериментов были определены режимы нанесения покрытий и концентрации наноразмерных Наибольшая порошков В электролитах И растворах. микротвердость нанокомпозиционного покрытия на основе хрома 14,32 ГПа была достигнута при температуре электролита 50 °C, плотности тока 59 А/дм² и концентрации частиц наноразмерной фазы в электролите 3,2 г/л. Это в 1,48 раза выше микротвердости базового покрытия на основе хрома и в 2,1 раза выше твердости стали ШХ15. Наибольшая микротвердость нанокомпозиционного покрытия на основе железа обеспечивалась при температуре электролита 70 °C, плотности тока 21 А/дм² и концентрации частиц наноразмерной фазы в электролите 3,1 г/л и составила 7,28 ГПа, что в 1,24 раза выше микротвердости базового покрытия на основе железа и раза твердости стали 15X. Наибольшая В 1,12 выше микротвердость нанокомпозиционного покрытия на основе химического никеля 9,64 ГПа была получена при концентрации частиц оксида алюминия 3,2 г/л, концентрации частиц полититаната калия 4,1 г/л и температуре последующей термической обработки 350 °C, что в 1,85 раза превысила микротвердость базового покрытия химического никеля и в 1,48 раза твердость стали 15Х.

3. Прочность сцепления нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля с основным металлом превышает прочность слоя самих покрытий на разрыв и удовлетворяет требованиям ГОСТ 9.302–88.

4. Исследования морфологии и структуры покрытий позволили установить, что поверхности нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий значительно отличаются от поверхностей соответствующих базовых

217

покрытий. Базовые покрытия не имеют на своей поверхности каких-либо включений. Нанокомпозиционные гальвано-химические покрытия имеют большое количество включений различного размера по всей поверхности и визуально более плотную структуру.

Средний размер зерна у базового покрытия хрома составил 1,1 · 10⁻⁴ см, что соответствовало плотности дислокаций 2,5 · 10⁸ см⁻² и микротвердости 9,6 ГПа, в то время как у нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе хрома средний размер зерна 7,2 · 10⁻⁵ см, что соответствовало плотности дислокаций 5,7 · 10⁸ и микротвердости 14,32 ГПа. У базового покрытия железа средний размер зерна составил 5,5 · 10⁻⁴ см, что соответствовало плотности дислокаций 9,9·10⁶ см⁻² и микротвердости 5,86 ГПа, в то время как у нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе железа средний размер зерна $2,6 \cdot 10^{-4}$ см, что соответствовало плотности дислокаций $4,4 \cdot 10^{7}$ и микротвердости 7,28 ГПа. У базового покрытия химического никеля средний размер зерна составил 2,8 · 10⁻⁴ см, что соответствовало плотности дислокаций $3.8 \cdot 10^7$ см⁻² и микротвердости 5,22 ГПа, в то время как у нанокомпозиционного химического покрытия на основе никеля средний размер зерна 9,6 · 10⁻⁵ см, что соответствовало плотности дислокаций 3,2·10⁸ и микротвердости 9,64 ГПа. Уменьшение размера зерна покрытий приводит к увеличению плотности дислокаций и их микротвердости, что подтверждает доводы, изложенные во второй главе и указывает на справедливость предложенной теоретической модели образования и упрочнения нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий.

Анализ спектрограмм, полученных в результате эмиссионного анализа образцов с покрытиями показал, что нанокомпозиционные гальвано-химические покрытия, содержат элементы наноразмерных частиц, применяемых для получения соответствующие покрытий, которые отсутствуют в базовых покрытиях. Это подтверждает то, что наноразмерные частицы внедряются в покрытия, что дает возможность управлять физико-механическими свойствами получаемых покрытий путем внедрения в них заданного количества наноразмерных частиц.

5. В результате проведенных лабораторных испытаний на износостойкость установлено, что нанокомпозиционные электролитические покрытия на основе хрома обладают износостойкостью в 1,5-1,8 раза выше износостойкости базовых покрытий хрома и в 2,1–2,2 раза выше износостойкости стали ШХ15. У нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе железа износостойкость в 1,6-1,7 раза выше износостойкости базовых покрытий железа и в 1,3 раза выше износостойкости стали 15Х. Нанокомпозиционные покрытия на основе химического никеля обладают износостойкостью в 1,7-1,8 раза выше износостойкости базовых покрытий химического никеля и в 1,6 раза износостойкости стали 15X. Таким образом, нанокомпозиционные выше гальвано-химические покрытия на основе хрома, железа и никеля по сравнению с соответствующими базовыми покрытиями обладают повышенной износостойкостью за счет внедрения в них наноразмерных частиц с высокой микротвердостью.

6. Ha проведенных коррозионных испытаний было основании установлено, что коррозионная стойкость нанокомпозиционного покрытия на основе хрома выше коррозионной стойкости базового покрытия хрома в 1,86 раза, коррозионная стойкость нанокомпозиционного покрытия на основе железа выше коррозионной стойкости базового покрытия железа в 1,64 раза, а коррозионная стойкость нанокомпозиционного покрытия на основе химического никеля выше коррозионной стойкости базового покрытия химического никеля в 1,26 раза. Кроме того установлено, что нанокомпозиционные покрытия на основе хрома и обладают коррозионной стойкостью химического никеля превышающей коррозионную стойкость стали 15Х в 6,86 и 1,78 раза соответственно.

7. По результатам стендовых испытаний снижение пусковой цикловой подачи топлива у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными нанокомпозиционным электролитическим хромированием, в среднем в 1,4 раза

меньше, чем у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными базовым хромированием, и в 1,8 раза меньше, чем у ТНВД с серийными плунжерными парами. У гидрораспределителей Р160 утечки в золотниковых парах, которые были восстановлены с применением нанокомпозиционного электролитического железнения, в среднем в 1,7 раза меньше, чем в золотниковых парах, восстановленных с применением базового железнения, и в 1,3 раза меньше, чем в У гидрораспределителях серийными золотниковыми парами. С гидрораспределителей Р80 утечки в золотниковых парах, восстановленных с применением нанокомпозиционного химического никелирования, в среднем в 1,6 раза меньше, чем в золотниковых парах, которые были восстановлены с применением базового химического никелирования, и в 1,5 раза меньше, чем в гидрораспределителях с серийными золотниками.

8. Проведенные эксплуатационные испытания тракторов ДТ-75М, МТЗ-80, Т-150К, К-700А позволили установить, что по окончании испытаний ТНВД дизелей ЯМЗ-238НДЗ снижение пусковой цикловой подачи топлива у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными с применением нанокомпозиционного электролитического хромирования, в среднем в 1,1 раза меньше, чем у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными с применением базового хромирования, и в 1,4 раза меньше, чем у ТНВД с серийными плунжерными парами. Утечки в гидрораспределителях Р160, золотниковые пары которых были восстановлены с применением нанокомпозиционного электролитического железнения, в среднем в 1,8 раза меньше, чем в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены с применением базового железнения, и в 1,2 раза меньше, чем в гидрораспределителях С серийными золотниковыми Утечки парами. В гидрораспределителях Р80, золотниковые пары которых были восстановлены с применением нанокомпозиционного химического никелирования, в среднем в 1,5 раза меньше, чем в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены с применением базового химического никелирования, и в 1,3 раза меньше, чем в гидрораспределителях с серийными золотниками.

220

9. Ha основании результатов эксплуатационных испытаний спрогнозированы остаточные ресурсы агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники. Прогнозируемый ресурс ТНВД дизелей ЯМЗ-238НДЗ с плунжерными парами, восстановленными с применением нанокомпозиционного электролитического хромирования, в среднем составляет 7706 мото-ч, что в 1,39 раза больше, чем у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными с применением базового хромирования, и в 1,67 раза больше, чем у ТНВД с серийными плунжерными парами. У гидрораспределителей Р160 с золотниковыми парами, восстановленными с применением нанокомпозиционного электролитического железнения, прогнозируемый ресурс в среднем составляет 3971 мото-ч, что в 1,55 раза больше, чем у гидрораспределителей, золотниковые пары которых восстановлены с применением базового железнения, и в 1,17 раза больше, чем у серийных гидрораспределителей. У гидрораспределителей Р80, золотниковые пары которых восстановлены c применением нанокомпозиционного химического никелирования, прогнозируемый ресурс в 1.7 среднем составляет 4917 мото-ч, что В раза больше, чем y гидрораспределителей, золотниковые пары которых восстановлены С применением базового химического никелирования, и в 1,42 раза больше, чем у серийных гидрораспределителей. Теоретически установленные значения ресурса хорошо согласуются с прогнозируемыми, расхождения не превышают 6 %, что позволяет сделать вывод о справедливости предложенной теоретической модели pecypca агрегатов сельскохозяйственной техники прогнозирования путем повышения твердости и износостойкости рабочих поверхностей прецизионных деталей нанокомпозиционными гальвано-химическими покрытиями.

5 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛУНЖЕРНЫХ И ЗОЛОТНИКОВЫХ ПАР И ОЦЕНКА ИХ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

На основании результатов исследований, представленных в предыдущих главах, можно судить о достаточно широких возможностях нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля. Применение разработанных теоретических и технологических решений дает возможность обладающие повышенными получать покрытия, физико-механическими свойствами, а также прогнозировать ресурсы сопряжений, восстановленных с применением исследованных в работе покрытий. Это позволяет сделать вывод о необходимости внедрения данных процессов на производстве для восстановления прецизионных деталей топливной И гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники.

5.1 Рекомендации по получению нанокомпозиционных гальванохимических покрытий на основе хрома, железа и никеля

Материалы, применяемые при нанесении нанокомпозиционных гальванохимических покрытий на основе хрома, железа и никеля, должны удовлетворять требованиям соответствующих стандартов [49, 53, 56–58, 60–61, 67, 69].

При нанесении покрытий на детали, имеющие острые кромки, рекомендуется применять вспомогательные катоды с целью исключения образования дендритных наростов.

Для повышения производительности и безопасности труда детали необходимо подвешивать на специальные подвесные приспособления, к которым предъявляют следующие требования:

 токопроводящие части подвесных приспособлений должны иметь достаточное сечение, чтобы не было заметного нагрева контактов приспособлений; • подвесные приспособления необходимо изготавливать из материалов, имеющих высокую электропроводность;

• их поверхности должны быть чистыми и стойкими к агрессивным средам;

• все участки подвесных приспособлений следует изолировать от контактирования с химическими растворами и электролитами;

• подвесные приспособления рекомендуется изготавливать, обеспечивая надежное закрепление покрываемых деталей и подачу на них тока;

• детали монтировать на подвесные приспособления, не допуская загрязнений поверхностей, подлежащих покрытию.

После загрузки деталей в рабочую ванну, процесс следует выдерживать без тока в течение 2–3 мин для прогрева поверхностей деталей.

С целью избежания осаждения покрытия на зоны, не подлежащие осаждению, их необходимо изолировать. Для изоляции поверхности от покрытия рекомендуется применять перхлорвиниловые эмали ХВ-1100, ХВ-124, ПХВ-29, хлорвиниловый лак ХВЛ-21, бутилметакриловый лак АК-113Ф, эпоксидный лак Э-4100, ленты из поливинилхлоридного пластика или самоклеющиеся гальванотехнические ленты SC-1 и GSV-1. После нанесения изоляции тщательно высушить ее в сушильном шкафу.

Для приготовления рабочих электролитов и растворов следует использовать дистиллированную воду.

Контроль электролита-суспензии для нанесения нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе хрома нужно проводить не реже одного раза в 10 дней, контроль содержания железа и меди – не реже одного раза в месяц. Допускается содержание железа до 15 г/л, меди – до 5 г/л. Корректировку электролита рекомендуется осуществлять после хромирования на толщину слоя 50 мкм на 50 дм² поверхности в 1 л электролита или при получении матового осадка хрома.

Контроль электролита-суспензии для нанесения нанокомпозиционных электролитических покрытий на основе железа необходимо проводить ежесменно перед началом работы. Корректировать электролит при нанесении покрытия толщиной 100 мкм на площадь поверхности более 100 дм² в 1 л электролита и при наличии брака.

Контроль раствора-суспензии для нанесения нанокомпозиционных покрытий на основе химического никеля следует проводить не реже одного раза в 10 дней. Корректировать раствор рекомендуется после никелирования 1 дм² поверхности толщиной слоя 80 мкм в 1 л раствора.

Методика контроля и корректировки электролитов и растворов приведена в третьей главе диссертации и в литературе [72, 115, 140, 144].

Аноды для нанокомпозиционного электролитического хромирования рекомендуется изготавливать из сплава свинца с 10 % олова или свинца с 5 % сурьмы и 15 % олова, для нанокомпозиционного электролитического железнения – из низкоуглеродистых сталей ст 2, ст 3, сталь 10. Площадь поверхности анодов должна быть не меньше площади поверхности катодов, увеличение площади поверхности анодов (в пределах 2–3 площадей катодов) способствует устойчивости электролитов.

По окончании процесса нанесения покрытий аноды следует извлечь из ванны, промыть и хранить в ванне с проточной водой.

После нанесения покрытий детали следует промыть в дистиллированной воде с целью улавливания основных химических элементов электролитов и растворов; эти растворы можно использовать для пополнения рабочих ванн.

После нанокомпозиционного электролитического хромирования детали следует подвергать обезводороживанию при температуре 200...230 °C в течение 2–3 ч в масляной ванне или в воздушной среде. После нанокомпозиционного электролитического железнения детали необходимо подвергать пассивации в щелочном растворе при температуре не ниже 45 °C. После нанокомпозиционного химического никелирования детали рекомендуется подвергать термообработке при температуре 400 °C в течение 1 ч в воздушной среде.

После нанесения покрытий детали следует подвергать внешнему осмотру, проверке толщины покрытия, шероховатости. Контроль покрытий проводить по ГОСТ 9.301–86 и 9.302–88.

Нанокомпозиционные покрытия на основе хрома и химического никеля должны быть блестящими, полублестящими или молочными, гладкими, равномерными по толщине в пределах допуска по всей поверхности, работающей на трение.

Некачественные нанокомпозиционные покрытия на основе хрома и химического никеля следует удалять анодным растворением в водном растворе едкого натра (50–100 г/л) при температуре 60 °C и плотности тока 5–10 А/дм², после снятия хрома рекомендуется провести обезводороживание деталей в воздушной печи при температуре 200...230 °C в течение 2 ч. Некачественные нанокомпозиционные покрытия на основе железа следует удалять шлифованием до полного снятия покрытия на круглошлифовальных или бесцентрошлифовальных станках.

При нанесении нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий все требования безопасности должны соответствовать ОСТ 190366–85 [147].

Технологические процессы нанесения нанокомпозиционных гальванохимических покрытий с экологической точки зрения полностью соответствует условиям базового нанесения покрытий.

5.2 Технология восстановления плунжерных пар с применением нанокомпозиционного электролитического хромирования

Как известно, к геометрической форме рабочих поверхностей плунжерных пар предъявляют высокие требования [4, 18, 85, 90, 93, 112, 194]. Так, допустимое отклонение от цилиндрической формы – не более 0,001 мм, некруглость – не более 0,0005 мм, конусность – не более 0,0006 мм на длине 20 мм рабочей поверхности плунжера.

Поэтому с целью определения влияния оказываемого нанокомпозиционными гальвано-химическими покрытиями на отклонение рабочей поверхности плунжера от правильной геометрической формы были проведены соответствующие исследования. Измерения проводили с использованием кругломера «Talyrond» в поперечных сечениях плунжера (Приложение И).

В результате проведенных измерений были получены круглограммы изношенного серийного плунжера и после выведения следов износа. А также круглограммы плунжера после нанесения нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе хрома и восстановленного плунжера после механической обработки (Приложение И).

В результате проведенных измерений установлено, что механическая обработка изношенного плунжера и нанесение на его рабочую поверхность нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе хрома С обработкой последующей механической полностью восстанавливает плунжера. Максимальная геометрическую форму некруглость плунжера восстановленного с применением нанокомпозиционного покрытия на основе хрома после механической обработки составила 0,15 мкм, что удовлетворяет требованиям, предъявляемым к геометрической форме рабочей поверхности плунжера.

Схема технологического процесса восстановления плунжерных пар ТНВД дизеля ЯМЗ-238НДЗ с применением нанокомпозиционного электролитического хромирования представлена на рисунке 5.1.

Поступившие на восстановление плунжерные пары подвергают промывке в керосине или бензине, после чего их обдувают сжатым воздухом. Затем их обезличивают, проводят дефектацию на предмет выявления выбраковочных дефектов и определения величин износов.

Втулки плунжеров притирают на вертикально-доводочном станке 3820-Д, используя притиры до выведения следов износа.

Для удобства определения размера притира по диаметру втулки, их сортируют на размерный группы через 0,03 мм с помощью набора пробок или ротаметра.



Рисунок 5.1 – Схема технологического процесса восстановления плунжерных пар ТНВД дизеля ЯМЗ-238НД3

Для черновой притирки используют притирочную пасту ACM 20/14, для чистовой – пасту ACM 2/1. После притирки овальность и конусность не должны превышать 0,002 мм. На обработанной поверхности отверстия втулки не должно быть рисок, задиров и следов износа. Затем втулки промывают в бензине, обдувают сжатым воздухом и подвергают повторной химикотермической обработке до твердости 55-60 HRC. Далее втулки передают на контрольную операцию, где их сортируют на размерные группы с интервалом 0,001 мм с помощью ротаметра.

Изношенные плунжеры, в зависимости от величины износа либо притирают на плоско-доводочном станке 3816, используя притирочные пасты ACM 20/14 и ACM 2/1, либо шлифуют на бесцентрово-шлифовальном станке 3184 с последующей притиркой на плоско-доводочном станке 3816 до выведения следов износа.

После механической обработки на поверхности плунжеров наносят нанокомпозиционное электролитическое покрытие на основе хрома С наноразмерными частицами оксида алюминия, В установке для нанокомпозиционного хромирования (рисунок 5.2). Для этого плунжеры закрепляют на подвесные приспособления, после чего части плунжеров не подлежащие покрытию изолируют перхлорвиниловой эмалью ХВ-1100 ГОСТ 6993-79. Затем плунжеры подвергают электрохимическому обезжириванию для удаления с поверхности жировых пленок и отложений. С целью связывания инородных частиц и выпадения их в осадок обезжиривание проводят в электролите 10%-го NaOH при добавлении Na₂O(SiO₂)_n и Na₂CO₃. Режимы обработки: плотность катодного тока – 10 А/дм², температура электролита 70 °C, время операции 5 мин.



Рисунок 5.2 – Установка для нанокомпозиционного электролитического хромирования

С целью удаления окисных пленок и более тщательного обезжиривания поверхностей, после промывки поочередно в горячей и холодной проточной воде, детали подвергают декапированию (анодной обработке) в электролите 30%-ой H₂SO₄. Режимы обработки: плотность катодного тока – 20 A/дм², температура электролита 25 °C, время операции 2 мин.

Затем проводят нанесение нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе хрома из электролита следующего состава: $CrO_3 - 225...275$ г/л; $K_2SiF_6 - 18...22$ г/л; $BaSO_4 - 5...7$ г/л; $H_2SO_4 - 0,34$ г/л; наноразмерный порошок $Al_2O_3 - 3,0...3,5$ г/л. Режимы электролиза: плотность катодного тока – 55...60 A/дм², температура электролита 50...55 °C, время операции – до необходимой величины наносимого слоя. Скорость осаждения покрытия 40–60 мкм/ч.

После нанесения покрытия плунжеры промывают последовательно в горячей и холодной проточной воде и проводят обезводороживание путем нагрева деталей с покрытием до 200 °C и выдерживания при данной температуре в течение 2 ч.

После этого плунжеры передают на контрольную операцию, где их сортируют на размерные группы с интервалом 0,002 мм. Далее плунжеры обрабатывают на плоско-доводочном станке 3816 используя доводочные пасты ACM 20/14 и ACM 2/1. Затем плунжеры передают на контрольную операцию, где их сортируют на размерные группы с интервалом 0,001 мм и комплектуют с втулками селективным методом. Контроль размера и формы рабочей поверхности плунжера производят на оптикаторе или на вертикальном оптиметре.

Совместную притирку плунжера и втулки осуществляют на доводочной бабке Т 9158-1А-9. Для совместной притирки используют доводочную пасту АСМ 2/1. Скомплектованные плунжерные пары промывают в бензине и продувают сжатым воздухом.

Качество притирки поверхностей определяют внешним осмотром и проверкой плавности перемещения плунжера во втулке. Затем пару испытывают на гидроплотность прибором КИ-759. Восстановленные плунжерные пары

сортируют на группы по гидроплотности. Каждый ТНВД следует комплектовать плунжерными парами одной группы гидроплотности. Детали, предназначенные для длительного хранения, консервируют, после чего каждую пару завертывают в пергаментную бумагу.

Описанная технология восстановления плунжерных пар ТНВД дизелей ЯМЗ-238НДЗ с применением нанокомпозиционного электролитического хромирования разработана совместно с ООО «Сельхозтехника» и ООО «Саратовдизельаппарат» и передана на предприятия вместе с комплектом технологической документации (приложение К).

5.4 Технология восстановления золотниковых пар гидрораспределителя Р160 с применением нанокомпозиционного электролитического

железнения

Схема технологического процесса восстановления золотниковых пар гидрораспределителя P160 с применением нанокомпозиционного электролитического железнения представлена на рисунке 5.3.

На первом этапе восстановления золотниковых пар гидрораспределителей Р160 нанокомпозиционным электролитическим железнением их обезличивают, проводят дефектацию на предмет выявления выбраковочных дефектов и определения величин износов.

С целью выведения следов износа на поясках отверстий корпуса осуществляют их хонингование, используя вертикально-хонинговальный станок 3К833 и хонинговальные бруски АСП-60/40 для предварительного хонингования и бруски АСМ 20/14 для окончательного хонингования. Проводя хонингование, с помощью механизма станка, производят одновременное возвратно-поступательное и вращательное движение хонинговальной головки, а также радиальную подачу хонинговальных брусков. В результате этого достигается равномерное увеличение диаметров.

Частота вращения шпинделя хонинговального станка составляет 250 мин⁻¹.



Рисунок 5.3 – Схема технологического процесса восстановления золотниковых пар гидрораспределителя P160

Во время выполнения хонинговальной операции в рабочую зону подают смазочно-охлаждающую жидкость типа Oilcool 3000 UNI.

Контролирование обработанных отверстий осуществляют с использованнием нутромера типа НИ 25-50 ГОСТ 868–82, лупы ×5 ГОСТ 25706–83 и образцов шероховатости ГОСТ 9378–93.

По завершении хонингования и контроля осуществляют промывку корпусов. Для этого используют моечную машину ОМ-14266 ГОСНИТИ и моющее вещество «Лабомид-203». После этого корпуса поступают на комплектовочную операцию, где их комплектуют с золотниками методом селективной сборки.

Для механической обработки золотников гидрораспределителя, с изношенными поясками, используют бесцентрошлифовальный станок С250. Шлифование поясков производят до удаления следов износа, используя при этом алмазные круги АСМ 7/5. Режимы шлифования следующие: частота вращения

алмазного круга – 1400 мин⁻¹, частота вращения подающего круга – 30 мин⁻¹. Во время выполнения шлифовальной операции в рабочую зону подают смазочноохлаждающую жидкость типа Oilcool 3000 UNI.

После шлифования на поверхности золотников наносят нанокомпозиционное электролитическое покрытие на основе железа в установке для нанокомпозиционного железнения (рисунок 5.4). При нанесении покрытия, золотники закрепляют на подвесных приспособлениях. Затем производят изолирование всех зон, которые не подлежат нанесению покрытия. Для изоляции используют перхлорвиниловую эмаль типа XB-1100 ГОСТ 6993-79. После этого осуществляют электрохимическое обезжиривание золотников.С целью связывания инородных частиц и выпадения их в осадок обезжиривание проводят в электролите 10%-го NaOH при добавлении Na₂O(SiO₂)_n и Na₂CO₃. Режимы обработки: плотность катодного тока – 20 A/dm^2 , температура электролита 50 °C, время операции 5 мин.



Рисунок 5.4 – Установка для нанокомпозиционного электролитического железнения

Затем производят промывку золотников последовательно горячей и холодной водой. Далее осуществляют декапирование (анодную обработку) поверхностей золотников. Для этого используют раствор 30%-ой H₂SO₄. Режимы обработки: плотность катодного тока – 20 A/дм², температура электролита 25 °C, время операции 2–3 мин.

По декапирования производят промывку окончании золотников последовательно горячей и холодной проточной водой. После этого производят осаждение на рабочие пояски золотников нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе железа. Для этого применяется электролит следующего состава: FeCl₂·4H₂O - 200...300 г/л; HCl - 1,0...1,5 г/л; MnCl₂ – 5...7 г/л, наноразмерные частицы AlN – 3,0...3,5 г/л. Режимы нанесения покрытия: температура электролита 65...70 °C, плотность катодного тока – 20...25 А/дм², время операции – до получения необходимой величины наносимого слоя. Скорость осаждения покрытия 100-150 мкм/ч.

нанокомпозиционного После осуществления процесса железнения золотников их подвергают промывке поочередно горячей и холодной водой. Затем производят пассивацию, используя для этого 10%-ый раствор NaOH на протяжении 10 мин. С целью увеличения экономической эффективности технологии рекомендуется для пассивации использовать раствор обезжиривания. После пассивации золотники снова подвергают промывке последовательно горячей и холодной водой. Затем осуществляют демонтаж золотников с подвесных приспособлений и контролируют качество нанесенных покрытий. Для измерения диаметров поясков золотников используют микрометр МКЦ 50 ГОСТ 6507-90, а для контроля качества лупу ×5 ГОСТ 25706-83. После контроля качества производят механическую обработку поясков золотников, используя для этого бесцентрошлифовальный станок С250. Шлифование осуществляют до получения необходимого размера, режимы шлифования соответствуют режимам описанным выше. Далее золотники поступают на комплектовочную операцию, где их комплектуют с корпусами методом селективной сборки.

Окончательную приработку золотников с корпусами производят, используя

233

пасту ГОИ, которую смешивают с индустриальным маслом И20. Приработку заключается в совместном возвратно-поступательном движении золотника с его вращением.

Вышеизложенная технология восстановления золотниковых пар гидрораспределителей P160 с применением нанокомпозиционного железнения разработана совместно с ООО «Сельхозтехника» и ООО «Саратовдизельаппарат» и передана на предприятия вместе с комплектом технологической документации (см. приложение К).

5.5 Технология восстановления золотниковых пар гидрораспределителя P80 с применением нанокомпозиционного химического никелирования

Схема технологического процесса восстановления золотниковых пар гидрораспределителя P80 с применением нанокомпозиционного химического никелирования представлена на рисунке 5.5.

При восстановлении золотниковых пар гидрораспределителей Р80 нанокомпозиционным химическим никелированием их обезличивают, проводят дефектацию на предмет выявления выбраковочных дефектов и определения величин износов.

Механическую обработку корпуса и золотника проводят аналогично вышеописанной механической обработке корпуса и золотника гидрораспределителя Р160.

Измерение диаметров золотников производят, используя индикаторный нутромер НИ 0-25 ГОСТ 868–82. Контроль качества поверхности осуществляют, используя лупу ×5 ГОСТ 25706–83 и образцы шероховатости ГОСТ 9378–93. Отклонения геометрической формы допускается не более 0,004 мм.

По завершении механической обработки и контроля корпуса подвергают промывки в моечной машине ОМ-14266 ГОСНИТИ, используя моющее вещество «Лабомид-203». После этого корпуса поступают на комплектовочную операцию с золотниками методом селективной сборки.



Рисунок 5.5 – Схема технологического процесса восстановления золотниковых пар гидрораспределителя P80

После шлифования на поверхности золотников наносят нанокомпозиционное химическое покрытие на основе никеля в установке для нанокомпозиционного химического никелирования (рисунок 5.6). Перед нанесением покрытия, золотники закрепляют на подвесных приспособлениях. Затем производят изоляцию всех зон, которые не подлежат осаждению. Для изоляции используют перхлорвиниловую эмаль типа XB-1100 ГОСТ 6993-79.

После этого осуществляют химическое обезжиривание золотников. С целью связывания инородных частиц и выпадения их в осадок обезжиривание проводят в электролите 10%-го NaOH с добавлением Na₂O(SiO₂)_n, Na₂CO₃, Na₃PO₄. Режимы обработки: температура раствора 70 °C, время операции 5 мин.

Затем производят промывку золотников последовательно горячей и холодной водой.



Рисунок 5.6 – Установка для нанокомпозиционного химического никелирования

Далее осуществляют травление поверхностей золотников. Для этого используют раствор 30%-ой H₂SO₄. Режимы обработки: температура раствора 25 °C, время операции 2–3 мин.

По окончании травления производят промывку золотников последовательно горячей и холодной проточной водой. После этого производят осаждение на рабочие пояски золотников нанокомпозиционного химического покрытия на основе никеля. Нанесения покрытия производят используя следующий химический раствор: NiSO₄ · 7H₂O – 20...30 г/л, NaC₂H₃O₂ · 3H₂O – 10...15 г/л,

NaH₂PO₂ · H₂O – 10...15 г/л, наноразмерные частицы Al₂O₃ – 3,0...3,5 г/л, наноразмерные частицы K₂O · nTiO₂ – 4,0...4,5 г/л. Режимы: величина pH раствора 4,0...4,5, температура раствора 90...95 °C, время операции – до необходимой толщины наносимого слоя. Скорость осаждения покрытия 20–30 мкм/ч.

После осуществления процесса нанокомпозиционного никелирования золотников их подвергают промывке поочередно горячей и холодной водой, проводят термическую обработку путем нагрева и выдерживания деталей при температуре 400 °C в течение 1 ч на воздухе.

После контроля качества производят механическую обработку поясков золотников, используя для этого бесцентрошлифовальный станок С250.

Окончательную приработку золотников с корпусами производят, используя пасту ГОИ, которую смешивают с индустриальным маслом И20. Приработку заключается в совместном возвратно-поступательном движении золотника с его вращением.

Вышеизложенная технология восстановления золотниковых пар гидрораспределителей P80 с применением нанокомпозиционного химического никелирования разработана совместно с ООО «Сельхозтехника» и ООО «Саратовдизельаппарат» и передана на предприятия вместе с комплектом технологической документации (см. приложение К).

Изложенные технологии восстановления плунжерных и золотниковых пар внедрены на предприятиях технического сервиса (приложение Л).

5.6 Расчет экономической эффективности разработанных технологий

Расчет экономической эффективности разработанных технологий приведен на примере Саратовской области, по ценам 2019 г.

Технико-экономическую эффективность внедрения разработанных технологий восстановления плунжерных и золотниковых пар с применением нанокомпозиционных покрытий целесообразно определять по формуле [10, 136, 210]:

$$\Im = \left[\left(C_{\rm cr} + E_{\rm H} K_{\rm cr} \right) \frac{k_{\rm pcr} + E_{\rm H}}{k_{\rm pnr} + E_{\rm H}} - \left(C_{\rm nr} + E_{\rm H} K_{\rm nr} \right) \right] N,$$
 (5.1)

 $C_{\pi T}$ себестоимость C_{ct}, сопряжения, восстановленной где детали соответственно по существующей и предлагаемой технологиям, руб.; Е_н – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, $E_{\rm H} = 0,15$ удельные [136]; Кпт _ капитальные вложения приобретение K_{ct}, на технологического оборудования, необходимого для проведения ремонта по существующей и предлагаемой технологиям, руб.; k_{pcr} , k_{pnr} – коэффициенты, характеризующие годовой износ детали от ее полного ресурса, восстановленного по существующей и предлагаемой технологиям соответственно; N – годовой объем деталей, восстанавливаемых и упрочняемых по предлагаемой технологии, ШТ.

По данным министерства сельского хозяйства Саратовской области, в 2018 году в области было зарегистрировано около 18000 единиц сельскохозяйственных тракторов, из которых около 3000 единиц оборудовано дизельными двигателями ЯМЗ-238НД3 гидрораспределителями P160 И 6000 И около единиц гидрораспределителями Р80. Учитывая количество тракторов, среднегодовую наработку тракторов, периодичность проведения а также ремонтов соответствующих агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры можно принять следующие годовые программы восстановления: 750 шт. ТНВД дизелей ЯМЗ-238НДЗ (6000 шт. плунжерных пар); 1500 шт. гидрораспределителей Р160 (4500 шт. золотниковых пар); 3000 шт. гидрораспределителей Р80 (9000 шт. золотниковых пар).

Коэффициенты, характеризующие годовой износ детали от ее полного ресурса, восстановленного по существующей и предлагаемой технологиям, можно вычислить по формулам [10]:

$$k_{\rm pcr} = \frac{Q}{T_{\rm cr}}; \tag{5.2}$$

$$k_{\rm pmr} = \frac{Q}{T_{\rm mr}},\tag{5.3}$$

где Q – годовая наработка тракторов, мото-ч; T_{cr} , T_{nr} – средние межремонтные ресурсы сопряжений, восстановленных по существующей и предлагаемой технологиям соответственно.

Данные по расчету коэффициентов k_{pcr} и $k_{pпr}$ представлены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Коэффициенты, характеризующие годовой износ детали от ее полного ресурса, восстановленного по существующей и предлагаемой технологиям

Марка трактора	Восстанавливаемое сопряжение	Среднегодовая наработка, мото-ч	Средний ресурс	сопряжения по существующей	технологии, мото-ч	Средний ресурс	сопряжения по	предлагаемой	технологии, мото-ч	k _{p ct}	k_{pnr}
К-700А	Плунжерная пара ТНВД дизеля ЯМЗ- 238НД3	1500	5537			7706				0,27	0,19
К-700А	Золотниковая пара гидро- распределителя Р160	1500	2560			3971				0,59	0,38
MT3-82	Золотниковая пара гидро- распределителя Р80	1700	2889			4917				0,59	0,35

Себестоимость восстановления С можно определить по формуле [210]:

 $C = C_{_{3\Pi}} + C_{_{M}} + C_{_{T3}} + C_{_{9}} + C_{_{a}} + C_{_{3}} + C_{_{\Pi}}, \qquad (5.4)$

где С_{3п} – заработная плата производственных рабочих с начислениями, руб.; С_м – затраты на материалы, руб.; С_{тз} – транспортно-заготовительные расходы, руб.; С_э – затраты на электроэнергию, руб.; С_a – амортизационные отчисления, руб.; С₃ – заводские расходы, руб.; С_п – прочие расходы, руб.

Заработную плату производственным рабочим по существующим $C_{_{3\Pi}}^{_{cr}}$ и предлагаемым $C_{_{3\Pi}}^{_{\Pi T}}$ технологиям можно определить по формулам [136]:

$$C_{3\Pi}^{cT} = C_{0CH}^{cT} + C_{DO\Pi}^{cT} + C_{c0}^{cT}; \qquad (5.5)$$

$$C_{3\Pi}^{\Pi T} = C_{0CH}^{\Pi T} + C_{DO\Pi}^{\Pi T} + C_{CO}^{\Pi T}, \qquad (5.6)$$

где С_{осн}, С_{осн}^{пт} – основная заработная плата производственных рабочих по существующим и предлагаемым технологиям соответственно, руб.; С_{доп}^{ст}, С_{доп}^{пт} – дополнительная заработная плата производственных рабочих по существующим и предлагаемым технологиям соответственно, руб.; С_{доп}^{ст}, С_{со}^{пт} – отчисления на социальные нужды производственных рабочих по существующим и предлагаемым технологиям соответственно, руб.

Дополнительная заработная плата [136]:

$$C_{\text{доп}} = 0.1 C_{\text{осн}}$$
 (5.7)

Отчисления на социальные нужды [136]:

$$C_{co} = 0,3(C_{ocH} + C_{don}),$$
 (5.8)

Рассчитанные значения заработанной платы производственных рабочих, занятых при выполнении операций технологических процессов, представлены в таблице 5.2.

Основную заработную плату производственных рабочих, производящих восстановление по предлагаемой технологии, рассчитывали исходя из норм времени на выполнение операций и действующей тарифной сетки. Часовая тарифная ставка для рабочих, выполняющих операции технологического процесса, составляет 152 руб./ч.

Затраты на материалы рассчитываются по формуле [10]:

$$C_{_{\rm M}} = \sum M_i \coprod_i , \qquad (5.9)$$

где М_{*i*} – норма расхода материалов на деталь, кг, л или м³; Ц_{*i*} – цена применяемых материалов, руб.

241

Таблица 5.2 – Заработная плата производственных рабочих, выполняющих операции по существующим и предлагаемым технологиям, руб.

Восстанавливаемое сопряжение	Время на восстановление	одного сопряжения по	предлагаемой технологии, ч	$C_{\rm och}^{\rm int}$	$C_{\rm gon}^{\rm nr}$	C _{co} ^m	$C_{_{3\Pi}}^{_{\Pi T}}$	C ^{ct} _{och}	$C_{\rm gon}^{\rm ct}$	$C_{\rm don}^{\rm ct}$	$C_{_{3\Pi}}^{c_{T}}$
Плунжерная пара ТНВД											
дизеля ЯМЗ-		0,7		106,4	10,6	35,1	152,1	105	10,5	34,7	150,2
238НД3											
Золотниковая	0,45		68,4	6,8	22,6	97,8	65	6,5	21,5	93	
пара Р160				,		,	,		,		
Золотниковая	0,56		85,1	8,5	28,1	121,7	80	8	26,4	114,4	
пара Р80											

Затраты на материалы, расходуемые при существующих и предлагаемых технологиях, представлены в приложении М.

Транспортно-заготовительные расходы можно определить по формуле [136]:

$$C_{_{T3}}=1,2C_{_{OCT}},$$
 (5.10)

где Сост – остаточная стоимость ремонтного фонда, руб. [136]:

$$C_{oct} = 0,03 \amalg_{H},$$
 (5.11)

где Ц_н – цена новой детали, руб.

По ценам 2019 г. средняя цена новой плунжерной пары ТНВД дизеля ЯМЗ-238НДЗ 750 руб., нового золотника для гидрораспределителя Р160 – 700 руб., для гидрораспределителя Р80 – 550 руб. Тогда остаточная стоимость плунжерной пары составит 22,5 руб., золотника Р160 – 21 руб. и золотника Р80 – 16,5 руб. С учетом остаточной стоимости деталей транспортно-заготовительные расходы для плунжерных пар – 27 руб., для золотника Р160 – 25,2 руб., для золотника Р80 – 19,8 руб.

242

Стоимость технологического оборудования, применяемого при восстановлении по существующим и предлагаемым технологиям, приведена в приложении Н.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле [210]:

$$C_{3} = \frac{P \coprod_{3} k_{w} W_{\pi}}{N}, \qquad (5.12)$$

где P — мощность оборудования, КВт (см. приложение Н); Ц_э — цена электроэнергии, руб./кВт·ч, Ц_э = 3,48 руб./кВт·ч; k_w — коэффициент, учитывающий загрузку и КПД силового оборудования, $k_w = 0,75$; W_{Π} — среднегодовое потребление электроэнергии, ч, $W_{\Pi} = 1968$ ч [210].

Затраты на электроэнергию, рассчитанные по формуле (5.12):

- базовое хромирование плунжерных пар 67,3 руб.;
- нанокомпозиционное хромирование плунжерных пар 69,0 руб.;
- базовое железнение золотниковых пар Р160 60,0 руб.;
- нанокомпозиционное железнение золотниковых пар P160 45,1 руб.;
- базовое химическое никелирование золотниковых пар Р80 12,9 руб.;

 нанокомпозиционное химическое никелирование золотниковых пар Р80 – 16,1 руб.

Амортизационные отчисления можно определить по формуле [136]:

$$C_{a} = \frac{0,067C_{o}}{N},$$
 (5.13)

где C_o – балансовая стоимость применяемого оборудования, руб.

Амортизационные отчисления, рассчитанные по формуле (5.13):

- базовое хромирование плунжерных пар 23,7 руб.;
- нанокомпозиционное хромирование плунжерных пар 29,2 руб.;
- базовое железнение золотниковых пар Р160 18,6 руб.;
- нанокомпозиционное железнение золотниковых пар Р160 24,4 руб.;
- базовое химическое никелирование золотниковых пар Р80 7,8 руб.;
- нанокомпозиционное химическое никелирование золотниковых пар Р80 –

12,2 руб.

Заводские расходы принимаются в размере 140 % от заработной платы производственных рабочих с начислениями [136] и составляют:

- базовое хромирование плунжерных пар 210,28 руб.;
- нанокомпозиционное хромирование плунжерных пар 212,94 руб.;
- базовое железнение золотниковых пар Р160 130,2 руб.;
- нанокомпозиционное железнение золотниковых пар Р160 136,92 руб.;
- базовое химическое никелирование золотниковых пар Р80 160,16 руб.;
- нанокомпозиционное химическое никелирование золотниковых пар Р80 170,38 руб.

Прочие отчисления определяются как 15 % от затрат на материалы [10] и составляют:

- базовое хромирование плунжерных пар 17,06 руб.;
- нанокомпозиционное хромирование плунжерных пар 17,81 руб.;
- базовое железнение золотниковых пар Р160 14,74 руб.;
- нанокомпозиционное железнение золотниковых пар Р160 15,49 руб.;
- базовое химическое никелирование золотниковых пар Р80 9,69 руб.;

 нанокомпозиционное химическое никелирование золотниковых пар Р80 – 11,19 руб.

Себестоимость восстановления, рассчитанная по формуле (5.4):

• базовое хромирование плунжерных пар – 609,3 руб.;

- нанокомпозиционное хромирование плунжерных пар 671,8 руб.;
- базовое железнение золотниковых пар Р160 440 руб.;
- нанокомпозиционное железнение золотниковых пар Р160 493,2 руб.;
- базовое химическое никелирование золотниковых пар Р80 389,3 руб.;

нанокомпозиционное химическое никелирование золотниковых пар Р80 – 465,9 руб.

Удельные капитальные вложения К определяются по формуле [210]:

$$K = \frac{C_{o}}{N}.$$
(5.14)

Удельные капитальные вложения, рассчитанные по формуле (5.14):

- базовое хромирование плунжерных пар 354,0 руб.;
- нанокомпозиционное хромирование плунжерных пар 435,7 руб.;
- базовое железнение золотниковых пар Р160 277,8 руб.;
- нанокомпозиционное железнение золотниковых пар Р160 364,4 руб.;
- базовое химическое никелирование золотниковых пар Р80 116,1 руб.;
- нанокомпозиционное химическое никелирование золотниковых пар Р80 181,7 руб.

Экономическую целесообразность восстановления можно определить по формуле [210]:

$$\frac{\Pi_{\rm H} - C_{\rm ocr}}{T_{\rm H}} \ge \frac{C_{\rm mr} + E_{\rm H} K_{\rm mr}}{T_{\rm mr}}, \qquad (5.15)$$

где $T_{\rm H}$ – ресурс нового агрегата или детали до ремонта, мото-ч; $C_{\rm nr}$ – себестоимость восстановления по предлагаемой технологии, руб.; $K_{\rm nr}$ – удельные капитальные вложения по предлагаемой технологии, руб.; $T_{\rm nr}$ – ресурс отремонтированного агрегата или восстановленной детали до ремонта, мото-ч.

Экономическая целесообразность восстановления, рассчитанная по формуле (5.15):

- нанокомпозиционное хромирование плунжерных пар $0,15 \ge 0,09$;
- нанокомпозиционное железнение золотниковых пар P160 $-0.2 \ge 0.14$;

• нанокомпозиционное химическое никелирование золотниковых пар Р80 – 0,15 ≥ 0,10.

Поскольку во всех случаях условие неравенства выполняется, восстановление можно считать экономически целесообразным.

Технико-экономическая эффективность внедрения технологии, согласно формуле (5.1):

• нанокомпозиционное хромирование плунжерных пар – 465552 руб.;

• нанокомпозиционное железнение золотниковых пар Р160 – 568971 руб.;

 нанокомпозиционное химическое никелирование золотниковых пар Р80 – 979004руб.

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений определяется по формуле [210]:

$$T_{o} = \frac{\left(C_{nr} - C_{cr}\right)N + K_{\pi}}{\Im}, \qquad (5.16)$$

где К_д – дополнительные капитальные вложения, которые включают в себя затраты на оборудование, приобретаемое для внедрения технологии, руб.

Сроки окупаемости дополнительных капитальных вложений, рассчитанные по формуле (5.16):

• нанокомпозиционное хромирование плунжерных пар – 1,8 года;

• нанокомпозиционное железнение золотниковых пар Р160 – 1,1 года;

 нанокомпозиционное химическое никелирование золотниковых пар Р80 – 1,3 года.

5.7 Выводы по пятой главе

1. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны новые технологии восстановления плунжерных пар ТНВД дизелей ЯМЗ-238НДЗ нанокомпозиционным электролитическим хромированием, золотниковых пар гидрораспределителей Р160 нанокомпозиционным электролитическим железнением и золотниковых пар

гидрораспределителей P80 нанокомпозиционным химическим никелированием. Высокая эффективность разработанных технологий достигается за счет использования современного высокотехнологичного оборудования.

2. Определены показатели экономической эффективности разработанных технологий с учетом затрат на очистку сточных вод. Установлено, что при годовой производственной программе 6000 плунжерных пар техникоэкономическая эффективность составит более 460 тыс. руб., а срок окупаемости капитальных вложений 1,8 года. При годовой производственной программе 4500 гидрораспределителей P160 золотниковых пар технико-экономическая эффективность составит более 560 тыс. руб., а срок окупаемости капитальных вложений 1,1 года. При годовой производственной программе 9000 золотниковых пар гидрораспределителей Р80 технико-экономическая эффективность составит более 970 тыс. руб., а срок окупаемости капитальных вложений 1,3 года.

3. Разработанные технологии внедрены в производство на предприятиях технического сервиса, прошли производственную проверку и рекомендованы к внедрению на предприятиях, осуществляющих ремонт топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Решая поставленную научную проблему повышения долговечности агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры сельскохозяйственной техники путем восстановления их прецизионных деталей, в диссертационной работе разработаны и исследованы новые способы восстановления прецизионных деталей нанокомпозиционными гальвано-химическими покрытиями на основе хрома, железа и никеля, позволяющие повысить ресурсы отремонтированных агрегатов до 1,7 раза по сравнению с новыми.

2. Анализ сельскохозяйственной надежности техники позволил установить, что она в большой степени определяется ресурсом агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры, на долю которых приходится до 42 и 26 % неисправностей и отказов соответственно. Ресурс агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры в свою очередь лимитируется ресурсом плунжерных и золотниковых пар. Существующие способы восстановления прецизионных деталей топливной и гидравлической аппаратуры имеют существенные недостатки. Наиболее перспективными являются нанокомпозиционные гальванохимические покрытия на основе хрома, железа и никеля.

3. Ha основании положений теории трения определено, что В ресурсоопределяющих сопряжениях топливной и гидравлической аппаратуры преобладающими являются пластический контакт и микрорезание. Из анализа выражений для определения интенсивности изнашивания при пластическом контакте и микрорезании установлено, что важным фактором, оказывающим влияние на интенсивность износа, является твердость трущихся поверхностей. В результате физико-математического представления процесса образования и нанокомпозиционных покрытий получено выражение (2.40), упрочнения позволяющее рассчитывать микротвердость получаемых покрытий. Полученные зависимости (2.8), (2.40), (2.43) дают возможность рассчитывать микротвердость гальвано-химических нанокомпозиционых покрытий, интенсивности

247

изнашивания деталей пар трения и ресурсы сопряжений, восстановленных такими покрытиями.

4. Разработана программа экспериментальных исследований, позволяющая с высокой степенью достоверности оценить влияние нанокомпозиционных покрытий на ресурс агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры. Предложены оригинальные методики приготовления электролитов-суспензий (патенты РФ № 2283373, 2610381, 2465374) и лабораторная установка для нанесения нанокомпозиционных покрытий (патент РФ № 2680116), обеспечивающие повышение седиментационной устойчивости электролитов-суспензий и получение стабильно качественных нанокомпозиционных гальвано-химических покрытий.

Проведенные лабораторные исследования позволили определить наноразмерные материалы для получения покрытий с повышенными значениями микротвердости. Для нанокомпозиционного электролитического покрытия на наноразмерный основе хрома _ порошок оксида алюминия, ДЛЯ нанокомпозиционного электролитического покрытия основе на железа наноразмерный порошок нитрида алюминия, для нанокомпозиционного покрытия на основе химического никеля – смесь наноразмерных порошков оксида алюминия и полититаната калия. В результате математического планирования экспериментов были определены режимы нанесения покрытий и концентрации Наибольшая наноразмерных порошков В электролитах И растворах. микротвердость нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе хрома 14,32 ГПа достигалась при температуре электролита 50 °C, плотности тока 59 А/дм2 и концентрации частиц наноразмерной фазы в электролите 3,2 г/л. Такая микротвердость в 1,48 раза превышает микротвердость базового покрытия хрома. Наибольшая микротвердость нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе железа 7,28 ГПа достигалась при температуре электролита 70 °C, плотности тока 21 А/дм2 и концентрации частиц наноразмерной фазы в электролите 3,1 г/л, что в 1,24 раза превышает микротвердость базового покрытия железа. Наибольшая микротвердость нанокомпозиционного покрытия на основе

химического никеля достигалась при концентрации частиц оксида алюминия 3,2 г/л, концентрации частиц полититаната калия 4,1 г/л и температуре последующей термической обработки 350 °C. Получаемая при этом микротвердость 9,64 ГПа в 1,85 раза превышает микротвердость базового покрытия химического никеля.

5. Исследования морфологии структуры покрытий И позволили установить, что наноразмерные частицы, вводимые в электролиты и растворы, активизируют процесс получения покрытий И являются ИХ центрами кристаллизации, что приводит к образованию более плотной измельченной структуры покрытий. Анализ спектрограмм, полученных в результате эмиссионного анализа образцов, показал, что нанокомпозиционные покрытия содержат элементы наноразмерных частиц, применяемых для их получения, которые отсутствуют в базовых покрытиях. В результате проведенных лабораторных испытаний износостойкость установлено, на что нанокомпозиционные электролитические покрытия на основе хрома обладают износостойкостью в 1,5–1,8 раза выше износостойкости базовых покрытий хрома и в 2,1-2,2 раза выше износостойкости стали ШХ15. Нанокомпозиционные электролитические покрытия основе характеризуются на железа износостойкостью в 1,6–1,7 раза выше износостойкости базовых покрытий железа и в 1,3 раза выше износостойкости стали 15Х. У нанокомпозиционных покрытий износостойкость 1,7-1,8основе химического никеля В раза на выше износостойкости базовых покрытий хрома и в 1,6 раза выше износостойкости стали На основании проведенных коррозионных испытаний было 15X. установлено, что коррозионная стойкость нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе хрома выше коррозионной стойкости базового покрытия хрома В 1,86 коррозионная стойкость раза, нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе железа выше коррозионной стойкости базового покрытия железа в 1,64 раза, а коррозионная стойкость нанокомпозиционного покрытия на основе химического никеля выше коррозионной стойкости базового покрытия химического никеля в 1,26 раза.

249

6. По результатам стендовых испытаний снижение пусковой цикловой подачи топлива V ТНВД с плунжерными парами, восстановленными нанокомпозиционным электролитическим хромированием, в среднем в 1,4 раза меньше, чем у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными базовым хромированием, и в 1,8 раза меньше, чем у ТНВД с серийными плунжерными парами. После проведения стендовых испытаний гидрораспределителей Р160 утечки в золотниковых парах, которые были восстановлены с применением нанокомпозиционного электролитического железнения, в среднем в 1,7 раза меньше, чем в золотниковых парах, которые были восстановлены с применением базового железнения, и в 1,3 раза меньше, чем в гидрораспределителях с золотниковыми парами. В результате стендовых испытаний серийными гидрораспределителей Р80 утечки в золотниковых парах, восстановленных с применением нанокомпозиционного химического никелирования, в среднем в 1,6 раза меньше, чем в золотниковых парах, которые были восстановлены с применением базового химического никелирования, и в 1,5 раза меньше, чем в гидрораспределителях с серийными золотниками.

По окончании проведения эксплуатационных испытаний ТНВД дизелей ЯМЗ-238НДЗ снижение пусковой цикловой подачи топлива у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными с применением нанокомпозиционного электролитического хромирования, в среднем в 1,1 раза меньше, чем у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными с применением базового хромирования, и в 1,4 раза меньше, чем у ТНВД с серийными плунжерными парами. После проведения эксплуатационных испытаний гидрораспределителей Р160 утечки в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены с применением нанокомпозиционного электролитического железнения, в среднем в 1,8 раза меньше, чем в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены с применением базового железнения, и в 1,2 раза меньше, чем в гидрораспределителях с серийными золотниковыми Утечки парами. В гидрораспределителях Р80, золотниковые пары которых были восстановлены с применением нанокомпозиционного химического никелирования, в среднем в 1,5

раза меньше, чем в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены с применением базового химического никелирования, и в 1,3 раза меньше, чем в гидрораспределителях с серийными золотниками. На основании результатов эксплуатационных испытаний спрогнозированы остаточные ресурсы агрегатов. Прогнозируемый ресурс ТНВД дизелей ЯМЗ-238НДЗ с плунжерными парами, восстановленными С применением нанокомпозиционного электролитического хромирования, в среднем составляет 7706 мото-ч. Это в 1,39 раза больше, чем у ТНВД с плунжерными парами, восстановленными с применением базового хромирования, и в 1,67 раза больше, чем у ТНВД с У P160 серийными плунжерными парами. гидрораспределителей С золотниковыми парами, восстановленными с применением нанокомпозиционного электролитического железнения, прогнозируемый ресурс в среднем составляет 3971 мото-ч, что в 1,55 раза больше, чем у гидрораспределителей, золотниковые пары которых восстановлены с применением базового железнения, и в 1,17 раза больше, чем у серийных гидрораспределителей. У гидрораспределителей Р80, золотниковые пары которых восстановлены с применением нанокомпозиционного химического никелирования, прогнозируемый ресурс в составляет 4917 мото-ч, 1,7 раза больше, среднем что В чем V гидрораспределителей, золотниковые пары которых восстановлены c применением базового химического никелирования, и в 1,42 раза больше, чем у серийных гидрораспределителей. Теоретически рассчитанные значения ресурса хорошо согласуются с прогнозируемыми, расхождения не превышают 6 %, что позволяет сделать вывод о справедливости предложенной теоретической модели.

7. На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработаны новые технологии восстановления плунжерных пар ЯМЗ-238НДЗ ТНВД дизелей нанокомпозиционным электролитическим хромированием, золотниковых пар гидрораспределителей P160 нанокомпозиционным электролитическим железнением и золотниковых пар гидрораспределителей Р80 нанокомпозиционным химическим никелированием. Разработанные технологии внедрены производство предприятиях В на

технического сервиса, прошли производственную проверку и рекомендованы к внедрению на предприятиях, осуществляющих ремонт агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры.

В результате расчета экономической эффективности разработанных технологий установлено, что при годовой производственной программе 6000 плунжерных пар технико-экономическая эффективность составит более 460 тыс. руб., а срок окупаемости капитальных вложений 1,8 года. При годовой производственной программе 4500 золотниковых пар гидрораспределителей P160 технико-экономическая эффективность составит более 560 тыс. руб., а срок окупаемости капитальных вложений 1,1 года. При годовой производственной программе 9000 золотниковых пар гидрораспределителей P80 техникоэкономическая эффективность составит более 970 тыс руб., а срок окупаемости капитальных вложений 1,3 года.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

Для предприятий технического сервиса рекомендуется модернизация существующих технологий ремонта агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры путем внедрения технологических процессов восстановления прецизионных деталей нанокомпозиционными гальвано-химическими покрытиями на основе хрома, железа и никеля. Нанесение нанокомпозиционных покрытий на основе хрома, железа и никеля следует проводить с помощью разработанных электролитов и растворов (патенты РФ № 2283373, 2610381, 2465374) и на установке (патент РФ № 2680116) под воздействием ультразвука частотой 18 кГц, позволяющей обеспечить седиментационную устойчивость электролитов-суспензий. Для получения нанокомпозиционных гальванохимических покрытий на основе хрома, железа и никеля рекомендуется использовать следующие нанорамерные порошки: на основе электролитического хрома – наноразмерный порошок оксида алюминия (3,0-3,5 г/л), на основе электролитического железа – наноразмерный порошок нитрида алюминия (3,0-
3,5 г/л), на основе химического никеля – смесь наноразмерных порошков оксида алюминия (3,0–3,5 г/л) и полититаната калия (4,0–4,5 г/л).

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Особый интерес дальнейшего для развития темы представляют исследования в области создания многослойных нанокомпозиционных гальваноантифрикционных химических покрытий, применения наноразмерных разработки технологий материалов И новых восстановления ресурсоопределяющих деталей сельскохозяйственной техники. Новые знания о фрикционных триботехнических физико-механических, И свойствах покрытий позволят нанокомпозиционных гальвано-химических на этапе технологических процессов прогнозировать необходимые проектирования служебные свойства покрытий. Также одной из приоритетных задач в области восстановления деталей сельскохозяйственной техники нанокомпозиционными гальвано-химическими покрытиями является создание ДЛЯ ремонтного производства новых высокотехнологичных установок для нанесения таких покрытий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авдеев, М. В.* Технология ремонта машин и оборудования / М. В. Авдеев, Е. Л. Воловик, И. Е. Ульман. – М. : Агропромиздат, 1986. – 246 с.

2. Агрегаты гидроприводов сельскохозяйственной техники. Технические требования на капитальный ремонт ТК 70.0001.018–85. – М. : ГОСНИТИ, 1989. – 19 с.

3. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М. : Наука, 1976. – 280 с.

4. *Антипов, В. В.* Износ прецизионных деталей и нарушение характеристик топливной аппаратуры дизелей / В. В. Антипов. – М. : Машиностроение, 1972. – 177 с.

5. *Антропов, Л. И.* Композиционные электрохимические покрытия и материалы / Л. И. Антропов, Ю. Н. Лебединский. – Киев : Техника, 1986. – 200 с.

6. *Антропов, Л. И.* Теоретическая электрохимия / Л. И. Антропов. – М. : Высшая школа, 1984. – 519 с.

7. *Анурьев, В. И.* Справочник конструктора-машиностроителя : справочник / В. И. Анурьев ; под ред. И. Н. Жестковой. – М. : Машиностроение, 2001. – Т. 1 – 920 с.

8. *Ахназарова, С. Л.* Методы оптимизации эксперимента в химической технологии / С. Л. Ахназарова, В. В. Кафаров. – М. : Высшая школа, 1985. – 327 с.

9. *Ачкасов, К. А.* Прогрессивные способы ремонта сельскохозяйственной техники / К. А. Ачкасов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Колос, 1984. – 271 с.

10. Балдин, К. В. Инвестиции в инновации : учебное пособие / К. В. Балдин,
И. И. Передеряев, Р. С. Голов. – М. : Дашков и К, 2008. – 238 с.

11. *Баранова, Л. В.* Металлографическое травление металлов и сплавов : справочник / Л. В. Баранова, Э. Л. Демина. – М. : Металлургия, 1986. – 256 с.

12. Барышев, В. И. Повышение надежности и долговечности гидросистем тракторов и дорожно-строительных машин в эксплуатации / В. И. Барышев. – Челябинск : Юж.-Урал. кн. изд-во, 1973. – 111 с.

13. *Батищев, А. Н.* Восстановление деталей сельскохозяйственной техники / А. Н. Батищев, И. Г. Голубев, В. П. Лялякин. – М. : Информагротех. 1995. – 295 с.

14. *Батищев, А. Н.* Ресурсосберегающая технология восстановления деталей гальваническими покрытиями : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Батищев А. Н. – М., 1992. – 53 с.

15. *Бахтиаров, Н. И.* Повышение надежности работы прецизионных пар / Н. И. Бахтиаров, В. Е. Логинов, Н. И. Лихачев. – М. : Машиностроение, 1972. – 200 с.

16. *Бахтиаров, Н. И.* Производство и эксплуатация прецизионных пар / Н. И. Бахтиаров. – М. : Машиностроение, 1979. – 203 с.

17. Бахтиаров, Н. И. Технология обработки прецизионных пар / Н. И. Бахтиаров, В. Е. Логинов. – М. : Машгиз, 1963. – 287 с.

18. Белявцев, А. В. Топливная аппаратура автотракторных дизелей / А. В. Белявцев, А. С. Процеров. – М. : Росагропромиздат, 1988. –223 с.

19. Борисенко, А. И. Получение композиционных покрытий методом химического осаждения / А. И. Борисенко. – Л. : Наука, 1979. – 56 с.

20. Борисов, Г. А. Повышение ресурса прецизионных деталей дизельной топливной аппаратуры нанесением на их поверхность гальваногазофазового хрома : [монография] / Г. А. Борисов, Е. Е. Семенов, В. В. Миронов. – Рязань : РГАТУ им. П. А. Костычева, 2012. – 92 с.

21. Бородин, И. Н. Порошковая гальванотехника / И. Н. Бородин. – М. : Машиностроение, 1990. – 235 с.

22. *Бородин, И. Н.* Упрочнение деталей композиционными покрытиями / И. Н. Бородин. – М. : Машиностроение, 1982. – 141 с.

23. *Браутман, Л. А.* Композиционные материалы / Л. А. Браутман, Р. В. Крок. – М. : Мир, 1978. – 568 с.

24. *Бурак, П. И.* Реализация инновационных технологий технического сервиса / П. И. Бурак, И. Г. Голубев. – М. : Росинформагротех, 2014. – 160 с.

25. *Бурак, П. И.* Роль технического и технологического перевооружения АПК в реализации Государственной программы на 2013–2020 годы / П. И. Бурак // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2013. – № 6. – С. 4–5.

26. *Бурумкулов, Ф*. *Х*. Работоспособность и долговечность восстанавливаемых деталей и сборочных едениц / Ф. Х. Бурумкулов, П. П. Лезин. – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 1993. – 120 с.

27. *Буше, Н. А.* Совместимость трущихся поверхностей / Н. А. Буше, В. В. Копытько. – М. : Наука, 1981. – 127 с.

28. Вандышев, В. А. Восстановление изношенных деталей строительных машин композиционными электролитическими покрытиями на основе хрома с целью повышения их долговечности и надежности : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Вандышев В. А. – Киев, 1974. – 21 с.

29. Вансновская, К. М. Металлические покрытия, нанесенные химическим способом / К. М. Вансновская. – М. : Машиностроение, 1985. – 103 с.

30. *Веденяпин, Г. В.* Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г. В. Веденяпин. – М. : Колос, 1967. – 159 с.

31. Величко, С. А. Пути повышения межремонтного ресурса силовых гидроцилиндров / С. А. Величко, П. В. Сенин, П. В. Чумаков // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2015. – № 4. – С. 36–41.

32. Величко, С. А. Разработка высокоэффективных технологий ремонта агрегатов навесных гидросистем тракторов с применением метода электроискровой обработки : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Величко С. А. – Саранск, 2017. – 36 с.

33. Величко, С. А. Ремонт сопряжения «поршень – гильза» силовых гидроцилиндров / С. А. Величко, П. В. Чумаков, М. Г. Тятюшкина // Сельский механизатор. – 2018. – № 1. – С. 38–40.

34. *Величко, С. А.* Точечная оценка параметров распределения доремонтного ресурса импортных гидрораспределителей сельхозтехники / С. А. Величко, А. В. Мартынов // Тракторы и сельхозмашины. – 2015. – № 3. – С. 47–49.

35. Величко, С. А. Экономическая эффективность ремонта гидроагрегатов методом электроискровой обработки / С. А. Величко, П. В. Чумаков, А. В. Мартынов // Сельский механизатор. – 2018. – № 1. – С. 18–20.

36. Вишенков, С. А. Повышение надежности и долговечности деталей машин химическим никелированием / С. А. Вишенков, Е. В. Каспарова. – М. : Машгиз, 1963. – 207 с.

37. Вишенков, С. А. Химические и электрохимические способы осаждения металлопокрытий / С. А. Вишенков. – М. : Машиностроение, 1975. – 312 с.

38. *Власов, П. А.* Надежность сельскохозяйственной техники / П. А. Власов. – Пенза, 2001. – 124 с.

39. Воловик, Е. Л. Справочник по восстановлению деталей / Е. Л. Воловик. – М. : Колос, 1981. – 351 с.

40. Гальванотехника : справочник / Ф. Ф. Ажогин [и др.]. – М. : Металлургия, 1987. – 736 с.

41. *Гегузин, Я. Е.* Движение макроскопических включений в твердых телах / Я. Е. Гегузин, М. А. Кривоглаз. – М. : Металлургия, 1971. – 344 с.

42. Гидравлика и гидропривод / В. Г. Гейер [и др.]. – М. : НЕДРА, 1991. – 331 с.

43. Гинберг, А. М. Ультразвук в гальванотехнике / А. М. Гинберг, Н. Я. Федотова. – М. : Металлургия, 1969. – 208 с.

44. Голубев, И. Г. Технологические процессы ремонтного производства / И. Г. Голубев, В. М. Тараторкин. – М. : Академия, 2017. – 304 с.

45. Гончаренко, К. С. Пористое хромирование деталей машин / К. С. Гончаренко. – М. : Машиностроение, 1968. – 192 с.

46. Горбунова, К. М. Физико-химические основы процесса химического никелирования / К. М. Горбунова, А. А. Никифорова. – М. : Изд-во АН СССР, 1960. – 207 с.

47. ГОСТ 11098–75. Скобы с отсчетным устройством. Технические условия.
 – М. : Изд-во стандартов, 1998. – 10 с.

48. ГОСТ 1412–85. Чугун с пластинчатым графитом для отливок. Марки. – М. : Изд-во стандартов, 2004. – 5 с.

49. ГОСТ 17216–2001. Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей.
– Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2008. – 9 с.

50. ГОСТ 20245–74. Гидроаппаратура. Правила приемки и методы испытаний. – М. : Государственный комитет СССР по управлению качеством продукции и стандартам, 1991. – 48 с.

51. ГОСТ 20799-88. Масла индустриальные. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2005. – 7 с.

52. ГОСТ 2138–91. Пески формовочные. Общие технические условия. – М. : Стандартинформ, 2005. – 8 с.

53. ГОСТ 2184–2013. Кислота серная техническая. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2014. – 37 с.

54. ГОСТ 23.224–86. Обеспечение износостойкости изделий. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей. – М. : Стандартинформ, 2005. – 20 с.

55. ГОСТ 27.301–95. Надежность в технике. Расчет надежности. Основные положения. – М. : Изд-во стандартов, 1996. – 24 с.

56. ГОСТ 3118–77. Реактивы. Кислота соляная. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1997. – 14 с.

57. ГОСТ 4233–77. Реактивы. Натрий хлористый. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 2008. – 19 с.

58. ГОСТ 4461–77. Реактивы. Кислота азотная. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2005. – 9 с.

59. ГОСТ 4543–2016. Металлопродукция из конструкционной легированной стали. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2017. – 50 с.

60. ГОСТ 5962–2013. Спирт этиловый ректификованный из пищевого сырья. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2014. – 9 с.

61. ГОСТ 612–75. Реактивы. Марганец (II) хлористый 4-водный. Технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 2002. – 8 с.

62. ГОСТ 801–78. Сталь подшипниковая. Технические условия. – М. : Издво стандартов, 2004. – 24 с.

63. ГОСТ 9.302–88. Единая система защиты от коррозии и старения.
 Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля. –
 М. : Изд-во стандартов, 2001. – 40 с.

64. ГОСТ 9.308–85. Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 21 с.

65. ГОСТ 9.909-86. Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы, сплавы, покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы испытаний на климатических испытательных станциях. – М. : Изд-во стандартов, 1999. – 13 с.

66. ГОСТ 9450–76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. – М. : Изд-во стандартов, 1993. – 35 с.

67. ГОСТ 9805-84. Спирт изопропиловый. Технические условия. – М. : Издво стандартов, 1998. – 17 с.

68. ГОСТ OIML R 76–1–2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Весы неавтоматического действия. – Ч. 1. Метрологические и технические требования. Испытания. – М. : Стандартинформ, 2013. – 135 с.

69. ГОСТ Р 55064–2012. Натр едкий технический. Технические условия. –
 М. : Стандартинформ, 2013. – 46 с.

70. Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы. Утв. постановлением Правительства Российской Федерации от 14.07.2012 г. № 717. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – 204 с.

71. *Григорович, В. К.* Твердость и микротвердость металлов / В. К. Григорович. – М. : Наука, 1976. – 230 с.

72. Гринберг, А. М. Оптимизация гальванических процессов в гальванотехнике / А. М. Гринберг, Ю. В. Грановский, В. С. Калмуцкий. – М. : Машиностроение, 1972. – 128 с.

73. *Гуляев, А. П.* Металловедение / А. П. Гуляев. – М. : Металлургия, 1986. – 544 с.

74. Гурьянов, Г. В. Повышение износостойкости деталей машин композиционными покрытиями с включением полиэпоксидов / Г. В. Гурьянов, Ю. Е. Кисель // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2018. – № 3. – С. 13–16.

75. *Гурьянов, Г. В.* Свойства композиционных гальванических покрытий на основе сплавов железа / Г. В. Гурьянов, Ю. Е. Кисель, А. С. Горьков // Сельский механизатор. – 2016. – № 11. – С. 34–36.

76. *Гурьянов, Г. В.* Электроосаждение износостойких композиций / Г. В. Гурьянов. – Кишинев : Штиинца, 1985. – 238 с.

77. Гусева, И. В. Химическое осаждение покрытий с включением волокнистых наполнителей / И. В. Гусева, Т. С. Мащенко, А. И. Борисенко // Тр. 9-го Всесоюз. совещания по жаростойким покрытиям. – Л. : Наука, 1981. – С. 66–68.

78. Данилов, Ю. М. Математика : учебное пособие / Ю. М. Данилов, Н. В. Никонова, С. Н. Нуриева ; под ред. Л. Н. Журбенко, Г. А. Никоновой – М. : ИНФРА-М, 2016. – 496 с.

79. Денисов, А. С. Повышение межремонтного ресурса коленчатых валов дизелей, восстановленных наплавкой под слоем флюса / А. С. Денисов, А. Р. Асоян, Б. Ф. Тугушев // Мир транспорта и технологических машин. – 2011. – № 4 (35). – С. 9–13.

80. Денисов, В. А. Сравнительная оценка триботехнических свойств покрытий, полученных железнением / В. А. Денисов, Е. О. Рещиков, Е. В. Агеева // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 124. – № 2. – С. 46–51.

81. Дидур, В. А. Диагностика и обеспечение надежности гидроприводов сельскохозяйственных машин / В. А. Дидур, В. Я. Ефремов. – Киев : Техніка, 1986. – 128 с.

82. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. Утв.
Указом Президента Российской Федерации от 30 января 2010 г. № 120
[Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://old.mcx.ru/documents/document/v7_show/14857.133.htm

83. *Евсиков, А. В.* Технология производства и ремонта топливной аппаратуры дизелей / А. В. Евсиков, В. Я. Попов. – М. : Машгиз, 1958. – 307 с.

84. *Елинек, Т. В.* Успехи гальванотехники. Обзор мировой специальной литературы за 2001–2002 годы. Никель и его сплавы / Т. В. Елинек // Гальванотехника и обработка поверхности. – 2003. – Т. XI. – № 2. – С. 14–20.

85. Загородских, Б. П. Ремонт и регулирование топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых двигателей / Б. П. Загородских, В. В. Хатько. – М. : Россельхозиздат, 1986. –142 с.

86. Закиров, Ш. З. Упрочнение деталей машин электроосаждением железа /
Ш. З. Закиров. – Душанбе : ИРФОН, 1978. – 208 с.

87. Захаров, Ю. А. Повышение технологической надежности подготовки деталей мобильной техники к гальваническому осаждению цинковых покрытий / Ю. А. Захаров, И. А. Спицын, Г. А. Мусатов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – № 1–2 (34). – С. 7.

88. Зонтаг, Г. Коагуляция и устойчивость дисперсных систем / Г. Зонтаг, К.
Штренге. – Л. : Химия, 1973. – 152 с.

89. *Зубчетов, Н. П.* Исследование насосов распределительного типа / Н. П. Зубчетов // Тр. НАТИ. – М., 1960. – С. 23–28.

90. *Икрамов, У. А.* Расчет абразивного износа сопряжения плунжер – втулка топливоподающей аппаратуры дизелей / У. А. Икрамов, М. И. Ташкулатов, К. Х. Махкамов // Проблемы трения и изнашивания. – Киев : Техника, 1980. – Вып. 17. – С. 75–78.

91. Инновационные направления развития ремонтно-обслуживающей базы для сельскохозяйственной техники / С. А. Соловьев [и др.]. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2014. – 160 с.

92. Ионов, П. А. Выбор оптимальных режимов восстановления изношенных деталей электроискровой наплавкой (на примере золотника гидрораспределителя P-75) : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ионов П. А. – Саранск, 1999. – 16 с.

93. Исследование изнашивания прецизионных деталей дизельной топливной аппаратуры / А. В. Новичков [и др.] // Международный научный журнал. – 2014. – № 3. – С. 108–111.

94. *Каданер, Л. И.* Справочник по гальваностегии / Л. И. Каданер. – Киев : Техника, 1976. – 254 с.

95. К вопросу о совершенствовании гальванических способов восстановления деталей мобильных машин / Ю. А. Захаров [и др.] // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. – 2014. – № 4 (12). – С. 99–104.

96. *Кипер, Е. В.* Точность обработки отверстий корпусов гидрораспределителей различными методами / Е. В. Кипер. – М. : Тракторы и сельскохозмашины, 1989. – 198 с.

97. *Кисель, Ю. Е.* Повышение износостойкости электрохимических покрытий / Ю. Е. Кисель, А. Н. Лысенко, С. П. Симохин // Сельский механизатор. – 2016. – № 10. – С. 36–37.

98. *Китель, Ч.* Введение в физику твердого тела / Ч. Киттель. – М. : Наука, 1978. – 791 с.

99. Коломейченко, А. В. Технологии повышения долговечности деталей машин восстановлением и упрочнением рабочих поверхностей комбинированными методами : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03 / Коломейченко А. В. – М., 2011. – 32 с.

100. Композиционные материалы с полимерной матрицей / И. А. Абдулин [и др.]. – Казань : Казан. гос. технол. ун-т, 2006. – 142 с.

101. Конкин, М. Ю. Ресурсосбережение при эксплуатации автотракторной техники : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Конкин М. Ю. – М., 1998. – 16 с.

102. Конструкционные материалы : справочник / под ред. Б. Н. Арзамасова,Т. В. Соловьевой. – М. : Изд-во МГТУ имени Н. Э. Баумана, 2005. – 640 с.

103. Концепция модернизации инженерно-технической системы сельского хозяйства России на период до 2020 года / В. И. Черноиванов [и др.]. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2010. – 46 с.

104. Концепция развития на современном этапе методов восстановления деталей при ремонте машин / Ф. Х. Бурумкулов [и др.] // Критические технологии в регионах с недостатком природных ресурсов : матер. регион. науч.-практич. конф. – Саранск : Мордов. гос. ун-т, 2000. – С. 208–211.

105. *Костецкий, Б. И.* Трение, смазка и износ в машинах / Б. И. Костецкий. – Киев : Техника, 1970. – 395 с.

106. *Коттрел, А. Х.* Дислокации и пластическое течение в кристаллах / А. Х. Коттрел. – М. : Металлургия, 1958. – 267 с.

107. *Кочергин, С. М.* Электроосаждение металлов в ультразвуковом поле / С. М. Кочергин, Г. Я. Вяселева. – М. : Высшая школа, 1964. –111 с.

108. *Кравчук, В. С.* Сопротивление деформированию и разрушению поверхностно-упрочненных деталей машин и элементов конструкций / В. С. Кравчук, А. А. Юсеф, А. В. Кравчук. – Одесса : Астропринт, 2000. – 160 с.

109. Крагельский, И. В. Основы расчетов на трение и износ / И. В. Крагельский, М. Н. Добычин, В. С. Комбалов. – М. : Машиностроение, 1977. – 526 с.

110. *Крагельский, И. В.* Расчетный метод оценки трения и износа – эффективный путь повышения надежности и долговечности машин / И. В. Крагельский, В. В. Алисин. – М. : Знание, 1976. – 56 с.

111. *Крагельский, И. В.* Трение и износ / И. В. Крагельский. – М. : Машиностроение, 1968. – 480 с.

112. *Кривенко, П. М.* Ремонт и регулирование дизельной топливной аппаратуры / П. М. Кривенко, И. М. Федосов. – М. : Колос, 1964. – 191 с.

113. *Кривенко, П. М.* Ремонт и техническое обслуживание системы питания автотракторных дизелей / П. М. Кривенко, И. М. Федосов. – М. : Колос, 1980. – 288 с.

114. *Кривенко, П. М.* Техническое обслуживание дизельной топливной аппаратуры / П. М. Кривенко, И. М. Федосов. – М. : Сельхозиздат, 1962. – 374 с.

115. *Круглова, Е. Г.* Контроль гальванических ванн и покрытий / Е. Г. Круглова, П. М. Вячеславов. – М. : Машгиз, 1961. – 147 с.

116. *Лайнер, В. И.* Защитные покрытия металлов / В. И. Лайнер. – М. : Металлургия, 1974. – 558 с.

117. *Лайнер, В. И.* Современная гальванотехника / В. И. Лайнер. – М. : Металлургия, 1967. – 384 с.

118. *Лататуев, В. И.* Современная технология нанесения металлических покрытий химическим способом / В. И. Лататуев, Г. Н. Ганай, А. Д. Денисов. – Барнаул : Алт. кн. изд-во, 1965. – 159 с.

119. Лебедев, А. Т. Повышение долговечности распылителей форсунок автотракторных дизелей / А. Т. Лебедев, А. Л. Болотоков, П. А. Лебедев // Вестник АПК Ставрополья. – 2018. – № 2 (30). – С. 34–37.

120. Лебедев, А. Т. Повышение ресурса плунжерных пар ТНВД дизельных энергосредств / А. Т. Лебедев, П. А. Лебедев // Наука в центральной России. – 2014. – № 3 (9). – С. 47–54.

121. Лебедев, А. Т. Повышение эффективности дизельной топливной аппаратуры / А. Т. Лебедев, П. А. Лебедев, В. А. Васин // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 7. – С. 43–45.

122. Лебедев, Б. И. Материалы и термическая обработка прецизионных деталей дизельной топливной аппаратуры / Б. И. Лебедев // Тр. ЦНИТА. – М., 1989. – Вып. 9. – С. 48–51.

123. Лебединский, Ю. Н. Дисперсное упрочнение электрохимических покрытий / Ю. Н. Лебединский, Л. И. Антропов // Применение металлопокрытий при производстве и ремонте деталей машин : сборник. – Киев : Техника, 1977. – С. 8–9.

124. *Лебединский, Ю. Н.* Композиционные электрохимические покрытия, применяемые на предприятиях Минстройдормаша / Ю. Н. Лебединский. – М. : ЦНИИТЭстроймаш, 1975. – 39 с.

125. *Левитский, И. С.* Технология ремонта машин и оборудования / И. С. Левитский. – М. : Колос, 1975. – 560 с.

126. *Лепешкин, А. В.* Гидравлика и гидропневмопривод : гидравлические машины и гидропневмопривод : учебник. / А. В. Лепешкин, А. А. Михайлин, А. А. Шейпак. – М. : Инфра-М, 2017. – 444 с.

127. *Лившиц, Б. Г.* Металлография / Б. Г. Лившиц – М. : Металлургия, 1990. – 333 с.

128. *Ловкис,* 3. *В.* Гидроприводы сельскохозяйственной техники : конструкция и расчет / 3. В. Ловкис. – М. : Агропромиздат, 1990. – 238 с.

129. *Лурье, И. Г.* Высшая математика : практикум / И. Г. Лурье, Т. П. Фунтикова. – М. : ИНФРА-М, 2013. – 158 с.

130. *Лышевский, А. С.* Системы питания дизелей / А. С. Лышевский. – М. : Машиностроение, 1981. – 215 с.

131. Лялякин, В. П. Перспективы восстановления деталей сельскохозяйственной техники / В. П. Лялякин // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК : материалы IX междунар. конф. «ИнформАгро – 2017», 7–9 июня 2017 г. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2017. – С. 473–477.

132. Лялякин, В. П. Плазменные технологии в повышении эффективности работы топливных насосов высокого давления дизельных двигателей / Н. Р. Адигамов, В. П. лялякин, Р. Ю. Соловьев, С. Н. Шарифуллин // Технология машиностроения. – 2015. – №7. – С. 32–34.

133. *Матулис, Ю. Ю.* Блестящие и электрохимические покрытия. / Ю. Ю. Матулис. – Вильнюс : Минтис, 1969. – 613 с.

134. *Машков, Ю. К.* Трибология конструкционных материалов : учебное пособие / Ю. К. Машков. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 1996. – 298 с.

135. *Мелков, М. П.* Электролитическое наращивание деталей машин твердым железом / М. П. Мелков. – Саратов : Приволж. кн. из-во, 1964. – 204 с.

136. *Мелкумов, Я. С.* Экономическая оценка эффективности инвестиций и финансирование инвестиционных проектов / Я. С. Мелкумов. – М. : ИКЦ «ДИС», 1997. – 158 с.

137. *Миркин, Л. И.* Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов : справочник / Л. И. Миркин, Я. С. Уманский ; под ред. Я. С. Уманского. – М. : Физматлит, 1961. – 863 с.

138. *Митряков, А. В.* Надежность восстановительной технологии / А. В. Митряков. – Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1979. – 183 с.

139. *Молодык, Н. В.* Восстановление деталей машин : справочник / Н. В. Молодык, А. С. Зеикин. – М. : Машиностроение, 1989. – 479 с.

140. *Молчанов, В.* Ф. Получение комбинированных покрытий при хромировании / В. Ф. Молчанов. – Киев : Машиностроение, 1964. – 89 с.

141. Молчанов, В. Ф. Хромирование в саморегулирующихся электролитах /
В. Ф. Молчанов. – Киев : Техника, 1972. – 155 с.

142. *Морохов, И. Д.* Ультрадисперсные металлические среды / И. Д. Морохов, Л. И. Трусов, С. П. Чижик. – М. : Атомиздат, 1977. – 264 с.

143. *Мясоедов, Н. С.* Исследование износа золотниковых пар гидрораспределителей Р75-В3 тракторной гидросистемы / Н. С. Мясоедов // Тр. ГОСНИТИ. – Т. 8. – М., 1966. – С. 57–62.

144. *Никандрова, Л. И.* Химические способы получения металлических покрытий / Л. И. Никандрова ; под ред. П. М. Вячеславова – Л. : Машиностроение, 1971. – 104 с.

145. Общемашиностроительные нормативы времени на гальванические покрытия и механическую обработку поверхностей до и после покрытия. – М. : Экономика, 1988. – 121 с.

146. ОСТ 1.00228–77. Методика определения режимов ускоренных эквивалентных испытаний агрегатов управления потоком жидкости. – М. : ГОСНИТИ, 1977. – 30 с.

147. ОСТ 1.90366-85. Система стандартов безопасности труда. Производство металлических и неметаллических неорганических покрытий и травление металлов. Требования безопасности – М. : ГОСНИТИ, 1987. – 29 с.

148. ОСТ 114.68.9.542–85. Гидрораспределители золотникового типа. Методы ускоренных испытаний на надежность. – М. : ГОСНИТИ, 1985. – 18 с.

149. ОСТ 23.1–364–81. Насосы топливные высокого давления тракторных и комбайновых дизелей. Методы ускоренных испытаний на надежность. – М. : ГОСНИТИ, 1982. – 28 с.

150. Распределитель гидравлический типа Р160 : паспорт. ТУ УЗ.37– 00235814–006–95 / ОАО «Мелитопольский завод тракторных гидроагрегатов».

151. Распределитель гидравлический типа Р80 : паспорт. ТУ 3.У00235814– 002–93 / ОАО «Мелитопольский завод тракторных гидроагрегатов».

152. Пат. 2023749 Российская Федерация, МПК С 23 С 18/32, С 22 В 23/00. Способ химического никелирования / С. П. Петросянц, А. М. Большаков, М. А. Малярик. – № 5050921/02 ; заявл. 06.07.1992 ; опубл. 30.11.1994.

153. Пат. 2094545 Российская Федерация, МПК С 25 D 15/00. Электролит для осаждения композиционных покрытий на основе хрома / Г. Н. Сысоев. – № 96102293/02 ; заявл. 07.02.1996 ; опубл. 27.10.1997.

154. Пат. 2135635 Российская Федерация, МПК С 23 С 18/36. Раствор для химического никелирования / О. И. Ломовский, Е. И. Фадеев, Л. А. Павлюхина. – № 98108127/02 ; заявл. 27.04.1998 ; опубл. 27.08.1999.

155. Пат. 2207933 Российская Федерация, МПК В 22 F 9/12. Способ получения ультрадисперсного порошка и устройство для его осуществления / В. И. Кириллин, Э. К. Добринский, Е. А. Красюков, С. И. Малашин. – № 2001118997/02 ; заявл. 10.07.2001 ; опубл. 10.07.2003, Бюл. № 19.

156. Пат. 2213167 Российская Федерация, МПК С 25 D 15/00. Износостойкое композиционное покрытие / А. М. Великолуг, В. В. Зяблицев, О. В. Зяблицева. – № 2002107768/02 ; заявл. 26.03.2002 ; опубл. 27.09.2003, Бюл. № 27. 157. Пат. 2231581 Российская Федерация, МПК С 25 D 15/00. Электролит хромирования и способ получения хромового покрытия на стальных деталях / Е. Н. Каблов, Ю. М. Полукаров, А. А. Едигарян, А. Д. Жирнов, В. А. Ильин, Б. П. Налетов, Е. В. Тюриков. – № 2002134951/02 ; заявл. 25.12.2002 ; опубл. 27.06.2004, Бюл. № 18.

158. Пат. 2238174 Российская Федерация, МПК В 22 F 9/14. Способ получения ультрадисперсного порошка и устройство для его осуществления / В. Ю. Мелешко, В. А. Карелин, Г. Я. Павловец, С. И. Малашин, Э. К. Добринский, Е. А. Красюков. – № 2003129029/02 ; заявл. 30.09.2003; опубл. 20.10.2004, Бюл. № 29.

159. Пат. 2283373 Российская Федерация, МПК С 25 В 15/00. Способ получения композиционных электрохимических покрытий из саморегулирующихся электролитов хромирования / В. В. Сафонов, Э. К. Добринский, С. И. Малашин, С. А. Шишурин, А. Р. Гольдберг, К. В. Сафонов – № 2004126058/02 ; заявл. 25.08.2004 ; опубл. 10.09.2006, Бюл. № 25.

160. Пат. 2287612 Российская Федерация, МПК С 23 С 18/50. Раствор для получения композиционного покрытия химическим осаждением / Г. А. Данюшина, В. Т. Логинов, В. А. Левинцев, П. Д. Дерлугян, Н. Л. Игнатенко, Н. А. Отыч. – № 2005113858/02 ; заявл. 05.05.2005 ; опубл. 20.11.2006, Бюл. № 32.

161. Пат. 2465374 Российская Федерация, МПК С 23 С 18/36, В 82 В 1/00. Раствор для химического осаждения композиционных никелевых покрытий / В. В. Сафонов, С. А. Шишурин, В. С. Семочкин. – № 2011111482/02 ; заявл. 25.03.2011 ; опубл. 27.10.2012, Бюл. № 30.

162. Пат. 2610381 Российская Федерация, МПК С 25 D 15/00. Электролитсуспензия для получения износостойких покрытий на основе железа / В. В. Сафонов, С. А. Шишурин, П. А. Горбушин, С. В. Егоров. – № 2015126298 ; заявл. 13.07.2015 ; опубл. 09.02.2017, Бюл. № 4.

163. Пат. 2680116 Российская Федерация, МПК C25D 15/00, C25D 17/02. Установка для получения композиционных электролитических покрытий / В. В. Сафонов, Э. К. Добринский, С. А. Шишурин, С. В. Чумакова, П. А. Горбушин. – № 2018116958 ; заявл. 07.05.2018 ; опубл. 15.02.2019, Бюл. № 5.

164. *Пашин, Ю. Д.* Исследование некоторых технологических процессов восстановления деталей шестеренчатых насосов тракторных гидросистем : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Пашин Ю. Д. – Саратов, 1967. – 40 с.

165. *Петров, Ю. Н.* Влияние условий электролиза на свойства электролитических железных покрытий / Ю. Н. Петров. – Душанбе : Таджикгосиздат, 1957. – 156 с.

166. *Петров, Ю. Н.* Ремонт автотракторных деталей гальваническими покрытиями / Ю.Н. Петров, В. П. Косов, М. П. Стратулат. – Кишинев : Картя Молдовеняскэ, 1976. – 150 с.

167. *Петухов, И. В.* Закономерности формирования химически восстановленных никелевых покрытий : автореф. дис. ... канд. хим. наук / Петухов И. В. – Пермь, 1993. – 16 с.

168. Повышение износостойкости деталей электрохимическими сплавами на основе железа / Г. В. Гурьянов [и др.] // Сельский механизатор. – 2017. – № 2. – С. 34–35.

169. Повышение ресурса форсунок / А. Т. Лебедев [и др] // Вестник АПК Ставрополья. – 2014. – № 2 (14). – С. 33–37.

170. Полукаров, Ю. М. О механизме включения твердых частиц в электролитический осадок / Ю. М. Полукаров, Л. И. Лямина, В.В. Гринина // Электрохимия. – 1978. – Т. 14. – С. 1635–1641.

171. *Поляк, М. С.* Технология упрочнения. Технологические методы упрочнения : в 2 т. / М. С. Поляк. – М. : Машиностроение, 1995. – Т. 2. – 688 с.

172. *Пустыльник, Е. И.* Статистические методы анализа и обработки наблюдений / Е. И. Пустыльник. – М. : Наука, 1968. – 288 с.

173. *Рагигскене, С. С.* Влияние условий формирования КЭП Ni–TiO₂ на фазовый состав и микротвердость / С. С. Рагигскене, К. Х. Гайгалас // Тр. АН Лит. ССР. – Сер. Б. – 1979. – Т. 1 (110). – С. 29.

174. *Раманаускене, Д. Я.* О включении керамических микропорошков в никелевые покрытия / Д. Я. Раманаускене, Ю. Ю. Матулис // Тр. АН Лит. ССР. – Сер. Б. – 1975. – Т. 3 (88). – С. 29–33.

175. РД 50-690-89. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 132 с.

176. *Решетов, Д. Н.* Надежность машин / Д. Н. Решетов, А. С. Иванов, В. З. Фадеев ; под ред. Д. Н. Решетова. – М. : Высшая школа, 1988. – 237 с.

177. РТМ 70.0001.246-84. Руководящий технический материал. Критерии предельного состояния тракторов и их составных частей. – М. : ГОСНИТИ Госкомсельхозтехники СССР, 1985. – 11 с.

178. *Рылякин, Е. Г.* Повышение работоспособности гидросистемы трактора терморегулированием рабочей жидкости : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Рылякин Е. Г. – Пенза, 2007. – 17 с.

179. *Сайфуллин, Р. С.* Комбинированные электрохимические покрытия и материалы / Р. С. Сайфуллин. – М. : Химия, 1972. – 167 с.

180. *Сайфуллин, Р. С.* Композиционные покрытия и материалы / Р. С. Сайфуллин. – М. : Химия, 1977. – 270 с.

181. *Сайфуллин, Р. С.* Неорганические композиционные материалы / Р. С. Сайфуллин. – М. : Химия, 1983. – 300 с.

182. *Саутин, С. Н.* Планирование эксперимента в химии и химической технологии / С. Н. Саутин. – Л. : Химия, 1975. – 48 с.

183. Северный, А. Э. Защита сельскохозяйственной техники от коррозии / А.
Э. Северный, Е. А. Пучин. – М. : АгроНИИТЭИИТО, 1990. – 51 с.

184. *Селиванов, А. И.* Дизельная топливная аппаратура. Устройство, техническое обслуживание и ремонт / А. И. Селиванов. – М. : Сельхозгиз, 1954. – 535 с.

185. Сельскохозяйственные тракторы. Технические и эксплуатационные характеристики / под ред. Н. А. Щельцына – М. : Гильдия «АПК-ПРЕСС», 2007. – 144 с.

186. *Сергеев, В. 3.* Восстановление и упрочнение плунжерных пар топливных насосов типа НД / В. 3. Сергеев ; ЦНИИТЭИ Госкомсельхозтехники СССР. – М., 1984. –С. 48-51.

187. *Соловьев, Б. М.* Детонационно-газовое напыление изношенных деталей / Б. М. Соловьев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1991. – № 12. – С. 34.

188. *Старосельский, А. А.* Долговечность трущихся деталей машин / А. А. Старосельский, Д. Н. Гаркунов. – М. : Машиностроение, 1967. – 395 с.

189. *Сырицын, Т.А.* Эксплуатация и надежность гидро- и пневмоприводов / Т. А. Сырицын. – М. : Машиностроение, 1990. – 247 с.

190. *Тененбаум, М. М.* Сопротивление абразивному изнашиванию / М. М. Таненбаум. – М. : Машиностроение, 1976. – 271 с.

191. Технология упрочнения и восстановления деталей сельскохозяйственной техники нанокомпозиционным гальваническим железнением / В. В. Сафонов [и др.] // Научная жизнь. – 2019. – № 2. – С. 33–42.

192. *Травин, О. В.* Материаловедение : учебник для вузов / О. В. Травин, Н. Т. Травина. – М. : Металлургия, 1989. – 382 с.

193. Улучшение показателей эффективности использования энергетических средств с дизельными двигателями модернизацией распылителей форсунок / А. Т. Лебедев [и др.]// Наука в центральной России. – 2018. – № 5 (35). – С. 71–77.

194. *Файнлейб, Б. Н.* Топливная аппаратура автотракторных дизелей / Б. Н. Файнлейб. – Л. : Машиностроение, 1990. – 352 с.

195. Физико-математическая модель механизма упрочнения гальванических покрытий наноразмерными материалами / В. В. Сафонов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2018. – № 7. – С. 55–58.

196. *Филатов, В. И.* Резервы повышения надежности изделий машиностроения. Композиционные электроосаждаемые материалы / В. И. Филатов. – Кишинев : Машиностроение, 1976. – 75 с.

197. *Фомин, Ю. Я*. Топливная аппаратура дизелей : справочник / Ю. Я. Фомин, Г. В. Никонов, В. Г. Ивановский. – М. : Машиностроение, 1982. – 169 с.

198. *Фудзии, Т.* Механика разрушения композиционных материалов / Т. Фудзии, М. Дзахо ; пер. с яп. С. Л. Масленникова. – М. : Мир, 1982. – 232 с.

199. *Хабибуллин, И. Г.* Коррозионная стойкость металлов с дисперсноупрочненными покрытиями / И. Г. Хабибуллин, Р. А. Усманов. – М. : Машиностоение, 1991. – 111 с.

200. *Хрущев, М. М.* Абразивное изнашивание / М. М. Хрущев, М. А. Бабичев. – М. : Наука, 1970. – 251 с.

201. *Хрущев, М. М.* Износостойкость и структура твердых наплавок / М. М. Хрущев, М. А. Бабичев. – М. : Машиностроение, 1971. – 96 с.

202. *Цыпцын, В. И.* Повышение долговечности отремонтированных дизелей совершенствованием технологии приработки и применением упрочняющих покрытий : автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Цыпцын В. И. – М., 1991. – 36 с.

203. *Черкез, М. Б.* Хромирование / М. Б. Черкез, Л. Я. Богорад ; под ред П. М. Вячеславова. – Л. : Машиностроение, 1971. – 112 с.

204. *Черкун, В. Е.* Ремонт и долговечность тракторных гидравлических систем / В. Е. Черкун. – М. : Колос, 1972. – 255 с.

205. *Черкун, В. Е.* Ремонт тракторных гидравлических систем / В. Е. Черкун. – М. : Колос, 1984. – 253 с.

206. Черновол, М. И. Исследование процесса осаждения и свойств электролитических металлополимерных покрытий на основе железа для ремонта автотракторных деталей : автореф. дис. ... канд. техн. наук / Черновол М. И. – Саратов, 1977. – 21 с.

207. Шамко, В. К. Применение электродуговой металлизации при восстановлении деталей / В. К. Шамко, Г. Д. Захаренко, В. Л. Гуревич // Техника в сельском хозяйстве. – 1986. – № 11 – С. 40.

208. Шипачев, В. С. Задачник по высшей математике : учеб. пособие / В. С. Шипачев. – 10-е изд., стер. – М. : ИНФРА-М, 2016. – 304 с.

209. Шмаков, А. М. Восстановление деталей тракторов газотермическим напылением / А. М. Шмаков // Техника в сельском хозяйстве. – 1986. – № 4. – С. 51.

210. Экономика : справочное пособие / Д. В. Валовой [и др.]. – М. : Интел-Синтез, 2001. – 432 с.

211. Электроискровые технологии восстановления и упрочнения деталей машин и инструментов (теория и практика) / Ф. Х. Бурумкулов [и др.]. – Саранск : Красный Октябрь, 2003. – 504 с.

212. *Юдина, Е. М.* Влияние прочностных параметров композиционных покрытий на их износостойкость при абразивном изнашивании / Е. М. Юдина, Г. В. Гурьянов, Ю. Е. Кисель // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 6 (68). – С. 89–92.

213. *Anijdan, S. H. Mousavi* The Influence of pH, Rotating Speed and Cu Content Reinforcement Nano-Particles on Wear/Corrosion Response of Ni-P-Cu Nano-Composite Coatings / S. H. Mousavi Anijdan, M. Sabzi, M. Roghani Zadeh // Tribology international. – 2018. – Vol. 127. – P. 108–21.

214. Composition, Morphology, and Topography of Galvanic Coatings Fe-Co-W and Fe-Co-Mo / I. Y. Yermolenko [et al.] // Nanoscale Research Letters. -2017. - Vol.12. - No. 1. - P. 352.

215. Data on Energy-Band-Gap Characteristics of Composite Nanoparticles Obtained By Modification of the Amorphous Potassium Polytitanate in Aqueous Solutions of Transition Metal Salts / D.A. Zimnyakov [et al.] // Data in Brief. – 2016. – Vol. 7. – P. 1383–1388.

216. Effect of Alumina Nanoparticles on the Structure and Physicochemical Properties of Chromium Coatings / V. V. Safonov [et al.] // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2015. – Vol. 51. – No. 6. – P. 517–522.

217. Electroless Ni-P/SiC Nanocomposite Coatings with Small Amounts of SiC Nanoparticles for Superior Corrosion Resistance and Hardness / I. Mohammad [et al.] // Journal of Materials Engineering and Performance. – 2015. – Vol. 24. – P. 4835–4843.

218. Formation of Thick Layer Electro-Spark Coatings for Restoring Worn-out Parts of Power Hydraulic Cylinders / S. A. Velichko [et al.] // Surface Engineering and Applied Electrochemistry. – 2017. – Vol. 53. – No. 2. – P. 116–123. 219. *Honeycombe, R. W. K.* The Plastic Deformation of Metals / R. W. K. Honeycombe. – London : Edward Arnold, 1968. – 408 p.

220. *Hong, Luo.* Characterization of Microstructure and Properties of Electroless Duplex Ni-W-P/Ni-P nano-ZrO₂ Composite Coating / Luo Hong, Leitch Michael, Zeng Hongbo // Materials Today Physics. – 2018. – Vol. 4. – P. 36–42.

221. Influence of SiO₂ Nanoparticles on Hardness and Corrosion Resistance of Electroless Ni–P Coatings / I. Mohammad [et al.] // Surface and Coatings Technology. – 2015. – Vol. 261. – P. 141–148.

222. Insight into Physicomechanical and Tribological Properties of Copper Galvanic Coatings Formed with the Addition of Electroerosion Copper Nanopowder / E. V. Ageeva [et al.] // Russian Journal of Non-Ferrous Metals. – 2017. – Vol. 58. – No. 2. – P. 161–167.

223. Investigation of Structure and Wear Resistance of Nanocomposite Coating of Chemical Nickel / V. Safonov [et al.] // Tribology in Industry. – 2018. – Vol. 40. – No. 4. – P. 529–537.

224. *Martyak, N. M.* Annealing Behavior of Electroless Nickel Coatings / Martyak, N. M. // Metal Finish. – 1994. – Vol. 92. – No. 6. – P. 111–113.

225. *Metzger*, *W*. Abscheidung galvanische dispersionsuberzug / W. Metzger // Metaloberflache. – 1980. – Vol. 34. – \mathbb{N}_{2} 7. – S. 274–277.

226. *Mohammad, I.* Electrochemical Impedance Spectroscopy and Indentation Studies of Pure and Composite Electroless Ni–P Coatings / I. Mohammad, R. A. Muhammad, F. Narjes, T. David Burleigh // Surface and Coatings Technology. – 2013. – Vol. 236. – P. 262–268.

227. Optimisation of the Electrodeposition Process of Ni-W/ZrO₂ Nanocomposites / E. Beltowska-Lehman [et al.] // Journal of Electroanalytical Chemistry. – 2018 – Vol. 813. – P. 39–51.

228. *Panagopoulos, C. N.* Tensile Lehaviorer Af as Deposited and Heat Treated Electroless Ni-P Deposits / C. N. Panagopoulos, V. D. Papachristos, C. Sigalas // J. Mater. Sci. – 1999. – Vol. 34. – No. 11. – P. 2587–2600.

229. *Puippe, I.* Elektrodeposition par impulsions der caurant / I. Puippe, H. Anqerer, H. Schenk // Oberflache (Surfache). – 1979. – Vol. 20. – N_{2} 4. – S. 77–85.

230. *Pushpavanam, M.* Nikel-aluminium Oxide Composite Coating / M. Pushpavanam, B. A. Shenoi // Metal Finising. – 1987. – 42 p.

231. *Raghupathy, Y.* Microstructure, Electrochemical Behaviour and Bio-Fouling of Electrodeposited Nickel Matrix-Silver Nanoparticles Composite Coatings on Copper / Y. Raghupathy, K.A. Natarajan, Chandan Srivastava // Surface and Coatings Technology. – 2017. – Vol. 328 – P. 266–275.

232. *Rong, Hu.* Deposition Process and Properties of Electroless Ni-P-Al₂O₃ Composite Coatings on Magnesium Alloy / Hu Rong, Su Yongyao, Liu Yurong // Nanoscale research letters. – 2018. – Vol. 13. – P. 198.

233. Synthesis and Electrophysical Properties of Ceramic Nanocomposites Based on Potassium Polytitanate Modified by Chromium Compounds / A. V. Gorokhovskii [et al.] // Glass and Ceramics. – 2016. – Vol. 73. – No. 5–6. – P. 206–209.

234. *Zhang, J. Z.* Characterization of Electroless Nickel with Low Phosphorus / J.
Z. Zhang // Journal of Materials science letter. – 1998. – Vol. 17. – No. 1. – P. 37–40.

приложения















V САРАТОВСКИЙ Салон Изобретений, Инноваций и инвестиций



награждается

Сафонов В.В., Шишурин С.А., Семочкин В.С

ФГОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»

за проект

Нанокомпозиционные гальвано-химические покрытия

Министр промышленности и энергетики Саратовской области

Никонов А.В.

Ректор Саратовского государственного технического университета Плеве И.Р.





VI САРАТОВСКИЙ САЛОН ИЗОБРЕТЕНИЙ, ИННОВАЦИЙ И ИНВЕСТИЦИЙ

ГРАМОТА

награждается Сафонов В.В., Шишурин С.А., Сёмочкин В.С. ФГОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»

за проект

«Нанокомпозиционные гальванохимические покрытия на основе хрома, никеля и железа»

Министр промышленности и энергетики Саратовской области К.В. ГОРШЕНИН Ректор Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова Н.И. КУЗНЕЦОВ



салон

VII САРАТОВСКИЙ САЛОН ИЗОБРЕТЕНИЙ, ИННОВАЦИЙ И ИНВЕСТИЦИЙ

ДИПЛОМ I степени Золотая медаль

Присуждается за проект

Нанотехнологические методы ресурсосбережения технических объектов

Авторы проекта Сафонов В.В., Добринский Э.К., Гороховский А.В., Шишурин С.А., Азаров А.С., Палагин А.И., Хорюков С.И., Третьяченко Е.В., Аристов Д.В., Сафонов К.В., Сёмочкин В.С.

ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И.Вавилова»

Министр Саратовской области С.М. ЛИСОВСКИЙ

Ректор промышленности и энергетики Национального исследовательского Саратовского государственного университета им. Н.Г.Чернышевского Л.Ю. КОССОВИЧ



VIII САРАТОВСКИЙ САЛОН ИЗОБРЕТЕНИЙ, ИННОВАЦИЙ И ИНВЕСТИЦИЙ



I степени

Золотая медаль

присуждается за проект

Инновационные технологии получения наномодифицированных гальванохимических покрытий

Авторы проекта

Сафонов В.В., Шишурин С.А., Сёмочкин В.С. ФБГОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова»

Ми́нистр промышленности и энергетики Саратовской области С.М. ЛИСОВСКИЙ

Ректор Саратовского государственного аграрного университета имени Н.И. Вавилова Н.И. КУЗНЕЦОВ





VII Саратовский Индустриальный форум

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

ФГБОУ ВПО «СГАУ имени Н. И. Вавилова»

проект

«Наномодифицированные гальвано-химические покрытия и смазочные материалы для повышения надёжности импортозамещающих изделий машиностроения»

Победитель конкурса «Инновации в промышленности» в рамках VII САРАТОВСКОГО ИНДУСТРИАЛЬНОГО ФОРУМА 2015» в номинации:

«Инновации в химической промышленности, в том числе в сфере производства и применения композиционных материалов»

Первый заместитель министра промышленности и энергетики Саратовской области М.Л. Шихалов Генеральный директор ЗАО ВЦ «Софит-Экспо» А.С. Бурлачук


ШИШУРИН СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

К.Т.Н., ДОЦЕНТ САРАТОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМ. Н.И.ВАВИЛОВА

за участие в экспозиции «Инновационные разработки» в рамках

VIII САРАТОВСКОГО ИНДУСТРИАЛЬНОГО ФОРУМА

(23 - 25 августа, САРАТОВ)



А.С. Бурлачук



ДИПЛОМ

Награждается

Шишурин Сергей Александрович

к.т.н., ст. преподаватель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ», занявший I место в конкурсе научных проектов молодых учёных «Инновационная наука – молодой взгляд в будущее», секция «Развитие аграрных инженерных технологий в XXI веке» на тему: «Новый способ упрочнения деталей машин нанокомпозиционным хромированием» Научный руководитель: д.т.н. В.В. Сафонов



Н.И. Кузнецов 11.06.08 г.



диплом

УЧАСТНИКА ВТОРОГО МЕЖДУНАРОДНОГО КОНКУРСА НАУЧНЫХ РАБОТ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ В ОБЛАСТИ НАНОТЕХНОЛОГИЙ.

Награждается:

Шишурин Сергей Александрович

Генеральный директор Государственной корпорации «Российская корпорация нанотехнологий» А.Б. Чубайс



ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

Шишурин Сергей Александрович

доцент кафедры «Надежность и ремонт машин» за лучшую научную работу в секции «Развитие агроинженерных технологий в XXI веке» конкурса научных проектов молодых ученых «Инновационная наука – молодой взгляд в будущее»

Ректор ФГОУ ВПО «Сар



Н.И. Кузнецов

III Российский форум

РОССИЙСКИЙ КАПИТАЛ

РОССИЙСКИМ ИННОВАЦИЯМ

VIII Ярмарка бизнес-ангелов и инноваторов



ПРИСУЖДАЕТСЯ

II место

VIII Ярмарки бизнес-ангелов и инноваторов «Российским инновациям – российский капитал» организации

ГОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»

за инновационный проект «Нанокомпозиционные гальвано-химические покрытия» по направлению «Сельское машиностроение»

Заместитель полномочного представителя Президента Российской Федерации в Приволжском федеральном округе председатель межрегионального оргкомитета

А.А. Кубрин

1-3 июня 2010 года Удмуртская Республика г. Ижевск МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКИ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

ПОЧЁТНАЯ ГРАМОТА

награждается

Сафонов В.В., Шишурин С.А.

ГОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», кафедра «Надежность и ремонт машин»

за проект

Способ получения нанокомпозиционных гальванических покрытий на основе хрома

Министр промышленности и энергетики Саратовской области

А.В.Никонов



295



Новые материалы,

и нанотехнологиии nano-world.ulstu.ru

наносистемы

Российский фонд фундаментальных исследований Научно-методический совет по материаловедению и технологии конструкционных материалов при Министерстве образования и науки Российской Федерации Министерство образования Ульяновской области Ульяновский государственный технический университет

Δиπλομ

I степени

НАГРАЖДАЕТСЯ

Шишурин Сергей

по итогам участия во Всероссийском конкурсе по направлениям конференции за успехи в научно-техническом творчестве и научно-исследовательской работе по теме

"Нанокомпозиционные гальвано-химические покрытия"



Н.Г. Ярушкина

ISSN 2079-3731

Министерство образования и науки Российской Федерации Федеральное агентство по делам молодежи Правительство Ульяновской области Ульяновский государственный технический университет





Шишурин Сергей, Сёмочкин Владимир

руководитель Сафонов Валентин Владимирович

ГОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова»

за научную работу

«Нанокомпозиционные гальвано-химические покрытия на основе хрома и никеля»

Председатель Экспертного совета



Н. Г. Ярушкина



ЧИПЛОМ

МИНИСТЕРСТВО ПРОМЫШЛЕННОСТИ И ЭНЕРГЕТИКИ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

награждает

ГОУ ВПО Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова

в номинации "Лучший проект по внедрению ресурсосберегающих технологий"

проект

"Ресурсосберегающие нанокомпозиционные гальванохимические покрытия и нанокомпонентные смазочные материалы"

> Руководитель проекта: Сафонов В.В. Участники проекта: Шишурин С.А., Азаров А.С.

Министр

С.М. Лисовский

8-10 июня 2011 г. Оренбург

Сельскохозяйственный Форум Сарадов (Сарадов (Са

НАГРАЖДАЕТСЯ

НИЛ «Применение наноматериалов при техническом сервисе автотракторной техники» (Сафонов В.В., Шишурин С.А., Азаров С.А.,

Венскайтис В.В., Горбушин П.А.)

(г. Саратов)

за активное участие в Форуме

«САРАТОВ-АГРО. 2018» (20 – 21 февраля, САРАТОВ)

Генеральный директор Выставочного Центра «СОФИТ-ЭКСПО»

CAPATOB

-









密始始始始始始始始始始始始始始始始始

容



路路路路路 密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密 密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

B

日

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

田

Электролит-суспензия для получения износостойких покрытий на основе железа

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2610381

Патентообладатель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова" (RU)

Авторы: Сафонов Валентин Владимирович (RU), Шишурин Сергей Александрович (RU), Горбушин Павел Александрович (RU), Егоров Сергей Владимирович (RU)

Заявка № 2015126298

Приоритет изобретения 13 июля 2015 г. Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 09 февраля 2017 г. Срок действия исключительного права на изобретение истекает 13 июля 2035 г.

> Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

- illerer

Г.П. Ивлиев

路路路路路路

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密 密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

斑 密

密

密

密

密

斑

斑

斑

密

斑

密

密

密

路

资





密

密

密

密

密

密

路路

密

密

密

密

密

路路

密

密

密

密

密

密

数数

密

密

密

怒

B

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密

密



на изобретение № 2465374

РАСТВОР ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО ОСАЖДЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ НИКЕЛЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

Патентообладатель(ли): Сафонов Валентин Владимирович (RU), Шишурин Сергей Александрович (RU), Сёмочкин Владимир Сергеевич (RU)

Автор(ы): см. на обороте

Заявка № 2011111482

密密路路路路路路路路路路路路路路路路路路路路路

Приоритет изобретения **25 марта 2011 г.** Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **27 октября 2012 г.** Срок действия патента истекает **25 марта 2031 г.**

> Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

there

Б.П. Симонов

段

段

路路路路路路

密

路路

密

密



Результаты измерений микротвердости нанокомпозиционных покрытий

Результаты измерений микротвердости нанокомпозиционных покрытий на основе железа





Гистограмма накопленных опытных вероятностей
Полигон распределения опытных вероятностей
График дифферинциальной функции

Статистические	Нанокомпозиционное	Нанокомпозиционное	Нанокомпозиционное
показатели	хромирование	железнение	никелирование
Среднее значение			
показателя	14,33	7,25	9,66
надежности			
Среднее			
квадратическое	0,05	0,06	0,03
отклонение			
Смещение	1/ 16	7.03	9.54
рассеивания	14,10	7,05	7,34
Коэффициент	0.283	0.276	0.284
вариации	0,203	0,270	0,204



Результаты испытаний на износостойкость образцов из стали ШХ15 на

Приложение Г



Результаты испытаний на износостойкость образцов с нанокомпоз. покрытием на основе хрома на чистом дизельном топливе

Гистограмма накопленных опытных вероятностей
Полигон распределения опытных вероятностей

Прафик дифферинциальной функции	— Граф	ик диффери	нциальной	функции
---------------------------------	--------	------------	-----------	---------

		Образцы с	Образцы с
	Образцы из стали	базовым	нанокомпоз.
Статистические	ШХ15 на чистом	покрытием хрома	покрытием на
показатели	дизельном	на чистом	основе хрома на
	топливе	дизельном	чистом дизельном
		топливе	топливе
Среднее значение			
показателя	18,70	12,91	8,81
надежности			
Среднее			
квадратическое	0,22	0,13	0,19
отклонение			
Смещение	17 87	12.42	8 08
рассеивания	17,07	12,42	0,00
Коэффициент	0.27	0.276	0.26
вариации	0,27	0,270	0,20



Результаты испытаний на износостойкость образцов из стали ШХ15 на загрязненном дизельном топливе



Результаты испытаний на износостойкость образцов с нанокомпоз. покрытием на основе хрома на загрязненном лизельном топливе

--- Полигон распределения опытных вероятностей

- График	лифферинт	иальной	функции
1 pupin	μηφφορήπι	unumbiion	функции

Статистические показатели	Образцы из стали ШХ15 на загрязненном дизельном топливе	Образцы с базовым покрытием хрома на загрязненном дизельном топливе	Образцы с нанокомпоз. покрытием на основе хрома на загрязненном дизельном топливе
Среднее значение показателя надежности	28,77	24,26	13,09
Среднее квадратическое отклонение	0,15	0,16	0,15
Смещение рассеивания	28,21	23,71	12,52
Коэффициент вариации	0,266	0,292	0,254





Результаты испытаний на износостойкость образцов с нанокомпоз. покрытием на основе железа на чистом масле.

Гистограмма накопленных опытных вероятностей
Полигон распределения опытных вероятностей

	-	-	-
- График	дифф	еринциальной	функции

Статистические показатели	Образцы чугун СЧ20 – сталь 15Х на чистом масле	Образцы с базовым покрытием железа на чистом масле	Образцы с нанокомпоз. покрытием на основе железа на чистом масле
Среднее значение			
показателя	56,73	73,76	43,61
надежности			
Среднее			
квадратическое	0,18	0,19	0,13
отклонение			
Смещение	56.22	72.00	42.02
рассеивания	50,55	73,09	43,02
Коэффициент	0,289	0,292	0,227
вариации	-,		- ,





Результаты испытаний на износостойкость образцов чугун СЧ20 - сталь



ШШ Гистограмма накопленных опытных вероятностей --- Полигон распределения опытных вероятностей ---- График дифферинциальной функции

Статистические показатели	Образцы чугун СЧ20 – сталь 15Х на загрязненном масле	Образцы с базовым покрытием железа на загрязненном масле	Образцы с нанокомпоз. покрытием на основе железа на загрязненном масле
Среднее значение показателя надежности	83,81	100,54	62,14
Среднее квадратическое отклонение	0,1	0,17	0,12
Смещение рассеивания	83,44	99,89	61,73
Коэффициент вариации	0,266	0,267	0,284

Результаты испытаний на износостойкость образцов с нанокомпоз.







ШПГистограмма накопленных опытных вероятностей

--Полигон распределения опытных вероятностей

---- График дифферинциальной функции

Стотистиноскио	Образцы с базовым	Образцы с нанокомпоз.	
Покаратони	покрытием никеля на	покрытием на основе никеля	
показатели	чистом масле	на чистом масле	
Среднее значение	65 13	36.3	
показателя надежности	05,45	50,5	
Среднее квадратическое	0.14	0.05	
отклонение	0,14	0,05	
Смещение рассеивания	64,91	36,07	
Коэффициент вариации	0,272	0,227	





Ш Гистограмма накопленных опытных вероятностей

---Полигон распределения опытных вероятностей

---- График дифферинциальной функции

Статистические показатели	Образцы с базовым покрытием никеля на загрязненном масле	Образцы с нанокомпоз. покрытием на основе никеля на загрязненном масле
Среднее значение показателя надежности	91,17	52,38
Среднее квадратическое отклонение	0,16	0,18
Смещение рассеивания	90,61	51,69
Коэффициент вариации	0,282	0,266

Приложение Д



Результаты стендовых испытаний серийных





Гистограмма накопленных опытных вероятностей
Полигон распределения опытных вероятностей

---- График дифферинциальной функции

Статистические показатели	Серийные плунжерные пары	Плунжерные пары с базовым покрытием хрома	Плунжерные пары с нанокомпоз. покрытием на основе хрома
Среднее значение			
показателя	181,1	188,46	193,95
надежности			
Среднее			
квадратическое	0,7	0,84	0,95
отклонение			
Смещение	178.6	185 5	100.4
рассеивания	178,0	165,5	190,4
Коэффициент	0.282	0.284	0.267
вариации	0,202	0,204	0,207



Результаты стендовых испытаний серийных золотниковых пар Р160

Результаты стендовых испытаний золотниковых пар Р160 с базовым покрытием железа





Результаты стендовых испытаний золотниковых пар Р16	50 c
нанокомпозиционным покрытием на основе железа	

---- График дифферинциальной функции

Статистические показатели	Серийные золотниковые пары Р160	Золотниковые пары Р160 с базовым покрытием железа	Золотниковые пары Р160 с нанокомпоз. покрытием на основе железа
Среднее значение показателя надежности	24,55	34,17	19,66
Среднее квадратическое отклонение	0,41	0,16	0,19
Смещение рассеивания	23,17	33,61	18,99
Коэффициент вариации	0,298	0,282	0,291



Результаты стендовых испытаний серийных золотниковых пар Р80

Результаты стендовых испытаний золотниковых пар P80 с базовым покрытием никеля





---- График дифферинциальной функции

Статистические показатели	Серийные золотниковые пары Р80	Золотниковые пары Р80 с базовым покрытием никеля	Золотниковые пары Р80 с нанокомпоз. покрытием на основе никеля
Среднее значение показателя надежности	21,74	23,1	14,59
Среднее квадратическое отклонение	0,25	0,14	0,1
Смещение рассеивания	20,86	22,62	14,24
Коэффициент вариации	0,282	0,298	0,291

Приложение Е

Утверждаю Директор (Саратовлизельаппарат» Ю.М. Холодков ноября 2018 г.

АКТ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЯ ЯМЗ-238НД3

Комиссия в составе: представителей ООО «Саратовдизельаппарат»: директора по развитию Т.А. Голеня, заместителя генерального директора А.Н. Паршина и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ: профессора, доктора технических наук В.В. Сафонова, доцента С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина составила настоящий акт в том, что в условиях ООО «Саратовдизельаппарат» проведены стендовые испытания шести топливных насосов двигателей ЯМЗ-238НДЗ с серийными и упрочненными базовым и нанокомпозиционным гальваническим хромированием плунжерными парами.

Каждые два насоса комплектовали соответственно серийными плунжерными парами, восстановленными базовым и нанокомпозиционным хромированием. Гидроплотность плунжерных пар до проведения испытаний составляла 18...20 с.

Испытания проводили на стенде КИ-22205-01 ГОСНИТИ, на котором были смонтированы термокамера и смеситель, позволяющие поддерживать постоянную температуру и загрязненность дизельного топлива. Продолжительность испытаний 130 ч. Через каждые 10 ч фиксировали пусковую цикловую подачу топлива.

В результате проведения испытаний были получены следующие результаты:

1. Пусковая цикловая подача серийных плунжерных пар снизилась в среднем на 14,4%, упрочненных базовым хромированием на 11,2%, нанокомпо-

зиционным хромированием на 7,8%.

2. Гидроплотность серийных плунжерных пар после проведения испытаний составила в среднем 14 с, упрочненных базовым хромированием 16 с, нанокомпозиционным хромированием 18 с.

Утечек топлива, следов задира и схватывания на рабочих поверхностях плунжерных пар, в процессе испытаний не наблюдалось.

представители	
000 «Саратовдизе	ельаппарат»
Spn-	Голеня Т.А.
« <u>20</u> » ноября	2018 г.
Top	_ Паршин А.Н.
« <u>20</u> » ноября	2018 г.

П

Представители ФГБОУ ВО		
Саратовский ГАУ		
/.	В.В. Сафонов	
« <u>20</u> » ноября	_2018 г.	
	С.А. Шишурин	
« <u>20</u> » ноября	_2018 г.	
	П.А. Горбушин	
« <u>20</u> » ноября	_2018 г.	



АКТ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЯ ЯМЗ-238НД3

Комиссия в составе: представителей ООО «Сельхозтехника»: главного инженера А.А. Ефанова, начальника станции технического обслуживания А.А. Сергуна, технолога А.В. Бубнова и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ: профессора, доктора технических наук В.В. Сафонова, доцента С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина составила настоящий акт в том, что в условиях ООО «Сельхозтехника» проведены стендовые испытания шести топливных насосов двигателей ЯМЗ-238НДЗ с серийными и упрочненными базовым и нанокомпозиционным гальваническим хромированием плунжерными парами.

Каждые два насоса комплектовали соответственно серийными плунжерными парами, восстановленными базовым и нанокомпозиционным хромированием. Гидроплотность плунжерных пар до проведения испытаний составляла 18...20 с.

Испытания проводили на стенде КИ-22205-01 ГОСНИТИ, на котором были смонтированы термокамера и смеситель, позволяющие поддерживать постоянную температуру и загрязненность дизельного топлива. Продолжительность испытаний 130 ч. Через каждые 10 ч фиксировали пусковую цикловую подачу топлива.
В результате проведения испытаний были получены следующие результаты:

1. Пусковая цикловая подача топлива у серийных плунжерных пар снизилась в среднем на 13,4%, упрочненных базовым хромированием на 10,5%, нанокомпозиционным хромированием на 7,6%.

2. Гидроплотность серийных плунжерных пар после проведения испытаний составила в среднем 15 с, упрочненных базовым хромированием 16 с, нанокомпозиционным хромированием 18 с.

Утечек топлива, следов задира и схватывания на рабочих поверхностях плунжерных пар, в процессе испытаний не наблюдалось.

Представители	1 Ip
ООО «Сельхозтехника»	Ca
A.A. Ed	анов
« <u>27 » наребря</u> 2018 г	. «_
Д.н. К	удлаев
«27» табря 2018 г	. «
А.В. Бубн	ов
« <u>27</u> » почебря 2018 г	

Представители ФГІ	БОУ ВО
Саратовский ГАУ	
Comment:	В.В. Сафонов
« 17» montops	_2018 г.
	С.А. Шишурин
«27» Marespa	_2018 г.
hell	_П.А. Горбушин
«27» more Spa	2018 г.



АКТ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ Р160-3/1 -222

Комиссия в составе: представителей ООО «Саратовдизельаппарат»: директора по развитию Голеня Т.А., заместителя генерального директора Парпина А.Н. и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ: профессора, доктора технических наук В.В. Сафонова, доцента С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина составила настоящий акт о том, что в ООО «Саратовдизельаппарат» были проведены стендовые испытания гидрораспределителей Р160-3/1-222 с серийными и упрочненными нанокомпозиционным гальваническим железнением золотниками.

Испытаниям подвергали два гидрораспределителя с серийными золотниками, два гидрораспределителя с золотниками, восстановленными гальваническим железнением и два гидрораспределителя с золотниками, упрочненными и восстановленными нанокомпозиционным гальваническим железнением.

Перед началом испытаний гидрораспределители регулировали и проверяли в соответствии ГОСТ 20245-74 «Гидроаппаратура. Правила приемки и методы испытаний» на стенде КИ-4815М.

Ускоренные испытания каждого распределителя проводили с применением искусственного загрязнителя на стенде КИ-4815М. Продолжительность испытаний каждого золотника 40 ч. По окончании сравнительных износных испытаний были получены следующие результаты:

1. Величина утечек в гидрораспределителях с серийными золотниками составила 24 см³/мин; в гидрораспределителях с золотниками восстановленными гальваническим железнением – 35 см³/мин; в гидрораспределителях с золотниками восстановленными и упрочненными нанокомпозиционным гальваническим железнением – 19 см³/мин.

2. В гидрораспределителях, золотники которых были упрочнены нанокомпозиционным железнением, величина утечек в 1,3 раза меньше, чем в серийных, и в 1,8 раза меньше, чем у гидрораспределителей с золотниками восстановленными железнением.

3. Следов задира и схватывания на рабочих поверхностях золотников, в процессе испытаний, не наблюдалось.

Представители

00	20-119	аратовдизе	ельаппарат»
CA	D	n	Голеня Т.А.
«	<u>12</u> »_	октября	_2017 г.
-	Top		_ Паршин А.Н.
«_	<u>12</u> »_	октября	2017 г.

Представители ФГБОУ ВО				
С	apa	тов	ский ГАУ	/
		1	/~	В.В. Сафонов
~	12	_>>	октября	2017 г.
		4		С.А. Шишурин
«_	12))	октября	_2017 г.
_	6	1	il	_ П.А. Горбушин
<<	12	»>	октября	_2017 г.

Утверждаю Директор ОСС Ссихозтехника» ТКузьмин тября 2017 г.

СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ Р160-3/1 -222

AKT

Комиссия в составе: представителей ООО «Сельхозтехника»: главного инженера А.А. Ефанова, начальника цеха Д.Н. Кудлаева, технолога А.В. Бубнова и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ: профессора, доктора технических наук В.В. Сафонова, доцента С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина составила настоящий акт о том, что в ООО «Сельхозтехника» были проведены стендовые испытания гидрораспределителей Р160-3/1-222 с серийными и упрочненными нанокомпозиционным гальваническим железнением золотниками.

Испытаниям подвергали три гидрораспределителя с серийными золотниками, три гидрораспределителя с золотниками, восстановленными гальваническим железнением и три гидрораспределителя с золотниками, упрочненными и восстановленными нанокомпозиционным гальваническим железнением.

Перед началом испытаний гидрораспределители регулировали и проверяли в соответствии ГОСТ 20245-74 «Гидроаппаратура. Правила приемки и методы испытаний» на стенде КИ-4815М.

Ускоренные испытания каждого распределителя проводили с применением искусственного загрязнителя на стенде КИ-4815М. Продолжительность испытаний каждого золотника 40 ч. По окончании сравнительных износных испытаний были получены следующие результаты:

1. Величина утечек в гидрораспределителях с серийными золотниками составила 24 см³/мин; в гидрораспределителях с золотниками восстановленными гальваническим железнением – 34 см³/мин; в гидрораспределителях с золотниками восстановленными и упрочненными нанокомпозиционным гальваническим железнением – 18 см³/мин.

2. В гидрораспределителях, золотники которых были упрочнены нанокомпозиционным железнением, величина утечек в 1,3 раза меньше, чем в серийных, и в 1,9 раза меньше, чем у гидрораспределителей с золотниками восстановленными железнением.

3. Следов задира и схватывания на рабочих поверхностях золотников, в процессе испытаний, не наблюдалось.

Представители

0	00 «C	ельхозтехн	ника»
_	Cpa	5	_А.А. Ефанов
«	<u>26</u> »	окрября	2017 г.
_	Kygy		_ Д.Н. Кудлаев
«	<u>26</u> »_	окрября	2017 г.
_	Try	₹A	.В. Бубнов
<<	26 »	окрября	2017 г.

rip	едети	DHICHII TI	BOT BO
Caj	ратов	ский ГАУ	
6	Con a series	2.	В.В. Сафонов
«_2	26 »_	октября	_2017 г.
	2	C	С.А. Шишурин
«_2	26 »_	октября	2017 г.
	(all	_ П.А. Горбушин
« 2	26 »	окрября	_2017 г.

Представители ФГБОУ ВО



АКТ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ Р80-3/1-222

Комиссия в составе: представителей ООО «Саратовдизельаппарат»: директора по развитию Т.А. Голеня, заместителя генерального директора А.Н. Паршина и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ: профессора, доктора технических наук В.В. Сафонова, доцента С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина составила настоящий акт о том, что в условиях ООО «Саратовдизельаппарат» были проведены стендовые испытания гидрораспределителей Р80-3/1-222 с серийными и упрочненными базовым и нанокомпозиционным химическим никелированием золотниками.

Испытаниям подвергали два гидрораспределителя с серийными золотниками, два гидрораспределителя с золотниками, восстановленными химическим никелированием и два гидрораспределителя с золотниками, упрочненными и восстановленными нанокомпозиционным химическим никелированием.

Перед началом испытаний гидрораспределители регулировали и проверяли в соответствии ГОСТ 20245-74 «Гидроаппаратура. Правила приемки и методы испытаний» на стенде КИ-4815М.

Ускоренные испытания каждого распределителя проводили с применением искусственного загрязнителя на стенде КИ-4815М. Продолжительность испытаний каждого золотника 40 ч. По окончании сравнительных износных испытаний были получены следующие результаты:

1. Величина утечек в гидрораспределителях с серийными золотниками составила 22 см³/мин; в гидрораспределителях с золотниками восстановленными химическим никелированием – 23,5 см³/мин; в гидрораспределителях с золотниками упрочненными нанокомпозиционным химическим никелированием – 14,5 см³/мин.

2. В гидрораспределителях, золотники которых были упрочнены нанокомпозиционным химическим никелированием, величина утечек в 1,5 раза меньше, чем в серийных, и в 1,6 раза меньше, чем у гидрораспределителей с золотниками восстановленными химическим никелированием.

3. Следов задира и схватывания на рабочих поверхностях золотников, в процессе испытаний, не наблюдалось.

представители	Пред
000 «Саратовдизельаппарат»	Capar
Поленя Т.А.	
« <u>20</u> » ноября 2018 г.	«_20
Паршин А.Н.	
« <u>20</u> » ноября 2018 г.	« 20

Представители ФГ	БОУ ВО
Саратовский ГАУ	
	В.В. Сафонов
« <u>20</u> » ноября	2018 г.
	С.А. Шишурин
« <u>20</u> » ноября	2018 г.
	_ П.А. Горбушин
« <u>20</u> » ноября	2018 г.



АКТ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ Р80-3/1-222

Комиссия в составе: представителей ООО «Сельхозтехника»: главного инженера А.А. Ефанова, начальника цеха Д.Н. Кудлаева, технолога А.В. Бубнова и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ: профессора, доктора технических наук В.В. Сафонова, доцента С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина составила настоящий акт о том, что в условиях ООО «Сельхозтехника» были проведены стендовые испытания гидрораспределителей Р80-3/1-222 с серийными и упрочненными базовым и нанокомпозиционным химическим никелированием золотниками.

Испытаниям подвергали три гидрораспределителя с серийными золотниками, три гидрораспределителя с золотниками, восстановленными химическим никелированием и три гидрораспределителя с золотниками, упрочненными и восстановленными нанокомпозиционным химическим никелированием.

Перед началом испытаний гидрораспределители регулировали и проверяли в соответствии ГОСТ 20245-74 «Гидроаппаратура. Правила приемки и методы испытаний».

Ускоренные испытания каждого распределителя проводили с применением искусственного загрязнителя на стенде КИ-4815М. Продолжительность испытаний каждого золотника 40 ч. По окончании сравнительных износных испытаний были получены следующие результаты:

1. Величина утечек в гидрораспределителях с серийными золотниками составила 21,8 см³/мин; в гидрораспределителях с золотниками восстановленными химическим никелированием – 23,1 см³/мин; в гидрораспределителях с золотниками упрочненными нанокомпозиционным химическим никелированием – 14,6 см³/мин.

2. В гидрораспределителях, золотники которых были упрочнены нанокомпозиционным химическим никелированием, величина утечек в 1,49 раза меньше, чем в серийных, и в 1,58 раза меньше, чем у гидрораспределителей с золотниками восстановленными химическим никелированием.

3. Следов задира и схватывания на рабочих поверхностях золотников, в процессе испытаний, не наблюдалось.

Представители ФГБОУ ВО Представители Саратовский ГАУ ООО «Сельхозтехника» В.В. Сафонов А.А. Ефанов 2018 г. 17 » 2018 г. Heredog roll С.А. Шишурин Д.Н. Кудлаев How St 2018 г. 2018 г. А.В. Бубнов П.А. Горбушин 2018 г. 2018 г.



Результаты эксплуатационных испытаний серийных плунжерных пар





Приложение Ж



Гистограмма накопленных опытных вероятностей
Полигон распределения опытных вероятностей
График дифферинциальной функции

Статистические показатели	Серийные плунжерные пары	Плунжерные пары с базовым покрытием хрома	Плунжерные пары с нанокомпоз. покрытием на основе хрома
Среднее значение	201.01		204.40
показателя	201,94	202,8	204,19
надежности			
Среднее			
квадратическое	0,26	0,21	0,27
отклонение			
Смещение	201.1	202.1	203.24
рассеивания	201,1	202,1	203,24
Коэффициент	0 207	0.280	0.284
вариации	0,297	0,209	0,204



Результаты эксплуатационных испытаний золотниковых пар Р160 с базовым покрытием никеля



336



Результаты эксплуатационных испытаний золотниковых пар P160 с нанокомпозиционным покрытием на основе железа

Гистограмма накопленных опытных вероятностей
Полигон распределения опытных вероятностей
График дифферинциальной функции

Статистические показатели	Серийные золотниковые пары Р160	Золотниковые пары Р160 с базовым покрытием железа	Золотниковые пары Р160 с нанокомпоз. покрытием на основе железа
Среднее значение			
показателя	20,98	30,35	17,12
надежности			
Среднее			
квадратическое	0,21	0,13	0,14
отклонение			
Смещение	20.28	20.03	16.62
рассеивания	20,28	29,95	10,02
Коэффициент	0 291	0.298	0.282
вариации	0,271	0,270	0,202



Результаты эксплуатационных испытаний золотниковых пар Р80 с базовым покрытием никеля



338



Гистограмма накопленных опытных вероятностей
Полигон распределения опытных вероятностей
График дифферинциальной функции

Статистические показатели	Серийные золотниковые пары Р80	Золотниковые пары Р80 с базовым покрытием никеля	Золотниковые пары Р80 с нанокомпоз. покрытием на основе никеля
Среднее значение			
показателя	13,05	15,1	10,09
надежности			
Среднее			
квадратическое	0,12	0,07	0,16
отклонение			
Смещение	12.63	14.86	0.51
рассеивания	12,03	14,00	9,51
Коэффициент	0.208	0.201	0.284
вариации	0,290	0,291	0,204

Приложение 3

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный д	иректор	
ООО «Агрофиј	рма «Рубеж»	
Amm	Артен	мов П.А.
« <u>05</u> »_	декабря	2018 г.
		1
АКТ		

Эксплуатационных испытаний экспериментальных плунжерных пар топливных насосов дизелей ЯМЗ-238НДЗ

Комиссия в составе представителей ООО «Агрофирма «Рубеж»: инженера по эксплуатации МТП Нагаева В.С., заместителя генерального директора на производственном участке Банталова А.П., помощника механика Зайцева С.В. и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова: профессора, д.т.н. Сафонова В.В., доцента, к.т.н. Шишурина С.А., ассистента Горбушина П.А. составила настоящий акт в том, что в ООО «Агрофирма «Рубеж» проведены эксплуатационные испытания трех ТНВД дизелей ЯМЗ-238НДЗ С серийными И упрочненными базовым И нанокомпозиционным гальваническим хромированием плунжерными парами.

Перед испытаниями экспериментальные ТНВД были отрегулированы и в течение 10 ч обкатаны на стенде КИ-22205-01 ГОСНИТИ.

В процессе эксплуатационных испытаний контролировали: наработку насосов и изменение цикловой подачи топлива на пусковом режиме. После каждых 250 мото-ч топливные насосы демонтировали с тракторов, регулировали и определяли цикловую пусковую подачу на стенде КИ-22205-01 ГОСНИТИ.

По окончании проведения испытаний было установлено:

- Наработка насосов к моменту окончания испытаний составила 2000 мото-ч. Отказов за период эксплуатации по вине экспериментальных плунжерных пар не наблюдалось.
- Пусковая цикловая подача серийных плунжерных пар снизилась на 3,8%, упрочненных базовым хромированием на 3,4%, нанокомпозиционным хромированием на 2,7%.

Представители
ООО «Агрофирма «Рубеж»
В.С. Нагаев
« <u>05</u> » декабря 2018 г.
А.П. Банталов
« <u>05</u> » декабря 2018 г.
С.В. Зайцев
« <u>05</u> » декабря 2018 г.

Представители ФГБОУ ВО	
Саратовский ГАУ	
Comment:	В.В. Сафонов
« <u>05</u> » декабря	2018 г.
	С.А. Шишурин
« <u>05</u> » декабря	_2018 г.
half	_ П.А. Горбушин
« <u>05</u> » декабря	_2018 г.



АКТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ ДИЗЕЛЕЙ ЯМЗ-238НД3

Комиссия в составе представителей ИП Глава К(Ф)Х Волков В.В.: заместителя главы КФХ Волкова В.В., главного инженера Волкова А.В., заведующего МТП Фролова В.Е. и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова: профессора, д.т.н. Сафонова В.В., доцента, к.т.н. Шишурина С.А., ассистента Горбушина П.А. составила настоящий акт в том, что в ИП глава КФХ «Волков В.В.» были в эксплуатации шесть тракторов К-700A ТНВД оснащенные дизелей ЯМЗ-238HД3 серийными С И упрочненными базовым И нанокомпозиционным гальваническим хромированием плунжерными парами.

Перед испытаниями экспериментальные ТНВД были отрегулированы и стенде КИ-22205-01. Каждый обкатаны на насос комплектовался соответственно серийными плунжерными парами, плунжерными парами упрочненными базовым хромированием И плунжерными парами упрочненными нанокомпозиционным хромированием.

В процессе испытаний контролировали: наработку насосов и изменение пусковой цикловой подачи топлива. После каждых 250 мото-ч топливные насосы демонтировали с тракторов, регулировали и определяли пусковую цикловую пусковую подачу на стенде КИ-22205-01.

По окончании проведения испытаний было установлено:

- Наработка насосов к моменту окончания испытаний составила 1500 мото-ч. Отказов за период эксплуатации по вине экспериментальных плунжерных пар не наблюдалось.
- Пусковая цикловая подача серийных плунжерных пар снизилась на 3,1%, упрочненных базовым хромированием на 2,7%, упрочненных нанокомпозиционным хромированием на 1,8%.

«<u>02</u>» декабря 2018 г. <u>Ре</u> В.Е. Фролов «<u>02</u>» декабря 2018 г.

Представители ФГ	БОУ ВО
Саратовский ГАУ	
Comment?	В.В. Сафонов
« <u>02</u> » декабря	2018 г.
	С.А. Шишурин
« <u>02</u> » декабря	2018 г.
- happy	_ П.А. Горбушин
« <u>02</u> » декабря	2018 г.

УТВЕРЖДАЮ Генеральный директор ООО «Агрофирма «Рубеж» Артемов П.А. mis 05 » декабря 2018 г. ~

AKT

Эксплуатационных испытаний экспериментальных золотниковых пар гидравлических распределителей Р160

Комиссия в составе представителей ООО «Агрофирма «Рубеж»: инженера по эксплуатации МТП Нагаева В.С., заместителя генерального директора на производственном участке Банталова А.П., помощника механика Зайцева С.В. и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова: профессора, Д.Т.Н. Сафонова В.В., доцента, к.т.н. Шишурина С.А., ассистента Горбушина П.А. составила настоящий акт о том, что в ООО «Агрофирма «Рубеж» находились на эксплуатационных испытаниях шесть тракторов К-700А, оборудованных экспериментальными гидрораспределителями типа P160 3/1-222, выполняющие различные сельскохозяйственные работы. Два трактора были нормированные укомплектованы гидрораспределитями, золотниковые пары которых были восстановлены нанокомпозиционным гальваническим железнением, другие два трактора были укомплектованы гидрораспределителями, золотниковые пары которых были восстановлены ПО существующей технологии гальваническим железнением, последние два трактора были укомплектованы серийными гидрораспределителями. Перед испытаниями все гидрораспределители были отрегулированы на стенде КИ-4815М. В процессе испытаний контролировали наработку тракторов и техническое состояние испытуемых гидрораспределителей: с периодичностью в 125 мото-ч

измеряли величину утечек гидравлической жидкости через золотниковые пары каждого гидрораспределителя.

По окончании испытаний было установлено:

1. Наработка каждого трактора, оборудованного экспериментальным гидрораспределителем, составила в среднем 2000 мото-ч. Отказов в работе за период эксплуатации не наблюдалось.

2. Средняя величина утечек в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены по существующей технологии гальваническим железнением составила 30,3 см³/мин, в серийных гидрораспределителях – 21 см³/мин, а в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены по предлагаемой технологии нанокомпозиционным гальваническим железнением – 17,1 см³/мин, что в 1,75 раз меньше, чем у гидрораспределителей, золотниковые пары которого восстанавливали по существующей технологии и в 1,25 раза меньше, чем у серийных гидрораспределителей.

Представители	Представители ФГБОУ ВО
ООО «Агрофирма «Рубеж»	Саратовский ГАУ
В.С. Нагаев	В.В. Сафонов
« <u>05</u> » декабря 2018 г.	« <u>05</u> » декабря 2018 г.
А.П. Банталов	С.А. Шишурин
« <u>65</u> » декабря 2018 г.	« <u>05</u> » декабря 2018 г.
С.В. Зайцев	П.А. Горбушин
« <u>05</u> » декабря 2018 г.	« <u>05</u> » декабря 2018 г.



AKT

Эксплуатационных испытаний экспериментальных гидравлических распределителей P160

Комиссия в составе представителей ИП Глава К(Ф)Х Волков В.В.: заместителя главы К(Ф)Х Волкова В.В., главного инженера Волкова А.В., заведующего МТП Фролова В.Е. и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова: профессора, д.т.н. Сафонова В.В., доцента, к.т.н. Шишурина С.А., ассистента Горбушина П.А. составила настоящий акт о том, что в расположении ИП глава КФХ «Волков В.В.» были в эксплуатации K-700A, шесть тракторов оснащенные испытываемыми гидрораспределителями Р160 3/1-222, выполняющие различные виды сельскохозяйственных работ. Два трактора комплектовались серийными гидрораспределителями; другие два – гидрораспределителями, золотниковые пары которых были восстановлены гальваническим железнением; последние два гидрораспределителями, золотниковые пары которых восстанавливались нанокомпозиционным гальваническим железнением. Перед испытаниями все гидрораспределители прошли регулировку на стенде КИ-4815М. В процессе испытаний контролировали наработку тракторов и утечки через испытываемые золотниковые пары. Периодичность замеров утечек составляла 125 мото-ч.

По окончании испытаний установили:

346

 Наработка тракторов с испытываемыми гидрораспределителями составила в среднем 1400 мото-ч. Отказов в работе за период эксплуатации не наблюдалось.

2. Средняя величина утечек в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены гальваническим железнением составила 20,2 см³/мин, в серийных гидрораспределителях – 14,3 см³/мин, а в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены нанокомпозиционным гальваническим железнением – 11,7 см³/мин, что в 1,75 раза меньше, чем у гидрораспределителей, золотниковые пары которых были восстановлены по существующей технологии и в 1,2 раза меньше, чем у серийных гидрораспределителей.

Представители

ИП Глава К(Ф)Х Волков В.В. ________В.В. Волков «<u>02</u>» декабря 2018 г. ________В.А. Волков «<u>02</u>» декабря 2018 г. ________В.Е. Фролов «<u>02</u>» декабря 2018 г. Представители ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ В.В. Сафонов «<u>02</u>» <u>декабря</u> 2018 г. С.А. Шишурин «<u>02</u>» <u>декабря</u> 2018 г. <u>С.А. Горбушин</u> «<u>02</u>» <u>декабря</u> 2018 г.

УТВЕРЖДАЮ Глава СХПК "Горецкое" mon Ю. С. Кушаев 2012 г. 10

AKT

Эксплуатационных испытаний экспериментальных гидравлических распределителей P160

Комиссия в составе представителей СХПК «Горецкое»: главы СХПК Ю.С. Кушаева, главного инженера Б.И. Изей и представителей ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» им. Н.И. Вавилова: профессора, д.т.н. Сафонова В.В., доцента, к.т.н. Шишурина С.А., ст. преподавателя Сёмочкина В.С. составила настоящий акт в том, что в расположении СХПК «Горецкое» находились в эксплуатации три трактора K-700A, оснащенные испытываемыми P160, гидрораспределителями выполняющими различные виды сельскохозяйственных работ. Один из тракторов комплектовался серийным гидрораспределителем; другой – гидрораспределителем, золотниковые пары которого были восстановлены гальваническим железнением; третий – гидрораспределителем, золотниковые пары которого восстанавливались нанокомпозиционным гальваническим железнением. Перед испытаниями все гидрораспределители прошли регулировку на стенде КИ-4815М. В процессе испытаний контролировали наработку тракторов И утечки через испытываемые золотниковые пары. Периодичность замеров утечек составляла 125 мото-ч.

По окончании испытаний установили:

1. Наработка тракторов с испытываемыми гидрораспределителями составила в среднем 1625 мото-ч. Отказов в работе за период эксплуатации не наблюдалось.

2. Средняя величина утечек в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены гальваническим железнением составила 24,8 см³/мин, в серийных гидрораспределителях – 17,2 см³/мин, а в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены нанокомпозиционным гальваническим железнением – 14,7 см³/мин, что в 1,68 раза меньше, чем у гидрораспределителей, золотниковые пары которых были восстановлены по существующей технологии и в 1,17 раза меньше, чем у серийных гидрораспределителей.

	APCHER DATE OF DE	
		редставители
5	CXI	ТК «Горецкое»
12	hypicon	Ю.С.Кушаев
	" <u>30 " 10</u>	2012 г.
	thy	Б. И. Изей
	"_30 "1	02012 г.

	П	редставител	и ФГБОУ ВПО
«Cap	рат	овский ГАУ	им. Н.И. Вавилова»
1	1		_ В. В. Сафонов
" 30	"	oureSpe	_2012 г.
		Pàj	С. А. Шишурин
" <u>30</u>		aurespie	_2012 г.
		Com	В. С. Сёмочкин
"_30	_"-	OKTESP.E	_2012 г.

УТВЕРЖДАЮ Генеральный директор ООО «Агрофирма «Рубеж» Артемов П.А. min 05 » декабря 2018 г. АКТ

Эксплуатационных испытаний экспериментальных золотниковых пар гидравлических распределителей Р80

Комиссия в составе представителей ООО «Агрофирма «Рубеж»: инженера по эксплуатации МТП Нагаева В.С., заместителя генерального директора на производственном участке Банталова А.П., помощника механика Зайцева С.В. и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова: профессора, д.т.н. Сафонова В.В., доцента, к.т.н. Шишурина С.А., ассистента Горбушина П.А. составила настоящий акт о том, что в ООО «Агрофирма «Рубеж» находились на эксплуатационных испытаниях три трактора ДТ-75, оборудованных экспериментальными гидрораспределителями типа Р80, выполняющие различные нормированные сельскохозяйственные работы. Первый трактор был укомплектован гидрораспределитем, золотниковые пары которого были упрочнены нанокомпозиционным химическим никелированием, второй трактор был укомплектован гидрораспределителем, золотниковые пары которого были восстановлены базовым химическим никелированием, третий трактор был укомплектован серийным гидрораспределителем. Перед испытаниями все гидрораспределители были отрегулированы на стенде КИ-4815М. В процессе испытаний контролировали наработку тракторов и техническое состояние испытуемых гидрораспределителей. С периодичностью в 125 мото-ч измеряли величину утечек гидравлической жидкости через золотниковые пары каждого гидрораспределителя.

По окончании испытаний было установлено:

1. Наработка каждого трактора, оборудованного экспериментальным гидрораспределителем, составила в среднем 2000 мото-ч. Отказов в работе за период эксплуатации не наблюдалось.

2. По окончании проведения испытаний средняя величина утечек в гидрораспределителе, золотниковые пары которого были восстановлены базовым химическим никелированием составила 15,1 см³/мин, в серийном гидрораспределителе – 13,1 см³/мин, а в гидрораспределителе, золотниковые пары которого были упрочнены нанокомпозиционным химическим никелированием – 10,0 см³/мин.

Представители	
ООО «Агрофирма «)	Рубеж»
B.C	С. Нагаев
« 05 » декабря	2018 г.
A.I	П. Банталов
« <u>05</u> » декабря	_2018 г.
C.I	3. Зайцев
« <u>05</u> » декабря	_2018 г.

Представители ФГБОУ ВО		
Саратовский ГАУ		
Game of:	_ В.В. Сафонов	
« <u>05</u> » декабря	2018 г.	
	С.А. Шишурин	
« <u>05</u> » декабря	2018 г.	
half	_ П.А. Горбушин	
« <u>05</u> » декабря	_2018 г.	

УТВЕРЖДАЮ ИП Глава К(Ф)Х Волков В.В. 290,00 Волков В.В. « 02 » 2018 г. декабря

AKT

Эксплуатационных испытаний экспериментальных гидравлических распределителей Р80

Комиссия в составе представителей ИП Глава К(Ф)Х Волков В.В.: заместителя главы КФХ Волкова В.В., главного инженера Волкова А.В., заведующего МТП Фролова В.Е. и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова: профессора, д.т.н. В.В. Сафонова, доцента, к.т.н. С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина составила настоящий акт о том, что в расположении ИП глава КФХ «Волков В.В.» были в эксплуатации шесть тракторов MT3-80, оснащенные испытываемыми P80, гидрораспределителями выполняющими различные виды сельскохозяйственных работ. Два трактора комплектовались серийными гидрораспределителем; два других – гидрораспределителями, золотниковые пары которых были восстановлены химическим никелированием; два последних гидрораспределителями, золотниковые пары которых восстанавливались нанокомпозиционным химическим никелированием. Перед испытаниями все гидрораспределители прошли регулировку на стенде КИ-4815М. В процессе испытаний контролировали наработку тракторов и утечки через испытываемые золотниковые пары. Периодичность замеров утечек составляла 125 мото-ч.

По окончании испытаний установили:

 Наработка тракторов с испытываемыми гидрораспределителями составила в среднем 1750 мото-ч. Отказов в работе за период эксплуатации не наблюдалось.

2. Средняя величина утечек в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены химическим никелированием составила 13,4 см³/мин, в серийных гидрораспределителях – 11,8 см³/мин, а в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены нанокомпозиционным химическим никелированием – 9,5 см³/мин.

Представители

И	П Глан	ва К(Ф)Х В	олков В.В.
	Be	<u>2</u> B	.В. Волков
«_	<u>02</u> »_	декабря	_2018 г.
6	Boun	<u>k</u> B	.А. Волков
«_	<u>02</u> »_	декабря	_2018 г.
_	Prof	<u></u> В	.Е. Фролов
«_	02_»_	декабря	2018 г.

Представители ФГ	БОУ ВО
Саратовский ГАУ	
Comment?	В.В. Сафонов
« <u>02</u> » декабря	_2018 г.
	С.А. Шишурин
« <u>02</u> » декабря	2018 г.
- hept	_П.А. Горбушин
« <u>02</u> » декабря	2018 г.



AKT

Эксплуатационных испытаний экспериментальных гидравлических распределителей P80

Комиссия в составе представителей КФХ «Лавровское»: главы КФХ C.C. H.H. Постельникова «Лавровское» Сёмочкина. механика И представителей ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» им. Н.И. Вавилова: профессора, д.т.н. В.В. Сафонова, доцента, к.т.н. С.А. Шишурина, ст. преподавателя В.С. Сёмочкина составила настоящий акт в том, что в расположении КФХ «Лавровское» находились в эксплуатации три трактора ДТ-75, оснащенные испытываемыми гидрораспределителями P80, выполняющими различные виды сельскохозяйственных работ. Один из тракторов комплектовался серийным гидрораспределителем; другой – гидрораспределителем, золотниковые пары которого были восстановлены базовым химическим никелированием; третий – гидрораспределителем, золотниковые пары которого восстанавливались нанокомпозиционным химическим никелированием. Перед испытаниями все гидрораспределители на стенде КИ-4815М. В процессе испытаний прошли регулировку контролировали наработку тракторов и утечки через испытываемые золотниковые пары. Периодичность замеров утечек составляла 125 мото-ч.

По окончании испытаний установили:

1. Наработка тракторов с испытываемыми гидрораспределителями составила в среднем 1250 мото-ч. Отказов в работе за период эксплуатации не наблюдалось.

2. Средняя величина утечек в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены химическим никелированием составила 10,2 см³/мин, в серийных гидрораспределителях – 9,1 см³/мин, а в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены нанокомпозиционным химическим никелированием – 8,2 см³/мин.

Представители КФХ "Лавровское":

Представители ФГБОУ ВПО

С. С. Сёмочкин 2012 г. Н.Н. Постельников 2012 г. JABPOBK!

«Саратовский ГАУ им. Н.И. Вавилова» В. В. Сафонов 2012 г. 22 С. А. Шишурин 22 " 2012 г. DKER В. С. Сёмочкин " 22 " 2012 г. OKTOOPR

УТВЕРЖДАЮ Глава КФХ "Харенко В.В." В.В. Харенко 2012 г.

AKT

Эксплуатационных испытаний экспериментальных гидравлических распределителей Р80

Комиссия в составе представителей КФХ «Харенко В.В.»: главы КФХ В.В. Харенко, главного механика П.А. Слюзова и представителей ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» им. Н.И. Вавилова: профессора, д.т.н. В.В. Сафонова, доцента, к.т.н. С.А. Шишурина, ст. преподавателя В.С. Сёмочкина составила настоящий акт в том, что в расположении КФХ «Харенко В.В.» были в эксплуатации три трактора МТЗ-80, оснащенные испытываемыми гидрораспределителями P80, выполняющими различные виды сельскохозяйственных работ. Один из тракторов комплектовался серийным гидрораспределителем; другой – гидрораспределителем, золотниковые пары которого были восстановлены базовым химическим никелированием; третий - гидрораспределителем, золотниковые пары которого восстанавливались нанокомпозиционным химическим никелированием. Перед испытаниями все гидрораспределители прошли регулировку на стенде КИ-4815М. В процессе наработку испытаний контролировали тракторов утечки через И золотниковые пары. Периодичность испытываемые замеров утечек составляла 125 мото-ч.

По окончании испытаний установили:

1. Наработка тракторов с испытываемыми гидрораспределителями составила в среднем 1500 мото-ч. Отказов в работе за период эксплуатации не наблюдалось.

2. Средняя величина утечек в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены химическим никелированием составила 11,9 см³/мин, в серийных гидрораспределителях – 10,6 см³/мин, а в гидрораспределителях, золотниковые пары которых были восстановлены нанокомпозиционным химическим никелированием – 8,8 см³/мин.

Пред	іставители
КФХ «Х	Каренко В.В.»
Port of the state	В.В. Харенко
A Provide a state of the state	2012 г.
BRANNARD Cuffe	П.А. Слюзов
1	2012 г.

и ФГБОУ ВПО
им. Н.И. Вавилова»
_ В. В. Сафонов
_2012 г.
С. А. Шишурин
_2012 г.
В. С. Сёмочкин
_2012 г.

Схема измерения плунжера на приборе «Talyrond»



Круглограммы серийного плунжера





Круглограммы восстановленного плунжера

359



Приложение К
СГАЧ Кареда IC и ТКИ ЯИЗ-238 Кареда IC и ТКИ ЯИЗ-238 Кореда IC и ТКИ Линикерная па ФГБОЧ ВО САРАТОВСКИИ ГАЧ ФГБОЧ ВО САРАТОВСКИИ ГАЧ ФГБОЧ ВО САРАТОВСКИИ ГАЧ ФГБОЧ ВО САРАТОВСКИИ ГАЧ ССОР На ЕТП Босстановления и упрочнения ерной пары топливного высокого давлением 238 нанокомпозиционным гальваническим хромированием 238 нанокомпозиционным гальваническим хромированием 238 нанокомпозиционным гальваническим хромированием 238 нанокомпозиционным гальваническим хромированием	DE		UTBEPXIAIO Aupekmop OOO "Capamobdusenbannapam" Xanabkob IO.M. 2017 2.		4.3РАБОТАЛИ: отрудники кафедры Технический сервис и технология онструкционных материалов" т.н. профессор Сафонов В.В. т.н. доцент Шишурин С.А. ссистент Горбушин П.А. 2012 г.	
	СГАУ Кафедра ТС и ТКМ ЯМЗ-238 Плунжерная пара	ΦΓΕΟΥ ΒΟ CAPA TOBCKNŇ ΓΑΥ	KOMINEKT DOKYMEHTOB	на ЕТП восстановления и упрочнения грной пары топливного нососа высокого давления	238 нанокомпозиционным гальваническим хромированием РА. Соп 77° ат дт асс асс	

цбл.		0L I 3.11U	N-82 Фарм	7.0								
MDE.												
1/0/	-		-					-			1	01
aspaðo	man (appendo B.B. CTAY Illumypur C.A. Kadoeddaa "TC u	"HM"	ЛЬ	13-23	82							
Imbepd			ΠM	TaxHt.	I RDHL	Dapo						
4 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	Ину Чи РМ Плеп Кад наименавание аперации	$\left \right $				000	апнанон	докумен	DL			
P	Кад, наименование оборцаввания	CM	φody	P	<i>yT</i>	KP A	ПИО)	EH	01	Kum	Tn.3.	Tum
K/W	Наименование детали, сб. ебиницы или материала строи ЛЛ5 МЛРЧНЛЯ	+		1003НДЧЕНГ	le, kod	ŀ	+	niii	ΓD	LT I	107 Nº5	n. putx
10	Машина моечная ОРГ 4,990 Б ГОСНИТИ	-	н мойщик.	- ~	dx/H	1	20	1	20	-	7	2,85
1 03	Моющее средство "Лабомид-203" ТУ 2149–132–10968286–200	-	-	-	-	-	-	-	K2	101	- 1	0,05
04	Madanonam FOCT 7138–83	-	_		-	-	-	-	M ²	10	- 1	0,15
05	Загрузить детали в контейнер, установить в моечную маши	л, промы.	ть до удал	ения сл	и дора.	ירעם ח	грязи.	-	-	-	-	
06	Кантейнер собственного изготовления, халат ГОСТ 25194–8.	, перчат	н ки резинові	I LOCI	T 12401	5-82.	-	-	-	-		
07		-	-		-	-	-			.		
08	Деф. 010 Дефектовочная	-	_		-	-	-	-	-	М.	OL No 10	
09	Стол дефектовщика ОРГ-1468-099А ГОСНИТИ	-	дефект.	4	H/xp	1	1	1	20		5	2,6
00	Madanonan FOCT 7138-83	-	_		-	-	-	-	M ²	10	- 1	0,15
11	Пефектовать плунжерную пару в соответствии с требовани	ти ан пме	од п бумапс	сстань	вление.	-	-	-	-	-	-	
12	Измерительные прибары ЦНИТА 82118; ЦНИТА 09.601; калибр .	1 6 700	320; калибр	9.020	195700	2; אמכר	Embi HC	7-344, 3	144.346.	- -		
13		.						F	F	-		
1 14	слес. 015 Доводочная	-	_						, р.	M	SLOV 101	
15	Плоско-доводочный станок 3816	-	слесарь.	5	H/p	1	1	1	20		5	2
16	Пагта давадочная АСМ 20/14 ГОСТ 9206-80	_	_	_	-	-	-	-	K2	10		0,1

ГОСТ З.1118-82 Фарма 15	2	адал тара адал жанг	д наименабание операции	jäotiavus CM Npop P YT KP KONII EH ON Kum Tr.3. Tum	ιω υπν παιτιερυαπα	унжера до выведения следов износа.	ітира 19491–008; кассета НО–345, цанга 19664–012.	-	Доводочная 101 №20	0-Д – слесарь 5 Н/р 1 1 1 20 – 6 2,2	206-80 - 10 - 0,1	улки да выведения следав изнаса.	тира 19497–025; державка для давадки отверстия 19678–087;	345, цанга Т9664–012.		Маечная МОТ №25	- Maútuuri 3 H/xp 1 20 1 20 - 5 3,15			32, перчатки резинавые ГОСТ 124.015–82.		
		Плунжерная пара	Цех 94 РМ Опер Кад наименование операции	Кад, наименабание аборудования	Наименование детали, сб. единицы или материала	Обработать рабочую поверхность плунжера до выведения следо.	Притир 19397-042; державка для притира 19491-008; кассета	-	слес. 020 Доводочная	Вертикально-дободочный станок 3820-Д	Паста доводочная АСМ 20/14 ГОСТ 9206-80	Обработать радачую поверхность втулки до выведения следов и	Притир 19397-044; оправка для притира 19497-025; державка и	антрпритир 19397–041, кассета Н0–345, цанга 19664–012.		спец. 025 Моечная	Ванна моечная ОМ-1316	Керасин ГОСТ 10227-86	Промыть плунжеры в керосине.	Кассета НО-345, халат ГОСТ 25194-82, перчатки резиновые ГОС		
นี่ปูอัก. B3an.			А	Р	K/M	0 01	T 02	03	A 04	<i>Б</i> 05	M 06	0 07	T 08	60	10	A 11	<i>Б 1</i> 2	M B	0 14	T 15	16	

ГОСТ 3.1118-82 Фарма 1Б		3	Плунжерная пара	Ан РМ Опер Код наименование операции 2003-14 РМ Опер Такимента	Кай наименование адорудавания. Намостование датони съданици или матопитата. СМ Проф Р 97 КР КОЛД ЕН ОЛ Кит П.З. Тит Постолование датони съданици или матопитата.	TALL 030 MOEYHOR MOT NO 200 MOEYHOR	моечная ОМ-1316 – Койщик. 3 Н/хр 1 20 1 20 – 5 5,6	техническая ГОСТ 23732-79 - 5,0	ть плунжеры последовательно горячей (8090°С) и холодной водой.	та НО-345, халат ГОСТ 25194-82, перчатки резиновые ГОСТ 124.015-82.		слес. 035 Слесарная ИОТ №35	чантажный ОРГ 14.68-01-060A.	арвиниловая эмаль XB-1100 ГОСТ 6993-79 с 0,05	ировать плунжеры на подвеску; изолировать части плунжера и подвески не подлежащие покрытию и соприкасающиеся с электролитом.	жа для хромирования содственного изготовления; кисть волосяная ГОСТ 54586–82.		слес. 040 Слесарная ИОТ №40	ак слесарный ОРГ 1468–01-060А. – слесарь. 4 Н/хр 1 20 1 20 – 6 4,8	19 uaßecme TY 2101-95-67.	оеть босстанавливаемые поверхности плунжеров венской известью.	жа для композиционного хромирования собственного изготовления, кисть волосяная ГОСТ 54586–82.	
				D WA HA DI	Нимани	CDE4. 0,	Ванна моечная ОМ-1.	Вода техническая Го	и идажнћи и илднжерри и	Kaccema HO-345, xav	-	CNEC. D.	Стол монтажный ОР,	Перхлорвиниловая э	Смонтировать плун»	Подвеска для хромир	-	CNPC. D.	Верстак слесарный	Венская известь ТУ	Протереть восстан.	Подвеска для композ	
มีปูอัก.	Взам. Подл.			4	B K/M	A 01	<i>b o</i> ²	M 03	D 04	T 05	90	A 07	Б 08	M 09	0 10	Γ 11	12	A 13	Б 14	M 15	0 16	T 17	

Ωn.		CT 3.1118-82	Фарма 15							
am.										
							_			4
	Плунжерная пара			5	IM3-23	8				
T	Цех Уч РМ Опер Код, наименование операции				Обознач	ение докі	ршнам			
5	Кад, наименование оборудования	CM L	A pod	71	KP KON	II EH	01	Kum	Tn.3.	Twm
W/	Наименорание аетали, са. единицы или материала	┟	ПООЗНО	чение, код	$\left \right $	0///	tβ	ĘΗ	КИ	н. расх.
01	Гальв. 045 Гальваническая								NOT Nº45	
02	Ванна электрохимического обезжиривания 10575.05.00.00	- 31	альв. 4	1/p	1 20	1 1	20	-	3,5	<i>1</i> /6
03	Выпрямитель ВАКР 320-18 ХЛЧ.	-	-	-	-	-				
04	Hamp eðkuð FOCT 2263–79.	-	-	-	-	-	~	01	,	0,65
05	Натрий углекислый ГОСТ 5100–73.	-	-	-	-	-	2	01	'	0'6
90	Стекло натриевое жидкое ГОСТ 13078-87.	-	-	-	-	-	~	01	,	0'6
07	Тринатрийфосфат ГОСТ 201-86.	-	-	-	-	-	2	01	,	С'Э
08	плодх билонир и подерхности, подлежащие композиционному хроми.	ованию.	-	-	-	-	_	_	-	
60	Подвеска для композиционного хромирования собственного изг	отовления, х	xanam FOC	Γ 25194-8	2, перчат	нпєад пжі	овые ГОС	1 12401	5-82.	
10		-	-	-	-	-	-	-	-	
11	спец. 050 Моечная	-	-	-	-	-	-		NOT Nº50	
12	Ванна моечная ОМ-1316	OW -	иїщик. З	H/xp	1 20	1 1	20	-	16	2,3
13	Вода техническая ГОСТ 23732-79	-	-	-	-	-	U I	10	-	5,0
14	Промыть плунжеры последовательно горячей (8090°С) и холод	ной водой	-	-	-	-	-	-	-	
15	Подвеска для композиционного хромирования собственного изг	отовления, х	калат ГОС	Γ 25194-6	12, перчат	нпєад пж	овые ГОС	1 124.01	5-82.	
16		-	-	-	-	-				
17		-	-	-	-	-	_	-		
¥										

07 Спец. 060 Маечная А 08 Спец. 060 Маечная 3 H/xp 09 Ванна моечная 0M-1316 - мойщик. 3 H/xp 10 Вода техническая ГОСТ 23732-79 - мойщик. 3 H/xp 11 Промыть плунжеры последовательно горячей (8090°С) и холодной водой. - -

		9			Tum	Н. расх.	0,07	0,03	0,01	0,001					13	0,25					5,3	5,0		
					Ins.	КИ		-	-	-	-	-	-	107 Nº 70	0,5	- 1	-	-	-	40T Nº75	17	- T	-	
					Kum	ĖΗ	10	10	10	101	-	-	-	- 1	- 1	10	-	-	-	- `		10	-	
			<u> </u>	ртнал	01	tΒ	2	2	2	2			_		20	V		_	_		20	V	_	
				е дакул	EH	UIIII	1	-	1	1	_	_	_	_	1		двески.	_	_	_	1	-	_	
			3-236	Обозначени	ТИОХ		•	-	-	-	_	<i>915-82</i> .	-3	_	20	_	ров и по	-		_	20	-	-	
			ЖK		T KP	po	•	-	-	-	іломва	DCT 1241	-	-	t dx	-	плунже	-	-	-	xp 1	-	-	
15					P	значение, к	•	-	-	-	ремя п	новые Гі	-	-	3 H/	-	о ппенац	5-82.	-	-	3 H/	-	-	
форма					Jpoth 05	000	•	-		-	пальное	псад пжи	-	-	าบันุปห.	-	іта-сусі	T 12401	-	-	านนุมห.	-	-	
1118-82					CM //	$\left \right $	•		-	-	<i>שסא, סכו</i>	, перчал	-0	-	- WD	-	ектроли	вые ГОС	.	-	DW -	-	godoŭ.	
FOCT 3.				H	t	1	•	-	-	-	ратный	5194-82	-	-	-	-	ие винац	и резинс	-	-		-	подной г	
			Плунжерная пара	Кад, наименование операции	аименование оборцавания	детали, со. единицы или материала	i FOCT 2652-78.	11380-74.	84-77.	ЖИНИЯ	іда чирадаць инніші иодадать од	онного хромирования, халат ГОСТ 2.		Маечная		OCT 6709-72.	нанесения покрытия в ванне до удал	ния, халат ГОСТ 25194–82, перчатки		Маечная		23732-79	едовательно горячей (8090°С) и хо	
				v yy PM Dnep	Kođ, H.	Наименарание	лий кремнофтористый	рий сернокислый ГОСТ	оная кислота ГОСТ 21,	нопорошок оксида алю.	и и покрытие на пл	дреска дин композиции	-	спец. 070	нна моечная ОМ-1316	да дистилированная Г	омыть детали после н	двеска для хромирован	-	cney. 075	нна моечная ОМ-1316	да техническая ГОСТ.	омыть плунжеры после	
<i>u</i>	W.			4 Llev	5	W/	01 Ka.	02 Ed,	03 [CB,	ot Ha.	os Ha.	06 No.	07	08	09 Ba.	10 BO.	n Np.	12 110.	13	11	15 Ba.	16 BD.	17 IID.	XK
Dub	B30			Ì		X					0	7		P	р	N	0	7		P	р	N	0	

ΓΟCT 3.118-82 Φαρμα 1δ ΓΟCT 3.118-82 Φαρμα 1δ	Плунжерная пара 97.038	ογι Οπερ Κοαί наименование операции Ογι Προφ Ρ 9/ ΚΡ ΚΟΝΠ Ε.Η ΟΠ Κωπ Τη.3. Τωπ Κοά наименование οδοριάσθοικιя Της	Наименабание детали, сд. единицы или материала Одозначение, код ОЛП ЕВ ЕН КИ Н. расх	хромирования собственного изготовления, халат ГОСТ 25194–82, перчатки резиновые ГОСТ 124.015–82.		080 Слесарная ИОТ №80	ный ОРГ 1468-01-060А.	талей изоляционный материал и демонтировать плунжеры с подвески.	хромирования собственного изготовления, скребок собственного изготовления.		085 Термическая ИОТ №85	ачь СНОЛ 8,2/1100. – термист. 4 Т/р 1 20 1 20 – 2 120	лунжеры в печь и выдержать в течение 2 ч.	445, pykabuyu FDCT 12.4.010–82, knewu FDCT 6979–84.		090 Термическая ИОТ №90	ования ПША 6,9/7. – термист. 4 1/р 1 20 1 20 – 5 180	6227-90 - 2 10 - 0,01	шпрадание ршілики:	145, рукавицы ГОСТ 12.4.010–82, клещи ГОСТ 6979–84.	
	10	цех Уч РМ Опер Код наимено Код наимено	Наименование детали	Подвеска для хромирования с		слес. 080	Стол монтажный ОРГ 1468-0	Удалить с деталей изоляцио	Подвеска для хромирования с		терм. 085	Муфельная печь СНОЛ 8,2/11	Поместить плунжеры в печь	Кассета НО-345, рукавицы ГС		терм. 090	Печь азаотирования ПША 6,9,	Аммиак ГОСТ 6221-90.	Провести азотирование втул	Кассета НО-345, рукавицы ГС	
Διμόπ. Β3απ Ποдπ		Р	K/M	T 01	02	A 03	<i>Б</i> 04	0 05	T 06	07	A 08	<i>Б</i> 09	0 10	Γ π	12	A 13	Б ₁₄	M 15	0 16	Γ 17	MK

		8	91M3-238	Обозначение документа	JT KP KOND EH ON Kum Tn.3. Tum	чие, код ОЛЛ ЕВ ЕН КИ Н. расх	101 Nº95	H/p 1 1 1 20 - 0,5 1,2	-	- K2 10 - Q1	переть плунжеры на доводочной бабке.	-		NOT Nº100	H/p 1 1 1 20 - 0,3 2,2	- K2 10 - Q1				NOT No105	H/xp 1 1 1 20 - 0,5 10	- M ² 10 - 01	-	
8-82 Форма 15			97M3-238	Обозначение документа	Ipop P YT KP KONII EH ON Kun	Обозначение, код ОЛЛ ЕВ ЕН	-	cnecape. 5 H/p 1 1 1 20 -	-		жер в цанге, притереть плунжеры на доводочной бабке.	-			слесарь. 5 Н/р 1 1 1 20 -		реть бтулку.				дефект. 4. Н/хр. 1. 1. 1. 20		пы через 1 ткт.	
1001 3.11%			Плунжерная пара	ж Уч РМ Опер Код наименование аперации	Код, наименование оборудования	Наименобание детали, сб. единицы или материала	слес. 095 Доводочная	танок плоскошлифовальный ЗД711АФ10.	тбка доводочная мод.3820	ста доводочная 1-10 7/14. С ГОСТ 25593-83	итереть плунжеры на плоскошлифовальном станке; закрепить плун»	тссета НО-345, цанга Т9664-012.		слес. 100 Даводачная	така доводочная мад. 3820.	ста доводочная 1–10 7/14 С ГОСТ 25593–83	жрепить притир в цанге; устранить вибрацию при вращении; притер	ассета НО-345, цанга Т9664-012.		Деф. 105 Контрольная	тол дефектовщика ОРГ-1468-099А ГОСНИТИ	idanonam FOCT 7138–83	ириировать восстановленные плунжеры и втулки на размерные групп	
Auton	Взам. Подл			A	9	K/M	A 01	<i>Б</i> 02	03	M 07	0 05	T 06	07	A 08	Б 09	M 10	0 11	T_{12}	13	A 14	Б 15	M 16	0 17	MM

ГОСТ 3.118-82 Фарма 18 ГОСТ 3.118-82 Фарма 18 9	Плунжерная пара	РМ Опер Кад наименование операции Обозначение дакумента Код наименование постадония СМ Пола P 4T КP КЛИЛ EH ОЛ Кит Tr3 Tum	Наименование детали, сб. единици или материала Обозначение, код ОП ЕВ ЕН КИ Н. раск.	бе приборы ЦНИТА 82118; ЦНИТА 09.601; калибр 9.004.9 Т820; калибр 9.020 Т957002; кассеты Н0–344, 344.346.		110 Кантральная 101 №110	повщика ОРГ-1468-099А ГОСНИТИ - дефект. 4 Н/хр 1 1 1 20 - 0,5 10	0(1 ⁷ 138-83 - ^{m²} 10 - 0,1	мплектацию плунжерных пар в соответствии с размерными группами.	345.		115 Контрольная	повщика ОРГ-1468-099А ГОСНИТИ – дефект. 4 Н/хр 1 1 1 20 – 0,5 1,0	оверки плунжерной пары на гидроплотность 399–791.	$9CT$ 7738-83 $ m^2$ 10 $-$ 0,1	лунжерную пару на гидроплотность на стенде.	обственного изготовления.		120 Слесарная ИОТ №120	сарный ОРГ-1468-О6ОА ГОСНИТИ – Слесарь. 4 Н/хр 1 1 20 – 0,8 3,0	
		Цех Уч РМ Опер Клад н	Наименование .	Измерительнве приборы	-	Деф. 110	Стол дефектовщика ОРІ	Madanonam FOCT 7138-83	Провести комплектацию	Кассета НО-345.	-	Деф. 115	Стол дефектовщика ОРІ	Стенд для проверки плун	Madanonam FOCT 7138-83	Проверить плунжерную п	Контейнер собственного	-	Деф. 120	Верстак слесарный ОРГ-	
มินดีก B3am กิออีก		А	K/M	Γ 01	02	A 03	<i>Б</i> 04	M 05	0 ₀₆	Γ 07	08	A 09	<i>E</i> 10	11	M 12	0 3	T_{μ}	15	A 16	Б ₁₇	MK

	DI			Twm H narx	0,1	0,1															_	
				TR.3. KM		1														-		
				Kum FH	Q	101					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		┝	сумента	0U FB	K2	M ²	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		882	чение дон	H3 DH	5	- '	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
-		AM3-2	Обозна	KP KD	ŀ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
				уТ чение код				[_	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Форма 1б				ингиди д фа	-	ŀ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
1118-82				CM UD	ŀ	ŀ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
<i>F0CT 3</i>			H	t	t	ŀ	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		Плунжерная пара	Код наименарание операции	аименование оборудования Детоли ст. едінним или мотепиол	Jan HIM-MI TY 38.101767-84		иднжерной пары.	4586-82.														
			PM Onep	Код, ни Натменование т	пашений машери	M FOCT 7138-83	і консервацию п	посяная ГОСТ 54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
			Цех Уч		Консерва	Madanona	Провести	Кисть во.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Ilyðn. Brau	подл.		A	E K/M	M 01	02	0 03	T 04	05	90	07	08	60	10	11	12	13	11	15	16	17	MK



	Р160-3/1-222 – – – 1я пара "золотник-корпус" гидрораспределителя РБ	APA TOBCKNN TAY	CAPATOR AND	делителя железнением РАЗРАБОТАЛИ: Сотрудники кафедры "Технический сервис и технология конструкционных материалов" дт.н., профессор Сафонов В.В. к.т.н., доцент Шишурин С.A. ассистент Горбушин П.A. "202 г.	
<u>Дубл.</u> Взам - Взам - Подп.	СГАУ Кафедра ТС и ТКМ Прецизионна	\$1504 B0 C	KOMTAEKT JOKYMEHTOB	на ЕТП восстановления и упрочнения прецизионной пары "золотник-корпус" гидрорастре. Р160-3/1-222 нанокомпозиционным гальваническим »	

Дубл.				1001	3.1118-82	2 фарма 2	_	-						
Взам. Подл										_				
	-		-										1	8
Разрабо,	тали Сафонов В.В. Шишурин С.А.	1 M	and in	Kapedpa "TC u TK	"M.	P160	1-3/1-2.	22						
Утверди Н конто	1 apaywun 11.A.		- All	Honenhady	И КОН	иоє, ада	лтник-н	copryc	" гидр	ораст	pede,	лите/	19 I	
n. KUHINF	LIEX YY PM	Onep	Код, начи	менование операции				050	значение	докумен	ша			
5 K/M	уринатирн	Кад, наим.	енование оборудован сболочной единииы	ונוא עתע <i>אמ</i> והבטעמתם	CM	0 Ø	р уг бозначение, кои	dX E	ПИОХ	EH OTT	017 EB	Kum EH	Tn.a. KN	Тшт Н. расх.
A 01	Maey.	005		Моечная		-	-	-		-	-	-	SON TON	
5 02	Машина моечная ОІ	M-14266	ГОСНИТИ		-	молтак	2 H/U	1 1	1	1	1	-	1,2	3,2
M 03	Моющее средство	"Λαδονυσ	1-203" TY 38-7	0738-83	-	-	_	-	-	- 1	- 2	1	1	11
04	Ветошь обтирочни	TA FOLTS	5354-89		-	-	-	-	-	- 1	- 2	1	-	0,8
0 05	Загрузить детали	В конте	инер, установи	ить его в моечную ван	оди 'Гін,	мыть детал	пи до удал	ения слец	дов масл	1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2	1311	-	- /	
T 06	Контейнер собстС	денного г	ізготовления, ,	резиновые перчатки Ги	OCT 12.	4015-82	-			-	-	-		
07	-	-			-	_								
A 08	Пеф.	010	Пед	ректовочная	-	_	-	-	-	-		~	OL No 10	
<i>E 09</i>	Стол дефектовщик	ka OPT-j	1468-099A FOC	НИТИ	-	дефект.	3 H/D	[]	1	1	1	- 1	0,5	2,5
01 W	Madanonam FOCT 7;	138-83			-	-	-	-	-	-	м2	1	-	0,5
0 11	Протереть рабочук	n nobepxi	ность золотни	іка и корпуса мадаполо	U WOWE	ровести ви.	зуальный к	<i>чиодтно</i>	рабочи	(nobep)	кностег	і, детал	าก กพระยาสาก	e l
12	сколы и задиры выс	браковыв.	ать, провести	, замеры рабочих повер	ухносте	ей деталей,	поместит	ь детали	В КОНШ	ейнеры	כסבאמכ	но вели	онеп анпь.	ca.
T 13	Микраметр МК-25	TY 4567.	52-92, нутром	ер индикаторный НИ-2	5 1001	- 5564684-6	35, оптиме	т <u>– СВО</u> дт	rocr 5	405-64,	конте	інеры.	- -	
14	-	_			-	-	-		•		21			
A 15	Mex.	015	III	уфовальная	-	_	-	-	-	-			10T Nº 15	
<i>Б</i> 16	респентрошлифоби	ตกษาษณ์ ต	танок [250		-	шлиф.	3 H/0	, 1 J	1	1	1	•	0,75	2,55
MK					Map	трутая ко	bma							

	З		Γ	Tum	расх.					5	1,8	0,6	14	0,8	1,2					3,2	1,8		
				In.a.	KN N.		-	-	NDT Nº35	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	NOT Nº40'	0,5	-	-	
				Kum	Ęμ		5-82.	-		- -	1	1	1	1 1	1	_	-	-		- '	1	кности.	
	_		амента	00	Ęβ		1 12401	-	-	1	2	~	2	2	И	-	.82.	-	-	1	"	c'nobep,	
		1-222	ение дак	II EH	UIIII	וחטוט.	овые ГОС	-	-	1	- '	-	-	-	-	-	- 124015-	-	-	1	-	статков	
		60-3/	Обознач	KP KON	$\left \right $	ие покры	нпєад пх	-	-	1 1	-	-	-	-	-	-	bue LOCT	-	-	1 1	-	и ИО ХІЯНЬОЦ	
		РI		97	tue; koa	одлежащ.	перчат	-	-	H/OC	-	-	-	-	-	-	і резинац	-	-	H/10C	-	ния щел	
		ВИ		P	ПООЗНАЧЕ	כאח אב חי	8654-95	-	F	5 3	-	-	-	-	-	-	лерчатки	-		3 2	-	Jo bubed	и карта
2 Форма 15		Jenume		φody		и подве	ая ТУ 54	-	-	2076	-	_	-	-	-	-	194-82,	-	-	20/JP	-	i bodoù u	вншћат
0CT 3.1118-8.		acnped	$\left \right $	CΜ	+	атников.	волосян	-	-	- '	-	-	-	-	-	ЭНЕНИЮ.	roc't 25	-	-	-	-	инроиох	Map
		а "золотник-корпус" гидрорс	Код, наименобание операции	, наименование оборудования	етали, соорочнои единицы или материала	ки на подвески, изолировать части зол	чя содственного изготовления, кисть	-	Обезжиривание	і адеэжиривания 10575.05.00.00	- 79	ICT 5100-73	ekna FOCT 13078-87	c <u>1</u> 201-86	TY 65751-87	ши подлежащие композиционному желе:	и ния собственного изготовления, халат	_	Лоечная	ной промывки	1 23732-79	оследовательно горячей 8090 град и ,	
		иап кі	1 Onep	, Kođ	ченорание ас	эолотник	келезнен	_	035	уческого	ICT 2263	ampuŭ F0.	дкое сте	φαιν ΓΟ	ранная	лверхнос	келезнен.	_	040	и холод	ткая ГОС	יושאחו <i>ו</i> עה שר	
		рецизионна	NA AA BW			Монтировать	Подвеска для ж	-	Γanbβ.	Ванна гальвань	Едкий натр ГО,	<i>Углекислый</i> на	Натриевое жил	Тринатрийфос	Boda ductump	Обезжирить по	Подвеска для ж	-	Lanbb.	Ванны горячей	Вода техничес	Промыть зало,	
Διμδη. Β3α <i>η.</i> Πο <i></i> дη.			А	5	K/M	D 01	T 02	03	A 04	<i>E 05</i>	<i>M06</i>	07	08	60	01	0 11	T 12	13	A 74	<i>b</i> 15	M 16	0 17	

Ilyōn.		18-82 Форма 15			
Взам. Подл.					
					4
	Прецизионная пара "золотник-корпус" гидрорасп,	ределителя	P160-3/1-222		
А	Цех Уч РМ Опер Кой, наименование операции		Обозначение документа		
5	Код, наименование оборудования	CM Npop	P YT KP KOMI EH ON KU	um Tn.3.	Tum
K/M	Наименование детали, сдорочной единицы или материала	000	эначение, код 0/11/ £8 £	H KN	Н. расх.
T 01	Падвеска для железнения собственного изготовления, халат ГОСЛ	- 25194-82, перчи	атки резиновые ГОСТ 124.015-82.		
02	-	-		-	
A 03	Гальв. 045 Травление	-	-	NOT Nº45	
<i>Б 0</i> 4	Ванна анодного правления 10575.04.00.00	- 2a/hB.	2'H/0C'1'1'1'1'	- 0,5	1
MOS	Вода дисцилированная ТУ 468765-78	-		1 - 1	1,6
06	Серная кислота ГОСТ 2184-2013	-		1 - 1	0,8
007	Провести травление в течение 1 минуты	-	-	-	
108	Подвеска для железнения собственного изготовления, халат ГОС,	T 25194-82, nep-	атки резиновые ГОСТ 124.015-82.	-	
60	-	-	-	-	
A 10	Гальв. 050 Маечная	-	-	, 05ºN TON'	
E 11	Ванны горячей и холодной промывки	- Zanhâ.	2'H/0C'1'1'1'1'1'-	. 0,8	2,8
M 12	Вада техническая ГОСТ 23732-79	-		1 - 1	1,8
0 13	Промыть золотники последовательно горячей 8090 град и холоб	ной водой	-	-	
Γ 14	Подвеска для железнения собственного изготовления, халат ГОСТ	- 25194–82, nepvi	атки резиновые ГОСТ 124015-82.	-	
15		-		-	
A 16	Гальв. 055 Железнение			NOT Nº55	
E 17	Ванна железнения	– zanbâ.	3 H/OC 1 1 1 1 1 -	- <i>0,5</i>	60
Ж		даршрутная кар	DUL		

1 00 Подвеска для железнечия собственного изготовления, халат ГОСТ 25/94–82, перчатки резинабые ГОСТ 124,015–82. 08 4 09 1/anьbi. 060 Моечноя M0T M 6 10 10 1 1 1 1 2 7 10 10 1 1 1 1 - 01 7 10 10 10 1 1 1 1 - 01 7 10 10 10 1 1 1 1 - 01 7 10 10 10 10 1 1 1 - 01 7 10 10 10 10 1 1 1 - 01 11 10 10 1 1 1 1 - 01 11 10 10 10 1 1 1 1 - 01 11 10 10 10 10 1 1 1 1 1 1 1	1 U/ поистали иля железаетия силистного изеллиолетия, хилил гост 2.174-ос, пертили резитивет ост 12401-ос. 08 А 09 Гальв. 060 Моечная Б 10 Ванны горячей и холодной промывки – гальв. 2 Н/0С 1 1 1 1 - 0,5 2.6	05 Вода дисцилированная ТУ 468765-78 0 06 Нанести покрытие необходимой толщины на золотники 7 л7 Подвеска для железнения собственного изготовления, халат ГОСТ 25794-82, перчатки резиновые ГОСТ 124.015-82	03 Mapzaнeų III) хлористый 4-водный ГОСТ 612-75 – 2 1 – 0,01 04 Наночастицы нитрида алюмиия – 2 1 – 0,005	17 UT Алиристике желези 4-ийиние тэ о-иг-оиз-оо 02 Соляная кислата ГОСТ 3118-77 - 0,15	Б Код наиченование обарудования СМ Проф Р УТ КР КОЛП ЕН ОП Кит Тл.з. Тит К/М Наиченование детали, сборочной единицы или материала СМ Проф Р УТ КР КОЛП ЕН ОП Кит Тл.з. Тит	Прецизионная пара "золотник-корпус" гидрораспределителя Р160-3/1-222	Дубл Взан Подл. Подл
--	---	---	--	---	--	--	----------------------------

ГОСТ 3.1118-82 Форма 1б	ε	эпус" гидрораспределителя Р160-3/1-222	рание операции Обозначение документа	CM Rpod P YT KP KOND EH OR Kum Tr.3. Tum Ammoniana Disponencienia vod DAT ER EH KN H Procv	numerounia -2 1 $ 0,6$					тавления, халат ГОСТ 25194–82, перчатки резинавые ГОСТ 124.015–82.		NOT Nº70	- zanbů. 2 H/OC 1 1 1 1 - 0,5 2,6		ей 8090 град и холодной водой	товления, халат ГОСТ 25194–82, перчатки резиновые ГОСТ 124015–82.		ая 101 Ma 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	cnecape 4 H/xp 7 7 7 7 - 7 4,8	и демонтировать залатники с подвески.	отовления, скребок собственного изготовления.	Марирутная карта
ГОСТ 3.1118-82 Форма 15 ГОСТ 3.1118-82 Форма 15		ецизионная пара "золотник-корпус" гидрораспределит	ех 34 РМ Опер Код наименование операции	Кад наиненование оборудования Наимеильтии датали - бологисти салиши пли мателитал	глекиспый натрий ГОСТ 5100-73	ampueboe kudkoe cmekho FOCT 13078-87	ουμαπρυύφοςφαίη ΓΟCT 201-86	ода дисцилированная ТУ 65751-87	повести пассивацию гальванического покрытия	авеска для железнения собственного изготовления, халат ГОСТ 25194–82, і		Гальв. 070 Моечная	ины горячей и холодной промывки	ода техническая ГОСТ 23732–79	іромыть золотники последовательно горячей 8090 град и холодной водой	эдвеска для железнения собственного изготовления, халат ГОСТ 25194–82,		Слес. 075 Слесарная	тол монтажный ОРГ 1468-01-060А	ааћить с детаћей изоляционных материал и демонтировать золотники с по	одвеска для железнения собственного изготовления, скребок собственного	onmundumdaM
Διμδη. Β3αη. Ποдη.		Πpt	A 4	E K/M	10 A	02 H	03 14	04 Bl	0 05 14	T 06 Mo	07	A 08	5 09 Ba	M 10 Bu	0 11 1	T 12 M	13	A 14	5 15 G	0 16 5	T 77 II	MK

|--|



		BEPXIAЮ bekmop 0 "Capamobduзельаппарат" nodkob Ю.M. 20 <u>4</u> 2.	4БОТАЛИ: Ідники кафедры уческий сервис и технология Трукционных материалов" профессор Сафонов В.В. доцент Шишурин С.А. тент Горбушин П.А.	
а а. 	φΓΕΟΥ ΒΟ CAPATOBCKNIN ΓAΥ	KOMINEKT DOKYMEHTOB	на ЕТП восстановления и упрочнения прецизионной пары "золотник-корпус" гидрораспределителя Рв0-3/1-222 нанокомпозиционным химическим никелированием Сотруд Вл.н., п, к.т.н. а ассист	

11.50					F0CT 3.1118-c	82 Фарма 2					-				
нучи. Взам.							$\left \right $								
Подл.						-	1]	-		1	9	1
Разрабол	παιπ <u>(</u>		No.	Kapedpa "TC L	, TKM"	P80	3/1-2	222	-						
<u> </u>	.n .n		m	Upequant	I КОННС	ναε, αάρι	пншо	K-Kop	חוןר" כ	udpor	acnpe	делит	еля		
Н. КОНТР. А	IPX 44 PM	Onep	Ko	од, наименование операции					Обазна	чение д	ршнамбил				Π
5 K/M	Ондмлин	Код,	наименование обор. тали сборочной еді	цдования Иннии или материала	U	η Προφ)базначени	ут le, код	KP KO	ALL EH	1 EB	Kum EH	Tn.a. KM	Tum H. pacx.	Π
A 01	Maey.	005		Моечная		-		F	-	-	-	-	SON TON	_	
5 N2	Моечная машина С	OPF 49	90 6 FOCHMTV	M	-	нойщик	2	H/OC	1	1 1	1	-	0,8	2,85	
M D3	Моюшее средство	7 "Λαδο,	MUD-203" TY_	38-70738-83	-	-	-	-	-	-	2	1	-	771	
70	Ветошь обтирочн	ная ГОС	7 5354-89		-	-		-	-	-	2	1	1	0,65	
0 05	Загрузить детал.	ти в кон	нтейнер, усти	аңить его в моечную	и "нптри	промыть деп	пали до	начара.	ия следи	лв масли	и грязи	7	_	_	
T 06	Контейенер собсл	твенно	го изготовле	ения, резиновые перчать	a roci 1	24015-82								_	
07	-	_	_		-	-		-		.					Τ
A 08	Деф.	010	_	Дефектовочная	_		-	-	-	-	-	-	JLON LON		
E 09	Верстак слесарнь.	sui OPT	1468-01-060,	И	-	дефект.	2	H/OC	1	1 1	1	1	1,5	3	
01 W	Madanonam FOCT	7138-8.	- ~		-	-		-	-	1	m2	1		С'Э	
0 11	Протереть рабоч	чую пос	ерхность зол	лотника и корпуса мадо	поламом,	правести в	пзуальн	ный конп	nd quodu	יז אטריסקר	онхдада.	cmeu, de	тали имею	antin	
12	сколы и задиры с	βωδρακι	г обывать, прос	дести замеры рабочих п	адерхнос	тей детале.	ΰ, nome	cmumb 6	етали г	у контег	інеры со	гласно С	деличине и.	эноса.	Τ
T 13	Микрометр МК-2.	25 TY 4.	56752-92, ну	ітромер индикаторный І	HV-25 FOL	CT 5564684-	-85, кан	тейнерь		-	_	-	-	_	Τ
14	-	_	-		-	-		-	-						
A 15	Деф.	015	-	Шлифовальная	-	-	-	-	-	-	-	-	STON TON	-	Т
5 16	Бесцентровошлиф	ровальн.	ный станок С	.250	-	тир.	3	H/0C	1	-	1	1	0,5	2	
MK					Ma	ршрутная ки	apma								

Дубл. Взам.	10CT 3118-82 Форма 15			
Падл.				2
	Прецизионная пара "золотник-корпус" гидрораспределителя P80-3/1-222			
A	4 Цех Уч РМ Опер Код наименабание операции	окумента		
E K/M	5 Код наименование абарудавания СМ Проф P УТ КР КОМД ЕН И Наименование детоли сболочили единици наиметила	H OIT Kum	Tn.3. KM	Twm H nary
M 01	01 Anmaahbu kpyz ACM 7/5 TY 5648221-86	2 1		18
002	02 Закрепить золотник в цанге станка, вывести следы износа, демонтировать золотник из цанги, цложить золот	тиники в контейн	i i	
T 03	03 Державка для притира, контейнер.	-	-	
<i>0</i> 4		-	-	
A 05	05 Мех. О20 Ханингавальная і і і і і	-	NOT Nº20	
<i>Б 06</i>	06 Вертикально-хонинговальный станок 3К833 – шлиф. 4 Н/ОС 1 1 1	- 1 -	1 12	ΟΊ
002	07 Хонинговать отверстия в корпусе до выведения следов износа	-	-	
T 08	08 Галавка ханингавальная МФ72.100.25.00, прижим сабственного изгатавления.	-	-	
60		-	-	
A 10	10 Деф. 025 Кантрольная і і і і і	-	NOT Nº25	
E 11	11 Emon ding deepermanuuu OPF 1468–099A - deep. 3 H/OC' 1 1 1	- 1 1 -	15	ΟΊ
0 12	12 Контролировать размер внутренней поверхности корпуса	-	-	
T 13	13 Лупа х5 ГОСТ 25706–83, образцы шероховатости ГОСТ 9378–93, контейнеры.	-	-	
14	1 <td>-</td> <td>-</td> <td></td>	-	-	
A 15	75 'Слес.'' 030' Слесарная '' '' ''	-	05°N TON	
<i>b</i> 16	16 Стол монтажный ОРГ 14.68-01-060А – слесарь 2 Н/ОС 1 1 1 1	- 1 - 1	1 1/5	4,8
M 17	77 Перхларвиниловая эмаль XB-1100 ГОСТ 6993-79	1 2		12,0
<i>MK</i>	МА Марирутная карта]

	δ		Γ	Twm	pacx.					15	18	<i>3</i> ,6	14	<i>3,8</i>	12					2,3	18		
				Tn.3. 7	KN H.	-	-	-	101 Nº35	0,5		7	-	7	-	-	-	-	NOT Nº40	0,5		-	
				Kum	ĘΗ	_	_				1	1	1	1	1		_	_		-	1	ности.	
	_		мента	00	Ęβ		_	_	_	1	~	~	2	2	U I	_	-	_	_	1	"	c nobepx	
		222	ние доку	EH	UIIII	บเย.	-	_	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	патков ц	
		-3/1-	Обозначен	DINOX o		покрыт	-	-	-	1 1	-	-	-	-	-	-		-	-	1 1	-	нных осп	
		P80		YT KI	код	лежащие	5	-	-	1/00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1/00	-	и щело	
		-		Р	оозначение,	и не под	8654-9	-	-	2 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 4	-	рыведени	bma
15 		ume <i>ns</i>		φody	3	подвески	ая ТУ 54		[гальв.								-		<i>201</i> 6		idoŭ do l	ітная ко
1118-82 Фај		heden		CΜ		икав и г	г Волосян	_	-	- '	-	-	-	-	-	ранию.	-	-	-	- '	-	одной вс	Napupu
1907 31		рецизионная пара "золотник-корпус" гидрорасп,	Цех 24 РМ Опер Код наименование операции	Кад, наименование оборудования	Наименорание детали, соорочнои единицы или материала	Монтировать залотники на подвески, изолировать части золотн	Падвеска для никелирования сабственного изготовления, кисть С	-	Гальв. 035 Обезжиривание	Ванна химического одезжиривания содст. изг.	Edkuŭ Hamp FOCT 2263-79	Углекислый натрий ГОСТ 5100–73	Натриевое жидкое стекло ГОСТ 13078–87	Τρυμαπρυιύφοςφαπ ΓΟCT 201–86	Вода дисцилираванная ТУ 65751-87	Одезжирить подерхности подлежащие композиционному никелиро	Падвеска для никелирования собственного изготовления	-	Гальв. 040 Моечная	Ванна моечная для промывки деталей.	Вада техническая ГОСТ 23732-79	Промыть золотники последовательно горячей 8090 град и холо	
11967 110อัก.		10	A	Б 17.74	K/M	0 01	T 02	03	A 04	5 05 I	M 06	07	08	60	01	0 11	T 12	13	A 74	5 15 L	M 16	0 17	

Дубл. Взам.					3.1118-82 Ф	орма 16								
оди					_		_							4
	Прецизионная	я пара	"30/1000 אראראר	орпус" гидрорас	npede	พามคาย	E	P80-	3/1-2	22	-			
A	MA HA XAN	Onep	Код, наимени	офанль операции					Обозначен	пе докли	ьнта			
р	-	Код, на.	іменование оборудования		CM	фофу	Ρ	YT KP	КОИД	EH	UO	Kum	In.3.	Tum
K/M	Намин	нование дета	пи, сборочной единицы или	і материала		0	розначение,	код		UUU	EB	EH	KN	Н. расх.
T 01	Подвеска для ни	келирова	НИЯ		_	-	-	-	-	_	_	-	-	
02	-				-	-	-	-	-	_		-	-	
4 03	Lanbb.	045	Травле	HUE	-	-	-	-	-	_			NOT Nº45	
504	Ванна травления	- <u>в</u>			- , -	zanhâ.	2 4	1/00/1	1	1	1	- '	0,5	2,3
M 05	Boda ductunupol	ванная 7	9 468765-78		-	-	-	-	-	-	"	1	-	16
99	Соляная кислоти	a FOCT 2	184-77		-	-	-	-	-	-	"	1	-	0,8
007	Провести травл	и по			-	-	-	-	-	_		-	-	
108	Подвеска для ни	икелирови	RUHT		-	-	-	-	-	-		-	-	
60		-			-	-	-	-	-	-		-	-	
0	LanbB.	020	Моечнал	В	-	-	-	-	-	_		1	107 Nº50	
11	Ванна моечная				-	zanhâ.	2 H	/ 00/ 1	1	1	1	-	0,5	2,6
1 12	Вода техническо	ая ГОСТ 2	3732-79		-	-	-	-	-	'	"	1	-	1,8
0 13	Прамыть залатн	ники посл	едорательно горя	чей 8090 град и хол	адной в	lodoú	-	-	-	_		-	-	
Τ 14	Падвеска для ни	ікелирова.	НПЯ		-	-	-	-	-	_		-	-	
15	-	-			-	-	-	-	-	-		-	-	
16	Lanbb.	055	Никелир	рование	-	-	-	-	-	_		N	107 Nº55	
17	Ванна химическо:	го никели	рования		- '	гальв.	3 H	/00/	1	1	1	- '	0,5	60,3
МК					Mapul	одтная ка	рша							

Дубл. Взам. Подл		T 3.1118-82 Φ	орма 15									
	-									1		5
	Прецизионная пара "золотник-корпус" гидрорс	спреде	SAUTTE AS		P80	-3/1	-222					
A	Llex 24 PM Drep Kođ, наименођание операции	╞				Обрэнс	апнан	документс	6			
Б	Кад, наименавание аборудавания	ω	ψody	μ	<i>yT</i>	KP KD	H TH	H I	10	Kum	Tn.3.	Tum
K/M	Наименование детали, сборочной единицы или материала		0	тозначение	с код		0	111	EB	EH	KN	Н. расх.
M 01	Сернакистый никель ГОСТ 254.8-77	-	-	-	-	-	- '	-	-	1	-	0,1
02	Уксуснокислый натрий ГОСТ 2652-78	-	-	-	-	-	- '	-	-	1	-	0,15
03	Гипофосфит натрия ГОСТ 11380-74	-	-	-	-	-	- '	-	-	1	-	0,1
<i>0</i> 4	Наночастицы оксида алюмиия	-	-	-	-	$\frac{1}{2}$	- '	-	-	1	-	0,002
05	Наночастицы полититаната калия	-		-	-	-	- '	-	-	1	-	0,002
90	Вода дисцилированная ТУ 468765-78	-	_	-	-	-	- '	-		1	-	02
007	Выдержать золотники в растворе до нанесения покрытия нес	<u>бходимой</u>	инириот	F	ŀ	ŀ	F	ŀ	F	-		
108	Подвеска для никелирования	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
60		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A 10	Гальв. 060 Маечная	-	-	-	-	-	-	-	-	И	01 Nº60	
E 11	Ванна моечная	- '	гальв.	2	H/OC	1	1	1	1	- 1	0,5	13
M 12	Вода техническая ГОСТ 23732-79	-	-	-	-	-	-	-		1	-	1,8
0 13	Промыть золотники последовательно горячей 8090 град и х	олодной С	podoŭ	-	-	-	-	-	-	-	-	
114	Подвеска для никелирования	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
15		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
A 16	Терм. 065 Термическая	-	-	-	-	-	-	-	-		10T Nº65	
E 17	Муфельная печь СНОЛ 12/16	- '	мдат	2	H/OC	1	1	1	1	- ,	1,5	60
ЖK		Mapul	одтная ка	рта								

10CT 31118-82 Фарма 15	ізионная пара "золотник-корпус" гидрораспределителя Р80-3/1-222 — о	Уч РМ Опер Код наименование операции	Наименование детали, сборочной единицы или материала Обозначение, код 0ЛП ЕВ ЕН КИ Н. расх.	стить детали в печь, выдержать в течении 1 ч.			Деф, 070 Контрольная 1 1 1 1 1 1 1070	для дефектации OPГ 1468-099A - деф. 3 H/OC 1 1 1 - 15 10	ролировать размеры восстановленной поверхности золотника	, х5 ГОСТ 25706-83, образцы шероховатости ГОСТ 9378-93, контейнеры, микрометр МК-25 ТУ 54.612-78.		Деф. 075 Комплектовочная 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	для дефектации ОРГ 1468-099A – аеф. 3 H/OC 1 1 1 1 – 12 2,0	лектовать залотники с карпусами в соответствии с размерной группой	ометр МК-25 ГУ 456752-92, нутромер индикаторный НИ-25 ГОСТ 5564684-85, контейнеры.		Деф. 080 Контрольная 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1	для дефектации DPT 1468-099A – ' аеф. ' 3 ' H/OC' 1 ' 1 ' 1 ' - ' 15 ' 10	ролировать герметичность восстановленного сопряжения.	пособление для контроля герметичности сопряжения	Маршрутная карта
	ыниолепрас	Md hh xah	Наимено	Поместить детал	Контейнер	-	Деф.	стол для дефект.	Контролировать	Ayna x5 FOCT 25	-	Деф.	Стол для дефект	Комплектовать з	Микраметр МК-2.	-	Деф.	Стол для дефект	Контролировать	Приспособление С	
Дубл Взам. Подл.		A	K/M	0 01	1 02	03	A 04	<i>E 05</i>	000	Τ07	08	<i>A 09</i>	E 10 4	0 11	T 12	13	A 14	E 15 1	0 16	T 17	ЖK

Приложение Л

УТВЕРЖДАЮ Директор ООО «Дизельремгруппа» В.И. Розметов 27.02.2019 г. АКТ

Мы, ниже подписавшиеся, в составе представителей ООО «Дизельремгруппа» технического директора А.В. Решникова, главного технолога А.А. Алешина, мастера ремонтного цеха В.П. Шляндина и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ: профессора, доктора технических наук В.В. Сафонова, доцента С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина удостоверяем, что технологический процесс восстановления и упрочнения плунжерных пар ТНВД путем нанесения на рабочую поверхность плунжера нанокомпозиционного электролитического покрытия на основе хрома впедрен в ремонтное производство. В процессе передачи технологии были обучены квалифицированные рабочие.

Представленная технология является эффективным способом восстановления работоспособности плунжерных пар и увеличения ресурса ТНВД.

Данную технологию следует рекомендовать к внедрению на предприятиях занимающихся ремонтом топливной аппаратуры.

Технический эффект от применения технологии заключается в повышении ресурса ТНВД до 1,68 раза по сравнению с серийными.

Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемой технологии составляет 967,9 руб. на один ТНВД.

Представители ООО «Дизельремгруппа» А.В. Решников 27.02.2019\r. В.П. Шляндин А.А. Алешин

Представители ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ В.В. Сафонов 27.02.2019 F С.А. Шишурин 27.02.20191 П.А. Горбушин 27.02.2019 г.

if.

УТВЕРЖДАЮ Директор ООО «Дизельремгруппа» В.И. Розметов 19.02.2019 г. АКТ

Мы, ниже подписавшиеся, в составе представителей ООО «Дизельремгруппа» технического директора А.В. Решникова, главного технолога А.А. Алешина, мастера ремонтного цеха В.П. Шляндина и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ: профессора, доктора технических паук В.В. Сафонова, доцента С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина удостоверяем, что технологические процессы восстановления и упрочнения прецизионных деталей гидравлической аппаратуры путем нанесения на рабочие поверхности нанокомпозиционных гальванохимических покрытий на основе железа и никеля внедрены в ремонтное производство.

Представленные технологии являются эффективным способом восстановления работоспособности золотниковых пар и увеличения ресурса агрегатов гидравлической аппаратуры.

Данные технологии следует рекомендовать к внедрению на предприятиях занимающихся ремонтом гидравлической аппаратуры.

Технический эффект от применения технологий заключается в повышении ресурса агрегатов гидравлической аппаратуры до 1,47 раза по сравнению с серийными.

Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемых технологий составляет от 320 до 580 руб. на один агрегат гидравлической аппаратуры.

Представители ООО «Дизельремгруппа» А.В. Решников 19.02.2019\n. В.П. Шляндин 19.02.2019 А.А. Алешин 19.02.2019 г.

Представители ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ В.В. Сафонов 19.02.2019 С.А. Шишурин 19.02.2019 П.А. Горбушин 19.02.2019 г.

УТВЕРЖДАЮ Деректор ООО «Новые Траспортные Технологии»

Воронин А.А./ «Новые Транспортные Технологии АКТ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

Комиссия в составе: представителей ООО «НТТ» технического директора Красноцветова О.Ю., главного технолога Туроверова С.А., и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ: профессора, доктора технических наук В.В. Сафонова, доцента С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина составила настоящий акт в том, что в условиях ремонтной базы Челябинского обособленного подразделения ООО «Новые транспортные технологии» проведена опытно-экспериментальная проверка и принята к внедрению технология упрочнения и восстановления плунжерных пар топливных насосов высокого давления, разработанная в ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ.

В результате проведенной работы получены следующие научнотехнические результаты:

- Рекомендации по применению технологии восстановления и упрочнения плунжерных пар топливных насосов высокого давления нанокомпозиционным электролитическим покрытием на основе хрома.
- Технологический процесс восстановления и упрочнения плунжерных пар топливных насосов высокого давления, путем создания на рабочих поверхностях плунжеров нанокомпозиционного электролитического покрытия, обладающего высокой износо- и коррозионной стойкостью.

3. Использование указанных результатов позволяет получить техниче-

ский эффект, который заключается в повышении ресурса топливных насосов высокого давления в 1,82 раза по отношению к серийным.

4. Внедрение результатов данной работы обеспечивает годовой экономический эффект из расчета на один топливный насос в размере 984,8 руб.

Представители

Челябинского обособленного подразделения ООО «Новые транспортные технологии»

(Silup	С.А. Туроверов
01	

17.04.2019 г.

<u>Ир</u>О.Ю. Красноцветов 17.04.2019 г.

предетавители ФТ воз во
Саратовский ГАУ
В.В. Сафонов
17.04.2019 г.
С.А. Шишурин
17.04.2019 г.
П.А. Горбушин
17.04.2019 г.

Представители ФГБОУ ВО

17.04.2019 г.

УТВЕРЖДАЮ Деректор ООО «Новые Траспортные Технологии» Воронин А.А./ 06.04.2018 Транспортные Технологии» г-Петеро АКТ

ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

Комиссия в составе: представителей ООО «НТТ» технического директора Красноцветова О.Ю., главного технолога Туроверова С.А., и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ: профессора, доктора технических наук В.В. Сафонова, доцента С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина составила настоящий акт в том, что в условиях ремонтной базы Челябинского обособленного подразделения ООО «Новые транспортные технологии» проведена опытно-экспериментальная проверка и приняты к внедрению технологии упрочнения и восстановления золотниковых пар гидросистем, разработанные в ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ.

В результате проведенной работы получены следующие научнотехнические результаты:

- Рекомендации по применению технологий восстановления и упрочнения золотниковых пар гидросистем нанокомпозиционными гальванохимическими покрытиями на основе железа и никеля.
- Технологические процессы восстановления и упрочнения золотниковых пар гидросистем, путем создания на рабочих поверхностях золотников нанокомпозиционных гальванохимических покрытий, обладающих высокой износо- и коррозионной стойкостью.
- 3. Использование указанных результатов позволяет получить

технический эффект, который заключается в повышении ресурса агрегатов гидросистем в 1,2-1,5 раза по отношению к серийным.

4. Внедрение результатов данной работы обеспечивает годовой экономический эффект от 470 до 490 руб. из расчета на один агрегат.

Преде	ставители	Челябинского	Представители ФГБОУ ВС	С
обосс	бленного под	разделения ООО	Саратовский ГАУ	
«Нов	ые транспортн	ые технологии»	B.B. Ca	афонов
SX	po	С.А. Туроверов	17.04.2019 г.	
17.04	2019 г.		С.А. Ш	Іишурин
the-	>О.К	О. Красноцветов	17.04.2019 г.	4
17.04	2019 г.		П.А. Го	орбушин
			17.04.2019 г.	

Мы, ниже подписавшиеся, технический директора ООО ИЦ «ТЭК-С» Мясников П.И., гл. технолог Кулагина Р.А., мастер ремонтного цеха Красноцветов П.Н. и представители Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова профессор, доктор технических наук Сафонов В.В., доцент Шишурин С.А., ассистент Горбушин П.А. составили настоящий акт в том, что в условиях ООО ИЦ «ТЭК-С» проведена опытно-экспериментальная проверка и приняты к внедрению технологии упрочнения и восстановления прецизионных деталей топливной и гидравлической аппаратуры, разработанные в ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ. В результате проведенной работы получены следующие научно-технические результаты:

- 1. Рекомендации по применению технологий упрочнения прецизионных деталей топливной и гидравлической аппаратуры нанокомпозиционными гальванохимическими покрытиями на основе хрома, железа и никеля.
- Технологические процессы восстановления и упрочнения прецизионных деталей топливной и гидравлической аппаратуры, путем создания на рабочих поверхностях деталей нанокомпозиционных гальванохимических покрытий, обладающих высокой износо- и коррозионной стойкостью.
- Использование указанных результатов позволяет получить технический эффект, который заключается в повышении ресурса агрегатов топливной и гидравлической аппаратуры в 1,2-1,7 раза по отношению к серийным.
- Внедрение результатов данной работы обеспечивает годовой экономический эффект от 468 до 985 руб. из расчета на один агрегат топливной или гидравлической аппаратуры.

Представители ООО ИЦ «ТЭК-С»	Представители ФГБОУ ВО
	Саратовский ГАУ
Илиников П.И.	Сафонов В.В.
23.04.2018 г.	23.04.2018 г.
Кулагина Р.А.	Шишурин С.А.
23.04.2018 г.	23.04.2018 г.
Красноцветов П.Н.	Горбушин П.А.
23.04.2018 г.	23.04.2018 г.
УТВЕРЖДАЮ	

Директор ОСО Инновационный центр	
«ТрансЭнергоКомилект-С»	
21/11.2018 г.	
AKT * 1086453000 *	

ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕНЬСКОЙ РАБОТЫ

Мы, ниже подписавшиеся, технический директора ООО ИЦ «ТЭК-С» Мясников П.И., гл. технолог Кулагина Р.А., мастер ремонтного цеха Красноцветов П.Н. и представители Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова профессор, доктор технических наук Сафонов В.В., доцент Шишурин С.А., ассистент Горбушин П.А. составили настоящий акт в том, что в условиях ООО ИЦ «ТЭК-С» проведена опытно-экспериментальная проверка и принята к внедрению технологии восстановления и упрочнения золотниковых пар гидравлической аппаратуры нанокомпозиционными гальванохимическим покрытиями, разработанные в ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ.

На основании рассмотренных материалов и результатов, проведенных лабораторных и стендовых испытаний комиссия установила:

1. Представленные технологии являются эффективным способом восстановления работоспособности золотниковых пар и увеличения ресурса агрегатов гидравлической аппаратуры.

2. Данные технологии следует рекомендовать к внедрению на предприятиях занимающихся ремонтом гидравлической аппаратуры.

3. Технический эффект от применения технологий заключается в повышении ресурса агрегатов гидравлической аппаратуры в 1,46-1,58 раза по сравнению с серийными.

4. Годовой экономический эффект от внедрения предлагаемых технологий составляет от 450 до 550 руб. на один агрегат гидравлической аппаратуры.

	1	
	Hame	Мясников П.И.
	21.11.2018 г.	
-	Kyd	Кулагина Р.А.
	21.11.2018 г.	
	- Clicer	Красноцветов П.Н.
	21.11.2018 г.	

Представители ООО ИШ «ТЭК-С»

Представители ФГ	БОУ ВО
Саратовский ГАУ	
- Port.	Сафонов В.В.
21.11.2018	
_	Шишурин С.А.
21.11.2018 _T .	
Atm	Горбушин П.А.
21.11.2018 г.	



внедрения технологии восстановления и упрочнения прецизионных деталей топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники

Комиссия в составе: представителей ООО «Ремтехагро» главного инженера А.В. Чуракова, слесаря по топливной аппаратуре В.А. Булгакова, менеджера по работе с клиентами О.В. Бородиной и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ: профессора, доктора технических наук В.В. Сафонова, доцента С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина составила настоящий акт в том, что в ООО «Ремтехагро» проведена опытно-экспериментальная проверка и принята к внедрению технология упрочнения и восстановления прецизионных деталей топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники, разработанная в ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ.

Технология предусматривает: механическую обработку деталей с целью выведения следов износа; нанесение нанокомпозиционных гальванохимических покрытий на рабочие поверхности деталей; термообработку покрытий.

На основании рассмотренных материалов и результатов, проведенных лабораторных и стендовых испытаний комиссия установила:

1. Представленная технология является эффективным способом восстановления работоспособности прецизионных деталей и увеличения ресурса агрегатов топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники. 2. Данную технологию следует рекомендовать к внедрению на предприятиях занимающихся ремонтом топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники.

3. Технический эффект от применения технологий заключается в повышении ресурса агрегатов топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники в 1,84 раза по сравнению с серийными.

4. Внедрение результатов данной работы обеспечивает годовой экономический эффект из расчета на один топливный насос в размере 968,42 руб.

Представители ООО «Ремтехагро» А.В. Чураков 18.02.2019 г. В.А. Булгаков 18.02.2019 г. О.В. Бородина 12 18.02.2019 г.

Представители ФГБОУ ВО
Саратовский ГАУ
В.В. Сафонов
18.02.2019 F.
С.А. Шишурин
18.02.2019 г.
П.А. Горбушин
18.02.2019 г.



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛУНЖЕРНЫХ ПАР ТОПЛИВНЫХ НАСОСОВ ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ-740

Комиссия в составе: представителей ОАО «Ремонтный завод «Хоперский»: главного инженера А.В. Филатова, начальника ОТК В.В. Жабина, инженера технолога А.И. Христофорова и представителей ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ» им. Н.И. Вавилова: профессора, доктора технических наук В.В. Сафонова, старшего преподавателя С.А. Шишурина, ассистента С.Н. Седова составила настоящий акт о внедрении технологии восстановления плунжерных пар топливных насосов КамАЗ 33-02. Внедрение данной технологии осуществлялось на участке, где было подобрано соответствующее оборудование.

Основанием для внедрения явились положительные результаты лабораторных, стендовых и эксплуатационных испытаний, проводимых в ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ" им. Н.И. Вавилова, ООО «Ремтехагро», ОАО «Ремонтный завод «Хоперский», ООО «Автокомбинат» и ОАО «Автокомбинат№З».

В процессе внедрения выполнен следующий объем работ:

1. В ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ" им. Н.И. Вавилова разработана и передана ОАО «Ремонтный завод «Хоперский» техническая документация на технологический процесс восстановления плунжерных пар топливных насосов КамАЗ 33-02.

2. Проведены стендовые испытания восстановленных плунжерных пар топливных насосов КамАЗ 33-02. Результаты испытаний переданы ОАО «Ремонтный завод «Хоперский».

 Разработаны и переданы ОАО «Ремонтный завод «Хоперский» рекомендации по нанесению композиционного гальванического покрытия на основе хрома.

На основании рассмотренных материалов комиссия установила:

 Признать работу, проводимую сотрудниками ФГОУ ВПО "Саратовский ГАУ" им. Н.И. Вавилова актуальной и имеющей важное значение для сельскохозяйственного производства.

2. Внедрение рассмотренной упрочняющей технологии является эффективным средством восстановления работоспособности и увеличения ресурса плунжерных пар топливных насосов КамАЗ 33-02.

3. Рекомендовать данную технологию к внедрению на предприятиях занимающихся ремонтом топливной аппаратуры автотракторных двигателей.

Представители ОАО "Ремонтный завод «Хоперский" А.В. Филатов 2006 г. В.В. Жабин 2006 г. А.И. Христофоров 2006 г.

Представители ФГ	ЭУ ВПО
"Саратовский ГАУ	"им. Н.И. Вавилова
d	_В.В. Сафонов
" <u>15" 06</u>	_2006 г.
	С.А. Шишурин
"15" OG	_2006 г.
	_С.Н. Седов
"15" 06	_2006 г.

Утверждаю Технический директор ООО «Краснокутский ектромеханический завод» И.И. Горченюк 2013 г. АКТ

Внедрения технологии восстановления и упрочнения прецизионных деталей гидравлических систем автотракторной техники

000 «Краснокутский Коммисия составе: представителей B электромеханический завод» технического директора Горченюк И.И., технолога Шукуровой Г.И. и представителей ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ» профессора, д.т.н. Сафонова В.В., доцента, к.т.н. С.А. Шишурина, ст.преподавателя Сёмочкина В.С. составила настоящий акт о том, что в ООО «Краснокутский электромеханический завод» проведена опытноэкспериментальная проверка и внедрение технологического процесса восстановления упрочнения прецизионных деталей гидросистем, И разработанного на кафедре «Надежность и ремонт машин» ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ».

Технологический процесс восстановления и упрочнения прецизионных деталей предусматривает: механическую обработку; нанесение композиционного покрытия на основе никеля химическим способом на рабочую часть прецизионных деталей; термообработку детали с покрытием с целью увеличения адгезионных свойств покрытия; взаимную притирку упрочненных деталей сопряжения.

Нанесение композиционного химического покрытия на основе никеля позволяет повысить микротвердость рабочей поверхности детали до 10 ГПа, увеличить износостойкость в 3,5 – 4 раза и увеличить ресурс упрочненных деталей.

Оборудование и технологическая оснастка, применяемая для нанесения композиционного химического покрытия на основе никеля, не отличается от стандартных, применяемых для химического никелирования.

На основании рассмотренных материалов и проведенных стендовых и эксплуатационных испытаний комиссия установила:

- Применение разработанной технологии упрочнения и восстановления прецизионных деталей позволит увеличить ресурс агрегатов гидравлических систем автотракторной техники.
- Предложенную технологию следует рекомендовать к внедрению на предприятиях занимающихся ремонтом и изготовлением прецизионных деталей гидравлической аппаратуры автотракторной техники.

Представители ООО «Краснокутский Представители ФГБОУ ВПО «Саратовский лектроходанический завод» ГАУ» Горченюк И.И. Сафонов В.В. 2013 г. 2013 г. « OI » 02 Шукурова Г.И. Шишурин С.А. 2013 г. 2013 г. « oi >> 02 Сёмочкин В.С. « 01 » 2013 г. 02

Утверждаю OTBETCTB Директор аратовиизельаппарат» Ю.М. Холодков 2017 г. 10

AKT

ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ И ГИДРОАППАРАТУРЫ

Комиссия в составе: представителей ООО «Саратовдизельаппарат»: директора по развитию Голеня Т.А., заместителя генерального директора Паршина А.Н. и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ: профессора, доктора технических наук В.В. Сафонова, доцента С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина составила настоящий акт в том, что в ООО «Саратовдизельаппарат» проведена опытно-экспериментальная проверка и принята к внедрению технология упрочнения и восстановления прецизионных деталей топливной и гидроаппаратуры сельскохозяйственной техники, разработанной на кафедре «Технический сервис и технология конструкционных материалов» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ.

Технология предусматривает: механическую обработку деталей с целью выведения следов износа; нанесение нанокомпозиционных гальванохимических покрытий (НКГХП) (хрома или никеля) на рабочие поверхности деталей; термообработку покрытий.

НКГХП позволяют создать на изношенных поверхностях прецизионных деталей слой различной толщины (до 0,1 мм), повысить микротвердость рабочих поверхностей деталей (до 14 Гпа), снизить износ деталей (до 4 раз) и увеличить ресурс агрегатов гидроаппаратуры сельскохозяйственной техники и топливной аппаратуры дизелей (до 2,5 раз). Оборудование и технологическая оснастка, применяемая для нанесения НКГХП не отличается от стандартных, применяемых для получения классических гальвано-химических покрытий.

На основании рассмотренных материалов и результатов проведенных лабораторных и стендовых испытаний комиссия установила:

1. Представленная технология является эффективным способом восстановления работоспособности прецизионных деталей и увеличения ресурса агрегатов гидроаппаратуры сельскохозяйственной техники и топливной аппаратуры дизелей.

2. Данную технологию следует рекомендовать к внедрению на предприятиях занимающихся ремонтом топливной и гидроаппаратуры сельскохозяйственной техники.

Представители ООО «Саратовдизельаппарат» Голеня Т.А. 86 2017 г. Паршин А.Н. 10 2017 г.

Представители ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ В.В. Сафонов «26» 10 2017 г. С.А. Шишурин 10 26 >> 2017 г. П.А. Горбушин 10 2017 г. 6 >>



ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ЗОЛОТНИКОВ ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ Р160-3/1-222

Комиссия в составе: представителей ООО «Саратовдизельаппарат»: директора по развитию Голеня Т.А., заместителя генерального директора Паршина А.Н. и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ: профессора, доктора технических наук В.В. Сафонова, доцента С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина составила настоящий акт внедрения технологии восстановления и упрочнения золотников гидрораспределителя P160-3/1-222.

Основанием для внедрения являлись положительные результаты лабораторных и стендовых испытаний, проведенных в ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ и ООО «Саратовдизельаппарат».

В процессе внедрения выполнен следующий объем работ:

 В ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ разработана и передана в ООО «Саратовдизельаппарат» техническая документация на технологический процесс восстановления золотников гидрораспределителей Р160-3/1-222.

2. Проведены стендовые испытания восстановленных и упрочненных золотников гидрораспределителей Р160-3/1-222. Результаты испытаний переданы в ООО «Саратовдизельаппарат».

 Разработаны и переданы в ООО «Саратовдизельаппарат» рекомендации по нанесению композиционного гальванического покрытия на основе железа.

На основании рассмотренных материалов комиссия установила:

1. Признать работу, проводимую сотрудниками ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ актуальной и имеющей важное значение для ремонтных предприятий АПК.

2. Рассмотренная технология является эффективной для восстановления работоспособности и увеличения ресурса золотников гидрораспределителей Р160-3/1-222.

3. Рекомендовать данную технологию к внедрению на предприятиях, занимающихся ремонтом гидравлических систем автотракторной техники.

Представители

000 «Саратовдиз	ельаппарат»
ph-	Голеня Т.А.
« <u>20</u> » ноября	2018 г.
Sofer	_ Паршин А.Н.
« <u>20</u> » ноября	2018 г.

Представители ФГІ	БОУ ВО
Саратовский ГАУ	/
	В.В. Сафонов
« <u>20</u> » ноября	2018 г.
	С.А. Шишурин
« <u>20</u> » ноября	2018 г.
(1)	_П.А. Горбушин
« <u>20</u> » ноября	_2018 г.



ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТОПЛИВНОЙ И ГИДРОАППАРАТУРЫ

Комиссия в составе: представителей ООО «Сельхозтехника»: главного инженера А.А. Ефанова, начальника цеха Д.Н. Кудлаева, технолога А.В. Бубнова и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ: профессора, доктора технических наук В.В. Сафонова, доцента С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина составила настоящий акт в том, что в ООО «Сельхозтехника» проведена опытно-экспериментальная проверка и принята к внедрению технология упрочнения и восстановления прецизионных деталей топливной и гидроаппаратуры сельскохозяйственной техники, разработанной на кафедре «Технический сервис и технология конструкционных материалов» ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ.

Технология предусматривает: механическую обработку деталей с целью выведения следов износа; нанесение нанокомпозиционных гальванохимических покрытий (НКГХП) (хрома или никеля) на рабочие поверхности деталей; термообработку покрытий.

НКГХП позволяют создать на изношенных поверхностях прецизионных деталей слой различной толщины (до 0,1 мм), повысить микротвердость рабочих поверхностей деталей (до 14 Гпа), снизить износ деталей (до 4 раз) и увеличить ресурс агрегатов гидроаппаратуры сельскохозяйственной техники и топливной аппаратуры дизелей (до 2 раз). Оборудование и технологическая оснастка, применяемая для нанесения НКГХП не отличается от стандартных, применяемых для получения классических гальвано-химических покрытий.

На основании рассмотренных материалов и результатов проведенных лабораторных и стендовых испытаний комиссия установила:

1. Представленная технология является эффективным способом восстановления работоспособности прецизионных деталей и увеличения ресурса агрегатов гидроаппаратуры сельскохозяйственной техники и топливной аппаратуры дизелей.

2. Данную технологию следует рекомендовать к внедрению на предприятиях занимающихся ремонтом топливной и гидроаппаратуры сельскохозяйственной техники.

Представители	
ООО «Сельхозтех	кника»
Exper	А.А. Ефанов
« <u>30</u> » d	2017 г.
- Kygd	Д.Н. Кудлаев
« <u>30</u> »	2017 г.
byout	А.В. Бубнов
«30» 4	2017 г.

Представители ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ В.В. Сафонов « 30» 2017 г. С.А. Шишурин « 30 » 2017 г. 11 П.А. Горбушин 11 30 2017 г. >>



ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ И УПРОЧНЕНИЯ ЗОЛОТНИКОВ ГИДРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЯ Р160-3/1-222

Комиссия в составе: представителей ООО «Сельхозтехника»: главного инженера А.А. Ефанова, начальника цеха Д.Н. Кудлаева, технолога А.В. Бубнова и представителей ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ: профессора, доктора технических наук В.В. Сафонова, доцента С.А. Шишурина, ассистента П.А. Горбушина составила настоящий акт внедрения технологии восстановления и упрочнения золотников гидрораспределителя P160-3/1-222.

Основанием для внедрения являлись положительные результаты лабораторных и стендовых испытаний, проведенных в ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ и ООО «Сельхозтехника».

В процессе внедрения выполнен следующий объем работ:

 В ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ разработана и передана в ООО «Сельхозтехника» техническая документация на технологический процесс восстановления золотников гидрораспределителей Р160-3/1-222.

2. Проведены стендовые испытания восстановленных и упрочненных золотников гидрораспределителей Р160-3/1-222. Результаты испытаний переданы в ООО «Сельхозтехника».

3. Разработаны и переданы в ООО «Сельхозтехника» рекомендации по нанесению композиционного гальванического покрытия на основе железа.

На основании рассмотренных материалов комиссия установила:

1. Признать работу, проводимую сотрудниками ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ актуальной и имеющей важное значение для ремонтных предприятий АПК.

2. Рассмотренная технология является эффективной для восстановления работоспособности и увеличения ресурса золотников гидрораспределителей Р160-3/1-222.

3. Рекомендовать данную технологию к внедрению на предприятиях, занимающихся ремонтом гидравлических систем автотракторной техники.

Представители

ООО «Сельхозтехника» А.А. Ефанов 27 » Harespa 2018 г. Д.Н. Кудлаев » malops 2018 г. А.В. Бубнов 2018 г. «27» nored DS

Представители ФГІ	БОУ ВО
Саратовский ГАУ	
Comment:	_ В.В. Сафонов
« 17» montops	_2018 г.
	С.А. Шишурин
«27» HareSpa	_2018 г.
haff	_П.А. Горбушин
«27» more Spa	2018 г.

Приложение М

Материалы, расходуемые при существующих и предлагаемых технологиях

		Hop	ма рася	кода	Цена на деталь,					
	<u>`</u> 9.	H	а детал	Ь	руб.					
Наименование материала	Цена за единицу, Г	хромирование плнужерных пар	железнение золотниковых пар P160	хим. никелирование золотниковых пар Р80	хромирование плнужерных пар	железнение золотниковых пар P160	хим. никелирование золотниковых пар P80			
Сущест	вующие	(базовь	ie) mext	юлогии	1		1			
Лабомид-203, кг	60	0,012	0,033	0,028	0,72	1,98	1,68			
Ветошь обтирочная, кг	90	0,001	0,002	0,002	0,09	0,18	0,18			
Мадаполам, м ²	40	0,2	0,5	0,4	8	20	16			
Паста доводочная АСМ 20/14, кг	120	0,25	_	_	30	_	_			
Паста доводочная ACM 2/1, кг	120	0,25	_	_	30	_	_			
Керосин, л	32	0,1	_	-	3,2	-	_			
Вода техническая, м ³	23,74	0,018	0,022 0,02		0,43	0,52	0,47			
Перхлорвиниловая эмаль XB-1100, кг	150	0,018	0,036	0,032	2,7	5,4	4,8			
Венская известь, кг	64	0,012	_	-	0,77	-	_			
Гидроксид натрия, кг	72	0,002	0,008	0,006	0,14	0,58	0,43			
Углекислый натрий, кг	25	0,0002	0,0008	0,0006	0,01	0,02	0,02			
Натриевое жидкое стекло, кг	77	0,008	0,012	0,01	0,62	0,92	0,77			
Вода дистиллированная, л	10	0,4	0,6	0,5	4	6	5			
Серная кислота, кг	55	0,001	0,003	-	0,06	0,17	-			

	<i>.</i> 0.	H	расу етал	код њ	a	Цена на деталь, руб.																															
Наименование материала	Цена за единицу, ру	хромирование	хромирование плнужерных пар		золотниковых пар Р160	хим. никелирование	золотниковых пар Р80	хромирование плнужерных пар		железнение золотниковых пар P160		хим. никелирование золотниковых пар P80																									
Хромовый ангидрид, кг	150	0,06		—		_		(9		_		_																								
Калий кремнефтористый, кг	125	0,00	2	_		_		0	,3	3 –																											
Барий сернокислый, кг	240	0,00	2		_		_	0	,5			_																									
Аммиак, кг	68	0,1	0,1		_		_		- 6,8		6,8 –																										
Дизельное топливо, л	42	0,1		_		_		- 4,2		_																											
Веретенное масло, л	84	0,05	5	_		_		4,2				-																									
Консервационный материал НГМ-МЛ, кг	160	0,05	5	_		_		8		_		_																									
Алмазный круг 1А1 АСМ 7/5 В2-0,1 кг	5812	_		0,0	0,006		0,004		0,004		0,004		0,004		0,004		_	34	4,9	2.	3,2																
СОЖ, л	50,5	_		0,05		0,03		0,03		0,03 –		-	2,53		1,52																						
Хлористое железо, кг	288	_		0,0	0,015 –		-		_		—		_				_		_		_		—		_		_		_		_		_	4	,35		_
Соляная кислота, кг	37	-		0,0	005	0,003		0,003		-	_	0	,19	0,	,11																						
Марганец хлористый, кг	128	—		0,018			_	-	_	2	2,3																										
Гидравлическое масло, л	260	—		_		0,	,05	0	,04	-	_]	13	10	0,4																						
Тринатрийфосфат, кг	142	-			_		_		_		_		_		_		_	0,008		-	_	1	,1														
Сернокислый никель, кг	160	-		_		_								—		0,007		/ _		1	,12																
Уксуснокислый натрий, кг	84							_		0,006		-	_	C),5		_																				
Гипофосфит натрия, кг	128	-		-		0,02		- 0,02		-	_	2	,56																								
ИТОГО								113	8,74	98	3,29	64	,58																								

		Норма расхода							Цена на деталь,					
	.9	на деталь							руб.					
Наименование материала	Цена за единицу, ру	хромирование	плнужерных пар	железнение	золотниковых пар Р160	хим. никелирование	золотниковых пар Р80	хромирование	плнужерных пар	железнение	золотниковых пар Р160	хим. никелирование	золотниковых пар Р80	
Предлагаемы	е (нанока	омпс	эзиц	ион	ные	e) m	ехнс	лог	ии					
Наноразмерный порошок	10000					0.0)05	50		_		50		
оксида алюминия, кг	10000	0,0	00			0,0		U	0			U	Ũ	
Наноразмерный порошок	10000	_		0,005		_		_		50		_		
нитрида алюминия, кг	10000													
Наноразмерный порошок	10000			_		0.005						50		
полититаната калия, кг													5	
ИТОГО								163	3,74	148	,29	11	4,6	

Приложение Н

Стоимость оборудования, применяемого по существующим технологиям

	базовое			(базовое	9	базовое хим.			
	vno	MUDODO		железнение			никелирование			
	плнужерных пар			золот	никовь	іх пар	золотниковых пар			
Наименование оборудования				P160			P80			
	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб	
Машина моечная ОМ-14266	1	2,1	60	1	2,1	60	1	2,1	60	
Стол дефектовщика ОРГ-1468-099А	1	-	20	1	-	20	1	-	20	
Вертикально- доводочный станок 3820-Д	1	6,9	280	-	-	-	-	-	-	
Печь азотирования ПША 6,9/7	1	8,6	120	-	-	-	-	-	-	
Станок плоско- доводочный 3816	1	12,8	280	-	_	_	_	_	-	
Бесцентро- шлифовальный станок 3184	1	12,4	260	-	-	-	-	-	-	
Бабка доводочная Т 9158-1А-9	2	3,6	24	-	_	_	_	_	_	
Ванна обезжиривания	1	-	35	-	-	-	1	-	35	
Ванна промывочная	3	-	75	2	-	50	2	-	50	

Наименование оборудования	базовое хромирование плнужерных пар			базовое железнение золотниковых пар P160			базовое хим. никелирование золотниковых пар P80			
	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб	
Стол монтажный	1	-	15	1	-	15	1	-	15	
ОРГ 1468-01-060А									_	
Ванна электрохимического обезжиривания	1	-	40	1	-	40	-	-	-	
Выпрямитель ВАКР 320-18 ХЛЧ	1	14	120	1	14	120	-	-	_	
Ванна анодного травления	1	-	35	1	-	35	1	-	35	
Выпрямитель ВАК 12/6-1600 УЧ	2	14	280	1	14	140	-	-	-	
Ванна хромирования	1	-	50	_	_	_	_	_	_	
Муфельная печь СНОЛ 8,2/1100	1	4,2	130	_	_	_	_	_	-	
Бесцентро- шлифовальный станок C250	-	-	-	1	12,4	220	1	12,4	220	
Вертикально- хонинговальный станок 3К833	_	_	-	1	8,12	200	1	8,12	200	
Ванна железнения	_	_	-	1	-	50	-	-	-	

	базовое			базовое			базовое хим.		
	vno	MUDODO		железнение			никелирование		
	хромирование плнужерных пар			золот	никовь	іх пар	золотниковых пар		
Наименование оборудования					P160		P80		
	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб
Ванна химического никелирования	-	-	-	-	-	-	1	-	110
Комплекс очистки сточных вод	1	-	300	1	-	300	1	-	300
ИТОГО	-	78,6	2124	-	50,6	1250	-	22,6	1045

Стоимость оборудования, применяемого по предлагаемым технологиям

Наименование оборудования	нанокомпоз. хромирование плнужерных пар			нанокомпоз. железнение золотниковых пар P160			нанокомпоз. хим. никелирование золотниковых пар P80		
	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб
Машина моечная ОМ-14266	1	2,1	60	1	2,1	60	1	2,1	60
Стол дефектовщика ОРГ-1468-099А	1	-	20	1	-	20	1	-	20

Наименование оборудования	нанокомпоз. хромирование плнужерных пар			нанокомпоз. железнение золотниковых пар P160			нанокомпоз. хим. никелирование золотниковых пар P80		
	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб
Вертикально-									
доводочный станок	1	6,9	280	-	-	-	-	-	-
3820-Д									
Печь азотирования ПША 6,9/7	1	8,6	120	-	-	-	-	-	-
Станок плоско- доводочный 3816	1	12,8	280	_	_	_	_	_	_
Бесцентро- шлифовальный станок 3184	1	12,4	260	-	-	-	-	-	-
Бабка доводочная Т 9158-1А-9	2	3,6	24	-	-	-	-	-	-
Ванна обезжиривания	1	_	35	_	_	_	1	_	35
Ванна промывочная	3	-	75	2	-	50	2	-	50
Стол монтажный ОРГ 1468-01-060А	1	-	15	1	-	15	1	-	15
Ванна электро-хим. обезжиривания	1	-	40	1	-	40	-	-	_
Выпрямитель ВАКР 320-18 ХЛЧ	1	14	120	1	14	120	-	_	_

Наименование оборудования	нанокомпоз. хромирование плнужерных пар			нанокомпоз. железнение золотниковых пар P160			нанокомпоз. хим. никелирование золотниковых пар P80		
	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб	Количество, шт	Мощность, КВт	Стоимость, тыс. руб
Ванна анодного травления	1	-	35	1	-	35	1	_	35
Выпрямитель ВАК 12/6-1600 УЧ	2	14	280	1	14	140	_	_	_
Установка нанесения нано- композ. покрытий	1	2	540	1	2	440	1	2	590
Муфельная печь СНОЛ 8,2/1100	1	4,2	130	-	-	_	-	_	-
Муфельная печь СНОЛ 12/16	_	-	-	-	-	_	1	3,6	110
Бесцентро- шлифовальный станок С250	_	-	-	1	12,4	220	1	12,4	220
Вертикально- хонинговальный станок 3К833	-	-	-	1	8,12	200	1	8,12	200
Комплекс очистки сточных вод	1	-	300	1	-	300	1	_	300
ИТОГО	-	80,6	2614	-	52,6	1640	-	28,2	1635