

На правах рукописи

СЁМОЧКИН Владимир Сергеевич

**ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ
ГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЕЙ
НАНОКОМПОЗИЦИОННЫМ ХИМИЧЕСКИМ
НИКЕЛИРОВАНИЕМ**

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства
технического обслуживания в сельском хозяйстве

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов 2013

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Сафонов Валентин Владимирович

Официальные оппоненты: **Межецкий Геннадий Дмитриевич**,
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ»,
профессор кафедры «Детали машин,
подъемно-транспортные машины
и сопротивление материалов»

Кожуховская Людмила Яковлевна
доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВПО «Саратовский ГТУ»,
профессор кафедры «Организация
перевозок и управление транспортом»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Пензенская государственная
сельскохозяйственная академия»

Защита диссертации состоится 29 марта 2013 г. в 14.00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.061.03 на базе ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» по адресу: г. Саратов, ул. Советская, 60, ауд. 325.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ».

Отзывы на автореферат направлять по адресу: 410012, г. Саратов, Театральная пл. 1, ученому секретарю, e-mail: dissovet@sgau.ru

Автореферат диссертации разослан 28 февраля 2013 г. и размещён на сайте: www.sgau.ru, Минорбнауки РФ.

Ученый секретарь
диссертационного совета



С.В. Старцев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Восстановление работоспособности и повышение межремонтного ресурса деталей машин и отдельных механизмов – важнейшая задача ремонтного производства.

В процессе эксплуатации сельскохозяйственных машин от 30 до 50 % всех отказов приходится на гидравлическую систему из-за износа прецизионных деталей, в основном золотников. Основная причина абразивного износа в – попадание в масло механических частиц.

Для восстановления работоспособности золотников наиболее перспективными являются способы, которые позволят минимизировать последующую механическую обработку и создать на поверхности детали слой с необходимыми физико-механическими свойствами. Они должны проходить при низких температурах с целью исключения коробления деталей. К этим способам восстановления, в первую очередь, можно отнести гальванические и химические.

Однако при всех достоинствах гальванические способы восстановления имеют такие недостатки, как возникновение дендридов на кромках деталей, недостаточно высокая микротвердость и износостойкость покрытий и др. Поэтому в последние годы успешно развивается технология осаждения композиционных химических покрытий (КХП). Практическую ценность представляет композиционное химическое никелирование, так как из всех химических покрытий никелевое обладает наиболее высокой микротвердостью, износо- и коррозионной стойкостью.

В связи с изложенным актуальной задачей является разработка технологии восстановления и упрочнения золотников композиционным химическим покрытием на основе никеля.

Степень разработанности проблемы. Исследованию применения дисперсных добавок в растворы химического нанесения покрытий для повышения эксплуатационных свойств посвящены работы С. А. Вишенкова, С. А. Каспарова, М. И. Черновол, И. Н. Щербакова, А. С. Хлыстова, С. А. Шишурина, А. А. Гаврилова и др.

Решением проблемы улучшения эксплуатационных показателей и повышения долговечности трущихся деталей значительный вклад внесли такие ученые, как Д.Г. Вадивасов, Е.Л. Воловик, В.В. Курчаткин, И.С. Левитский, В.М. Михлин, С.С. Некрасов, Ю.Н. Петров, М.Я. Рассказов, В.В. Сафонов, Г.П. Шаронов и др. В настоящее время, несмотря на проведенные исследования, эта проблема является актуальной и требует дальнейшего изучения и развития.

В частности недостаточно изучено влияние дисперсных добавок нано-

метрового диапазона на физико-механические свойства химического покрытия на основе никеля. Это обусловило выбор темы исследования, его цель и задачи.

Цель работы – увеличение межремонтного ресурса гидравлических распределителей путем разработки и применения технологического процесса восстановления и упрочнения поясков золотника ультра- и нанокomпозиционным химическим никелированием.

Объект исследования – процесс образования нанокomпозиционного химического покрытия на основе никеля.

Предмет исследования – закономерности влияния наноразмерных порошков оксида алюминия и полититаната калия на физико-механические свойства никелевого покрытия и долговечность прецизионных деталей гидравлических распределителей.

Методология и методы исследований. Методологической основой для выполнения работы являлись методы обработки экспериментальных данных с помощью математической статистики. Лабораторным исследованиям подвергали поверхностный слой КХП, его основные физико-механические свойства, износо- и коррозионную стойкость. Стендовые испытания проводили на модернизированном стенде КИ-4200. В результате эксплуатационных испытаний был определен ресурс золотниковых пар гидравлических распределителей типа Р80, восстановленных ультра- и нанокomпозиционным химическим никелированием.

Научная новизна. Теоретически обосновано повышение ресурса и как следствие – долговечности гидрораспределителя с золотниками, восстановленными КХП на основе никеля. Установлены оптимальный состав раствора нанокomпозиционного никелирования и режимы нанесения КХП, позволяющие получать их с повышенными физико-механическими свойствами.

Изучены структура поверхности и основные эксплуатационные свойства химического никелевого покрытия, формирующиеся при добавлении в раствор никелирования ультра- и нанодисперсных частиц.

Научные положения, выносимые на защиту:

- теоретическое обоснование повышения ресурса золотников восстановленных композиционным химическим никелированием;
- исследование влияния состава раствора и режимов композиционного никелирования на механизм формирования структуры и основных физико-механических свойств композиционного покрытия;
- технология восстановления золотниковых пар ультра- и нанокomпозиционным никелированием;
- результаты стендовых и эксплуатационных испытаний.

Теоретическая и практическая значимость. Теоретически обосновано

повышение износостойкости химического никелевого покрытия с добавлением ультра- и нанодисперсных частиц. На основании проведенных исследований предложена технология восстановления золотниковых пар гидравлических распределителей типа P80 нанокпозиционным химическим никелированием, которая позволяет увеличить ресурс золотниковых пар в 1,2 раза по сравнению с серийными.

Реализация результатов исследований. Результаты научных исследований внедрены в К(Ф)Х «Лавровское», К(Ф)Х «Харенко В.В.» , СХПК «Горещкое» и ООО «КЭМЗ» Краснокутского района Саратовской области, а также могут быть использованы в ремонтном производстве при восстановлении и упрочнении изношенных деталей автотракторной техники.

Степень достоверности и апробация работы подтверждена современными методиками исследования, применением оборудования и высокоточной измерительной аппаратуры, методами обработки экспериментальных данных с помощью математической статистики.

Основные положения и результаты работы были доложены, обсуждены и одобрены:

на научных конференциях профессорско-преподавательского состава, научных работников и аспирантов СГАУ (2009–2012 гг); ежегодном межгосударственном постоянно действующем научно-техническом семинаре «Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания» (Саратов, 2009–2012 гг.); на Всероссийском конкурсе на лучшую научную работу среди студентов и аспирантов вузов МСХ России (Саратов, 2010–2011 гг.); на Всероссийской научно-практической конференции «Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем» (Саранск, 2009 г.); на Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора Д.Г. Вадивасова (Саратов, 2009 г.); на международной научно-практической конференции «Вавиловские чтения» (Саратов, 2009–2011); на конференциях в рамках выставки НТТМ (Москва, 2011); на Саратовском салоне изобретений, инвестиций, инноваций (Саратов, 2011); на Молодежном инновационном форуме (Ульяновск, 2010); Работы по созданию и исследованию ультра- и нанокпозиционных покрытий на основе никеля были проведены при поддержке гранта Президента РФ МК-3789.2009.8.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 работ, в том числе 4 в изданиях, рекомендованных ВАК. Общий объем публикаций – 4,46 печ. л., из которых 1,3 печ. л. принадлежит лично соискателю. Получен патент на изобретение № 2465374.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Изложена на 126 стра-

ницах. Содержит 14 таблиц, 36 рисунков. Список литературы включает в себя 115 наименований, из них 10 на иностранном языке.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснованы актуальность темы и основные положения, которые выносятся на защиту.

В первой главе «Обоснование актуальности темы» изучено состояние вопроса, поставлена цель и определены задачи исследований. Установлено, что на надежность автотракторной техники большое влияние оказывает техническое состояние гидравлической аппаратуры. Ресурсоопределяющими деталями в гидросистеме являются золотники распределителей, от их нормальной работы в значительной степени зависит долговечность гидрораспределителя и машины в целом.

В решение проблемы улучшения эксплуатационных показателей и повышения долговечности трущихся деталей значительный вклад внесли такие ученые, как Д.Г. Вадивасов, С.А. Вишенков, Е.Л. Воловик, В.В. Курчаткин, И.С. Левитский, В.М. Михлин, С.С. Некрасов, Ю.Н. Петров, М.Я. Рассказов, В.В. Сафонов, Г.П. Шаронов, С.А. Шишурин и др.

На основе анализа существующих способов восстановления работоспособности золотников гидрораспределителей разработан эффективный способ, отличающийся технологичностью, малой трудоемкостью, позволяющий создать на поверхности детали слой с необходимыми физико-механическими свойствами.

Наиболее перспективны для восстановления работоспособности золотников – КХП на основе никеля. При нанесении таких покрытий отсутствует термическое воздействие на деталь, приводящее к ее короблению. КХП представляют собой химически осажденную матрицу с заданным распределением в ней различных порошкообразных материалов. Улучшение физико-механических свойств КХП позволяет существенно повысить ресурс золотников. Кроме того, не требуются затраты на дорогостоящее оборудование, так как при нанесении наноконпозиционного покрытия на основе никеля можно использовать оборудование гальванических цехов, поскольку процесс практически не отличается от стандартного процесса химического никелирования.

В соответствии с проведенным анализом и поставленной целью были определены следующие задачи:

1. Изучить причины отказов гидравлических распределителей сельскохозяйственной техники и способы восстановления их работоспособности.
2. Теоретически обосновать повышение ресурса золотников за счет нане-

сения ультра- и наноконпозиционного химического покрытия на основе никеля и оптимальные режимы его получения.

3. Разработать технологию восстановления работоспособности золотников гидрораспределителей применением ультра- и наноконпозиционного химического покрытия на основе никеля и исследовать физико-химические свойства полученного покрытия.

4. Провести стендовые и эксплуатационные испытания гидрораспределителей и определить технико-экономическую эффективность разработанной технологии восстановления их работоспособности.

Во второй главе «Теоретическое обоснование повышения ресурса золотников применением ультра- и наноконпозиционного химического никелирования» рассмотрены процессы образования и упрочнения КХП, теоретически обосновано повышение долговечности деталей, восстановленных композиционным химическим покрытием на основе никеля, а также определен оптимальный состав раствора и режимы нанесения покрытия.

Для объяснения механизма процесса химического никелирования в последние годы было предложено несколько гипотез. Одна из них предполагает, что восстановление иона никеля происходит за счет образования гальванического элемента, в котором анодом является водород, а катодом – покрываемый металл.

В другой гипотезе схема процесса представлена в виде многоступенчатой реакции. Восстановление иона никеля осуществляется путем получения им электрона с поверхности металла, в то время как передача электронов от гипофосфита к металлу происходит за счет радикала ОН.

Тем не менее на начальных стадиях кристаллизация никеля идет по островковому механизму. Рассмотрим образование кристаллита никеля, состоящего из зерен. Если зерна последующих слоев плотно укладываются друг к другу, то строится кристаллическая решетка с правильным расположением атомов (рисунка 1, *а*). Если зерна укладываются в положение так, как это показано на рисунке 1, *б*, то может образоваться дефект упаковки.

Можно предположить, что частицы дисперсного порошка, вводимого в раствор никелирования, двигаясь хаотично во всем объёме, заполняют дефекты кристаллической решетки и тем самым повысят плотность упаковки атомных слоев.

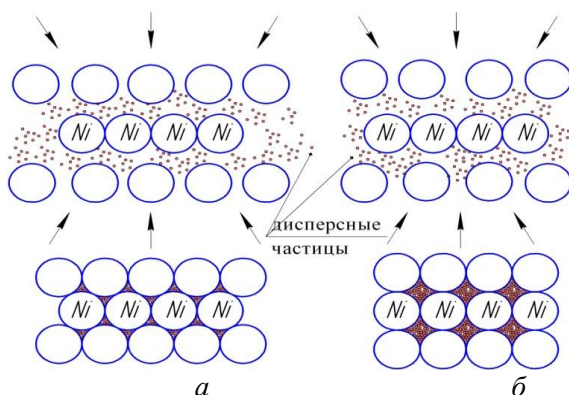


Рисунок 1 – Модели расположения зерен Ni в кристаллите в нормальном положении (а) и дефектном (б)

В сопряжении «золотник – корпус» гидрораспределителя происходит абразивный износ. Для объяснения механизма упрочнения КХП рассмотрим механизм изнашивания покрытия абразивными частицами в процессе эксплуатации.

По мнению ученых М. М. Хрущева и М. А. Бабичева, при абразивном износе покрытий, полученных различными методами, определяющим фактором разрушения является деформация вследствие больших напряжений, возникающих от действия абразивных частиц. Абразивная частица даже при малых внешних нагрузках внедряется в рабочую поверхность и оставляет за собой след деформированного металла покрытия, нанесенного на поверхность детали. Вследствие деформаций в микрообъемах металла покрытия возникают напряжения, увеличивающиеся с последующим действием абразивной частицы. При критическом значении напряжения происходит разрушение и отделение микрообъемов металла покрытия.

Таким образом, можно предположить, что при абразивном изнашивании химического покрытия разрушающим фактором является не резание и отделение микростружки, а деформация и скол вследствие возникновения высоких напряжений в области контакта абразивной частицы с поверхностью трения.

Для изучения механизма абразивного износа деталей, восстановленных композиционным химическим никелированием, можно использовать теорию накопления повреждений, разработанную А.Р. Ржаницыным. В своей работе он предложил характеризовать износ параметром мгновенной прочности материала S , уменьшающимся с течением времени под действием приложенной нагрузки и равным напряжению в момент разрушения, то есть:

$$S = \sigma_{кр} - \text{условие разрушения}, \quad (1)$$

где S – параметр мгновенной прочности, характеризующий уровень сопро-
тивляемости материала;

$$S > \sigma_{кр} - \text{условие прочности}. \quad (2)$$

где $\sigma_{кр}$ – критическое напряжение, МПа.

Критический изнашивание (разрушение) будет наблюдаться по мере при-
ближения значения фактического напряжения к значению предела прочности
материала покрытия. По мнению Ржаницына А.Р., Качанова Л.М.:

$$S = \sigma_{ф} + \sigma_{ф} k_{изн}$$

$$\sigma_{кр} = 75\% \sigma_{в},$$

где $\sigma_{ф}$ – фактическое напряжение в покрытии, МПа; $k_{изн}$ – коэффициент влия-
ния износа; $\sigma_{в}$ – предел прочности, МПа.

Тогда условие (1) можно записать следующим образом:

$$\sigma_{ф}(1 + k_{изн}) = 0,75\sigma_{в} \quad (3)$$

Фактическое напряжение является результирующей между пределами текуче-
сти и прочности:

$$\sigma_{ф}^2 = \sigma_{в}^2 + \sigma_{т}^2, \quad (4)$$

где $\sigma_{в}$ – предел прочности материала, МПа; $\sigma_{т}$ – предел текучести материала,
МПа.

Так как в процессе изнашивания материала внутренние напряжения буд-
дут изменяться во времени, то для их определения целесообразно пользо-
ваться нелинейной квадратичной зависимостью:

$$\sigma(t) = \sigma_0 + at + b(t)^2, \quad (5)$$

где σ_0 – начальное напряжение, равное напряжению на диаграмме деформи-
рования материала, МПа; a , b – коэффициенты функции, полученные на ос-
нове экспериментальных данных для группы материалов, в которую входит
исследуемое покрытие, при аналогичных режимах нагружения; t – время, ч.

Коэффициент влияния износа на напряженное состояние покрытия нахо-
дим из выражения:

$$k_{изн} = \sqrt{\frac{h_{изн}}{h_0}} \left(1,99 - 0,41 \frac{h_{изн}^2}{h_0^2} - 38,48 \frac{h_{изн}^3}{h_0^3} + 53,85 \frac{h_{изн}^4}{h_0^4} \right), \quad (6)$$

где $h_{\text{изн}}$ – толщина изношенного слоя покрытия, мкм; h_0 – начальная толщина покрытия, мкм.

В нашем случае в выражении (5) в качестве начального напряжения необходимо использовать пределы прочности σ_b и текучести σ_t , определенные на диаграмме деформирования материалов. Так для чистого никеля $\sigma_t = 120$ МПа, $\sigma_b = 500$ МПа, а для композиционного $\sigma_t = 276$ МПа, $\sigma_b = 680$ МПа.

Начальную толщину полученного покрытия и его изношенного слоя устанавливали с помощью микрометрической скобы МЛ-25 до и после испытаний. В результате получили следующие данные: у базового покрытия $h_0 = 23$ мкм, $h_{\text{изн}} = 12$ мкм, а у композиционного покрытия $h_0 = 36$ мкм, $h_{\text{изн}} = 8$ мкм.

Подставив полученные данные в выражение (3) и выполнив математические преобразования, получили уравнение с одним неизвестным t – критическим временем или временем до полного изнашивания покрытия.

для чистого покрытия:

$$497432,8 + 3935,3t - 1832,5t^2 - 0,65t^3 + 0,04t^4 = 0 \quad (7)$$

для композиционного покрытия:

$$1696218,9 + 1104,6t - 342,2t^2 - 1,098t^3 - 0,068t^4 = 0 \quad (8)$$

Решив уравнения (7) и (8), нашли переменную t . В результате для исходного (базового) покрытия время до полного изнашивания составляет 11 мин, а для покрытия с добавлением ультра- и нанодисперсных частиц – 16 мин, что в 1,5 раза больше.

Для подтверждения полученных результатов проводили серию экспериментов по испытанию покрытий на износостойкость. Цель испытаний – определить время до полного изнашивания покрытия в критических условиях.

Испытания образцов проводили на машине трения МИ-1М по схеме «ролик – колодка». Колодки изготавливали из серого чугуна СЧ 20, ролик – из среднеуглеродистой стали 40. На ролик наносили экспериментальные покрытия. Исследованиям подвергали образцы, покрытые композиционным и чистым химическим покрытием на основе никеля. Подвод смазки в зону трения осуществляли периодически каждые 3 мин эксперимента волосяной кистью пропитанной маслом. В качестве смазочного материала использовали индустриальное масло И-20. Начальная нагрузка на образце составляла 800 Н, далее нагрузку повышали на 150 Н через каждые 3 мин, в течение которых момент трения принимал постоянную величину для данной ступени нагружения. Продолжительность испытаний фиксировали при помощи секундомера до момента схватывания трущихся поверхностей. Полное изнашивание покрытия определяли по скачкообразному изменению момента трения.

В результате проведенных испытаний установлено, что для исходного (базового) покрытия время до полного изнашивания составляет 9 мин, а для покрытия с добавлением частиц – 15 мин, что в 1,7 раза больше.

Ресурс восстановленных золотников выражается известной зависимостью:

$$T_{\text{д}} = \frac{I_{\text{д}} \cdot t}{h}, \quad (9)$$

где $I_{\text{д}}$ – величина допустимого износа, мкм; h – толщина изношенного слоя, мкм; t – время износа, ч.

Из выражения (9) видно, что с увеличением времени износа ресурс деталей увеличивается.

Оптимальные условия нанесения покрытий и концентрацию частиц дисперсной фазы в растворе определяли методом математического планирования эксперимента, на основании которого были составлены математические модели процесса и построена поверхность отклика (рисунок 2).

В качестве параметра оптимизации была принята микротвердость у полученных покрытий. Для нанесения покрытия использовали нанодисперсный порошок Al_2O_3 и ультрадисперсный порошок $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{nTiO}_2$, которые в ранее проведенных исследованиях показали наилучшие результаты.

В качестве факторов, наиболее влияющие на параметр оптимизации, были выбраны следующие: концентрация оксида алюминия x_1 , концентрация полититаната калия x_2 , температура последующей термообработки покрытия x_3 .

Уравнение регрессии, описывающие процесс нанесения покрытий имеет вид:

$$y = 493,1 - 723,9x_1 - 2548,9x_2 - 2,9x_3 + 1287,5x_1x_2 + 1,53x_1x_3 + 1,31x_2x_3 - 540x_1^2 - 5727,5x_2^2 - 0,0057x_3^2 \quad (10)$$

В результате проведенных расчетов были определены оптимальные концентрации дисперсной фазы, позволяющие достичь микротвердости покрытия HV 1003, что в 1,9 раза выше, чем у стандартного (базового) покрытия. Таким образом, применение дисперсных частиц позволяет улучшить основные физико-механические свойства получаемых покрытий на основе никеля и как следствие – повысить долговечность восстанавливаемых деталей и агрегатов автотракторной техники.

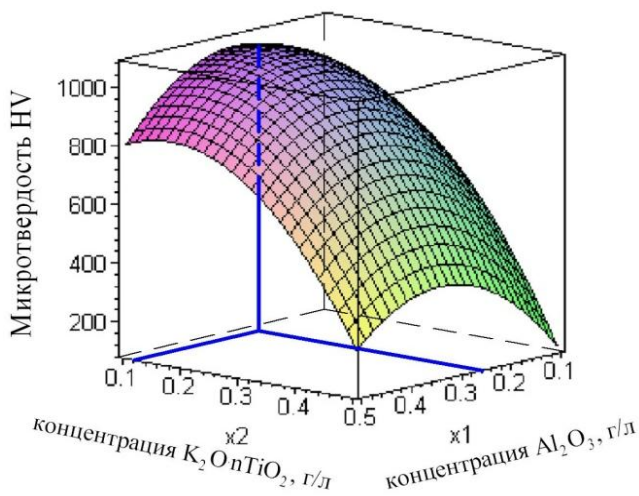


Рисунок 2 – Зависимость параметра оптимизации от концентрации дисперсных частиц

Третья глава «Методика исследования физико-механических свойств полученных покрытий» содержит программу и методики исследований физико-механических свойств исследуемых покрытий, а также проведения стендовых и эксплуатационных испытаний.

Эффективность дисперсных добавок оценивали по микротвердости и толщине полученных композиционных покрытий. Микротвердость измеряли с помощью микротвердомера ПМТ-3, а толщину – микрометрической скобой МЛ-25.

Определив наиболее эффективный материал, дальнейшие исследования физико-механических свойств КХП проводили только с его использованием.

Для испытания полученных покрытий на прочность сцепления с основой были выбраны метод изгиба и метод изменения температур согласно ГОСТ 9.302–88.

Покрытие наносили на образцы в виде пластин размерами 100x20x2 мм, изготовленных из среднеуглеродистой стали 25 ГОСТ 1050–88. После нанесения покрытия образцы подвергали термообработке при температуре 400 °С в течение 1 ч.

При использовании метода изменения температур образец с покрытием нагревали в муфельной печи СНОЛ 12/16 до температуры 300 °С, выдерживали при данной температуре в течение 15 мин и быстро охлаждали в воде с температурой 15...25 °С. Прочность сцепления покрытия с основой оценивали по наличию на поверхности образца вздутий, трещин и отслаиваний. Метод изгиба заключался в испытании пластинчатых образцов на изгиб под уг-

лом 90° в обе стороны. При высокой прочности сцепления отслаивание покрытия должно отсутствовать.

Структуру поверхности полученных покрытий исследовали с помощью растрового электронного микроскопа «MIRA II TESCAN» (Чехия). Определяли характер распределения модификаторов в матрице покрытия, принципиальные отличия между чистым (базовым) и композиционным покрытиями.

Для определения элементного состава композиционного никелевого покрытия и обнаружения в нем присутствия нано- и ультрадисперсных частиц порошков был проведен эмиссионный анализ образцов по дифракции отраженных электронов. Исследовательский комплекс «MIRA II TESCAN» снабжен микроанализаторами химического состава, что позволило получить более полную информацию об исследуемом покрытии.

Износостойкость покрытий оценивали на лабораторной установке МИ-1М по схеме «ролик – колодка».

Испытания проводили согласно ГОСТ 23.224–86 «Обеспечение износостойкости деталей. Методы оценки износостойкости восстановленных деталей» в двух средах: на чистом и загрязненном индустриальном масле И-20 (ГОСТ 20799–88). В качестве загрязнителя использовали кварцевый порошок марки $1K_1O_101$ (ГОСТ 2138–91) при концентрации 0,08 % по объёму. Нагрузка на образец составляла 900 Н.

Перед испытаниями образцы пар трения прирабатывали в течение 3 ч. Износ образцов определяли взвешиванием на аналитических весах марки ВЛА-200М с точностью измерения $1 \cdot 10^{-4}$ г.

Коррозионные испытания исследуемых покрытий проводили согласно ГОСТ 9.308–85 «Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы ускоренных коррозионных испытаний» при повышенной относительной влажности и температуре с периодической конденсацией влаги и введением агрессивной составляющей – хлористого натрия ГОСТ 4233–77. Образцы изготавливали в виде пластин размерами $100 \times 15 \times 2$ мм. Для испытаний было подготовлено 12 образцов. На 6 из них наносили химическое покрытие на основе никеля, на другие 6 – композиционное химическое покрытие. Перед испытанием образцы взвешивали на аналитических весах типа ВЛА-200М, после чего их помещали в камеру коррозионных испытаний.

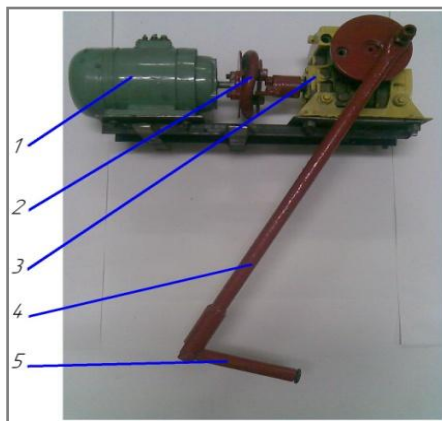
Для определения эффективности разработанной технологии восстановления золотников гидрораспределителей композиционным химическим никелированием был применен метод ускоренных стендовых испытаний. Для этого были отремонтированы гидрораспределители типа P80-3/1-222. Экспериментальные гидравлические распределители комплектовали серийными золотниками, золотниками, восстановленными по существующей технологии (железнение), и золотниками, восстановленными композиционным химиче-

ским никелированием. Перед началом испытаний гидрораспределители проверяли согласно ТУ 23.1.20–77 «Распределители гидравлического типа Р75 ГОСТ 87-54–71» на стенде КИ-4200. Ускоренные испытания каждого гидрораспределителя проводили на модернизированном стенде КИ-4200, добавляя в рабочую жидкость искусственный загрязнитель. В качестве загрязнителя использовали кварцевый порошок марки 1К₁О₁01 (ГОСТ 2138–91) при концентрации 0,08 % по объёму, что соответствует среднему значению концентрации абразива в рабочей жидкости гидросистемы при эксплуатации.

Чтобы поддержать седиментационную стойкость абразива в рабочей жидкости стенда использовали лопастную мешалку. Для имитации работы гидрораспределителя было разработано приспособление для стенда КИ-4200, которое позволяет испытывать поочередно каждый золотник в позициях «Подъем», «Опускание», «Плавающее» и «Нейтральное» (рисунок 3, а). Приспособление (рисунок 3, б) состоит из электродвигателя 1, упругой муфты 2, червячного редуктора 3, шатуна 4 и удлинителя 5, соединенного с испытываемым золотником гидрораспределителя.



а



б

Рисунок 3 – Модернизированный стенд КИ-4200 для испытаний гидрораспределителей (*а*) и дополнительное приспособление к стенду (*б*).

Утечки регистрировали через каждые 8 ч испытаний. Объем утечек измеряли при помощи мерительной мензурки.

Эксплуатационные сравнительные испытания отремонтированных гидрораспределителей Р80 с восстановленными и серийными золотниками проводили в К(Ф)Х «Лавровское», К(Ф)Х «Харенко В.В.» и СХПК «Горецкое» Краснокутского района Саратовской области. Экспериментальные гидрораспределители были установлены на тракторах ДТ-75М, МТЗ-80, Т-150К, которые выполняли различные типы сельскохозяйственных работ.

Перед началом испытаний гидрораспределители проверяли и регулировали на стенде КИ-4200. Продолжительность испытаний каждого гидрораспределителя в среднем составляла 842 мото-ч. В процессе эксплуатационных испытаний контролировали наработку и через каждые 400 мото-ч техническое состояние гидрораспределителей и величину утечек в сопряжении «золотник – корпус».

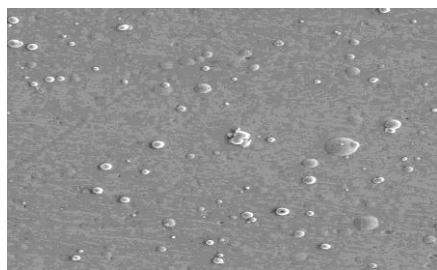
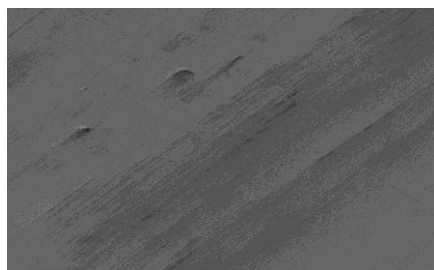
В четвертой главе « Результаты экспериментов» приведены результаты лабораторных, стендовых и эксплуатационных испытаний, а также технология восстановления сопряжения «золотник – корпус» гидрораспределителя Р80 нанокomпозиционным химическим никелированием.

В результате предварительных экспериментов была определена наиболее эффективная упрочняющая фаза КХП на основе никеля – нанодисперсный порошок оксида алюминия и ультрадисперсный порошок полититаната калия.

Как известно, износостойкие покрытия должны иметь повышенную микротвердость и высокие антифрикционные свойства. В связи с этим было предложено одновременно вводить в состав раствора никелирования нанодисперсный порошок оксида алюминия с целью увеличения микротвердости покрытия и ультрадисперсный порошок полититаната калия для улучшения его антифрикционных характеристик.

Исследование структуры поверхности покрытий показало, что их внешний вид достаточно сильно отличается (рисунок 4). Стандартное (базовое) покрытие гладкое, без каких либо включений. КХП на основе никеля имеет большое количество включений различного размера по всей поверхности. Причем видно, что процесс внедрения частиц происходит равномерно, и они зарастиваются на разных стадиях формирования покрытия.

В результате спектрального анализа никелированных образцов были получены спектрограммы чистого и композиционного покрытий на основе никеля (рисунок 5), по которым было рассчитано содержание элементов в покрытиях (таблица 1). Как видно из представленных данных, композиционное покрытие, кроме никеля, фосфора и натрия, содержит алюминий, калий, титан, что подтверждает внедрение в него ультра- и нанодисперсных частиц



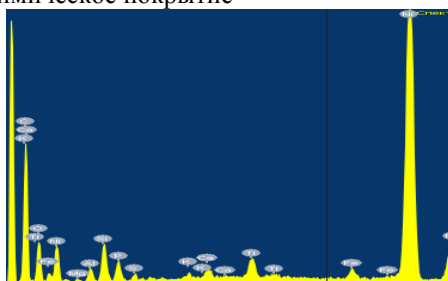
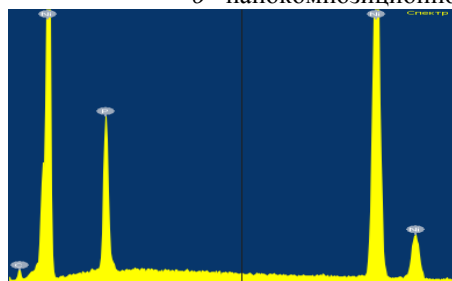
a

б

Рисунок 4 – Внешний вид химических покрытий никеля (x1000):

a – чистое (базовое) покрытие;

б – нанокomпозиционное химическое покрытие



a

б

Рисунок 5 – Спектрограммы чистого (*a*) и нанокomпозиционного (*б*) покрытий на основе никеля

Таблица 1 – Содержание основных элементов в покрытиях, %

| Элемент в покрытии | Содержание элементов в покрытии, % | |
|--------------------|------------------------------------|--------------------|
| | чистом (базовом) | нанокomпозиционном |
| Ni | 64,07 | 57,19 |
| P | 14,83 | 10,56 |
| Na | 2,12 | 2,2 |
| K | – | 2,4 |
| Ti | – | 20,35 |
| O | – | 6,59 |
| Al | – | 1,24 |

Результаты лабораторных испытаний показали, что минимальный средний износ по массе наблюдается у роликов с композиционным химическим покрытием на основе никеля при испытании на чистом промышленном масле – 2,2 мг, тогда как износ образца с базовым покрытием – 3,4 мг (рисунок 6). Таким образом, износ по массе образцов с КХП при испытании в

1,5 раза меньше, чем износ образцов с никелевым покрытием без добавления частиц. При испытании на загрязненном масле массовый износ ролика с композиционным покрытием на основе никеля в 1,4 раза меньше, чем ролика с базовым покрытием. Кроме того, при испытании КХП на износостойкость было замечено снижение момента трения в 1,2 раза по отношению к базовому покрытию (рисунок 7). Повышенная износостойкость КХП на основе никеля объясняется их высокой микротвердостью и улучшенными антифрикционными характеристиками.

В результате испытаний на коррозионную стойкость было установлено, что снижение массы образцов с КХП на основе никеля, в среднем составило 0,32 г, а у образцов с чистым химическим покрытием – 0,58 г, что в 1,8 раза меньше.

На основании лабораторных исследований была разработана технология восстановления сопряжения «золотник – корпус» гидрораспределителя Р80 ультра- и наноконпозиционным никелированием, соблюдение которой позволит полностью восстановить работоспособность сопряжения и увеличить его ресурс.

Стендовые испытания показали, что утечки в серийной золотниковой паре превысили допустимое значение $25 \text{ см}^3/\text{мин}$ после 40 ч работы. В золотниковой паре, восстановленной композиционным химическим никелированием, величина утечек в 1,4 раза меньше, чем у серийной, и в 1,3 раза меньше, чем у пары, восстановленной железнением.

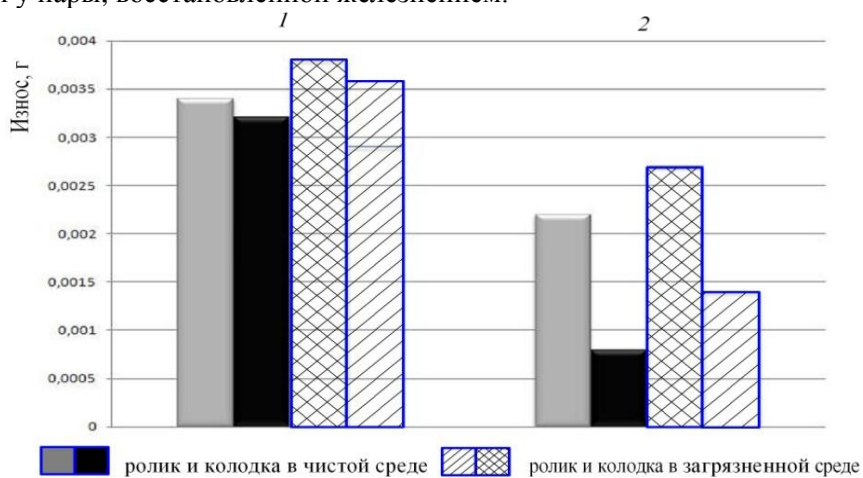


Рисунок 6 – Износ образцов в процессе испытания на износостойкость: 1 – базовое покрытие на основе никеля; 2 – наноконпозиционное покрытие на основе никеля

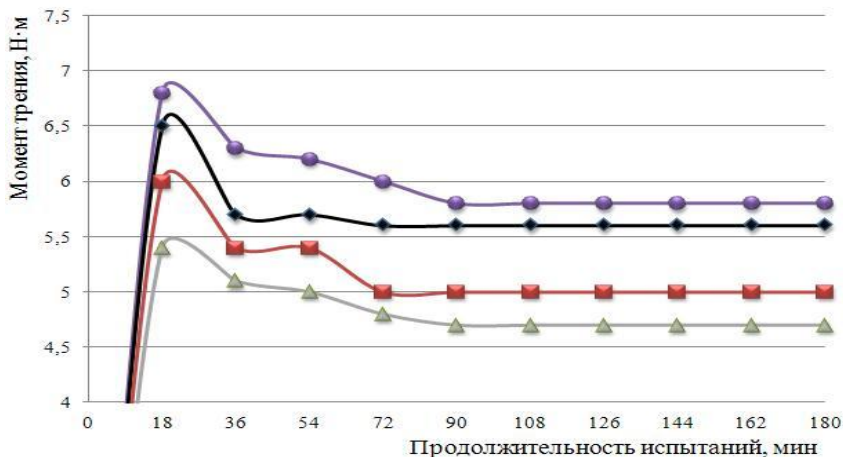


Рисунок 7 – Изменение момента трения в процессе испытания:

- базовое покрытие на загрязненном масле; ■ композиционное покрытие на загрязненном масле;
- ◆ базовое покрытие на чистом масле; ▲ композиционное покрытие на чистом масле.

Объясняется это более высокой износостойкостью и повышенными антифрикционными характеристиками композиционного никелевого покрытия.

За период эксплуатационных испытаний отказов в работе серийных и опытных гидрораспределителей не наблюдалось. Средняя наработка составила 842 мото.-ч. Величина утечек находилась в пределах, регламентированных ТУ 3. У 00235814-002-93.

При прогнозировании межремонтного ресурса отремонтированных гидрораспределителей использовали метод определения остаточного ресурса согласно ГОСТ 21571-76 «Методы определения допустимого отклонения параметра технического состояния и прогнозирования остаточного ресурса составных частей агрегатов машин».

Зная начальное значение утечек в отремонтированном распределителе, и величину их, определяемую диагностированием в момент выполнения прогноза, рассчитывали остаточный ресурс:

$$T_{\text{ост}} = t_3 \left[\left(\frac{x_n - x_o}{x(t) - x_o} \right)^{1/\alpha} - 1 \right] \quad (11)$$

где t_3 – наработка распределителя с момента эксплуатации, мото.-ч; x_n – предельная величина утечек в зазорах золотниковых пар, характеризующая вы-

ход из строя распределителя, $\text{см}^3/\text{мин}$, $x_{\text{п}} = 25 \text{ см}^3/\text{мин}$; x_0 – величина утечек в отремонтированном распределителе в начале эксплуатации, $\text{см}^3/\text{мин}$, $x_0 = 2,5 \text{ см}^3/\text{мин}$; $x(t)$ – величина утечек после 842 мото-ч, $\text{см}^3/\text{мин}$, $x(t) = 7 \text{ см}^3/\text{мин}$; α – показатель функции, характеризующий изменение величины утечек, для линейного характера изменения $\alpha = 1$.

Остаточный ресурс составил $T_{\text{ост}} = 3368$ мото-ч. Полный ресурс экспериментальных гидрораспределителей:

$$T_{\text{п}} = t_{\text{э}} + T_{\text{ост}}, \quad (12)$$

Таким образом, прогнозируемый межремонтный ресурс распределителя с золотниками, восстановленными ультра- и нанокomпозиционным никелированием, составит не менее 4210 мото-ч, при заявленном заводом-изготовителем 3500 мото-ч. Прогнозируемый ресурс отремонтированного гидрораспределителя на 20 % выше ресурса нового. Зависимость утечек от наработки представлена на рисунке 8.

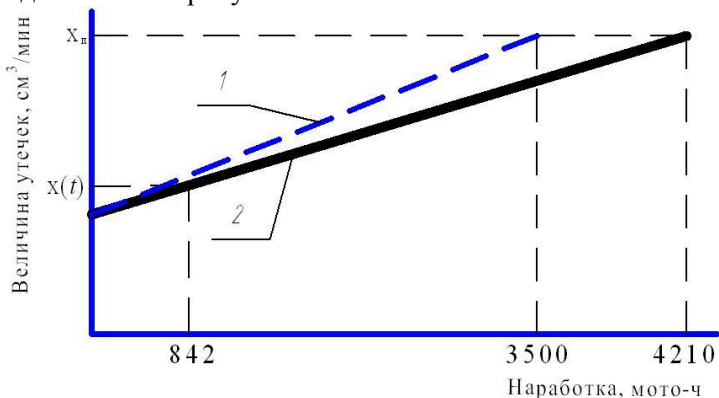


Рисунок 8 – Среднее значение прогнозируемого ресурса отремонтированного распределителя:

- 1 – укомплектованного серийными золотниками;
- 2 – укомплектованного экспериментальными золотниками

В пятой главе «Технико-экономическая эффективность восстановления золотников гидрораспределителя Р80 ультра- и нанокomпозиционным никелированием» дана оценка технико-экономической эффективности разработанной технологии восстановления золотников. Годовой экономический эффект при годовой производственной программе 1400 золотников составил более 450 тыс. руб. Проведенные расчеты свидетельствуют об экономической целесообразности применения разработанной технологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ литературных данных показал, что на гидравлическую систему тракторов приходится до 24 % отказов от их общего числа. Одной из основных причин низкой надёжности гидравлической системы является низкий ресурс гидрораспределителей. Существующие способы восстановления золотниковых пар трудоемки и не обеспечивают их заданного ресурса.

2. Теоретически обосновано повышение ресурса золотников, восстановленных композиционным химическим покрытием на основе никеля. Оптимальные режимы нанесения покрытия и состав раствора-суспензии, определенные с помощью математического планирования эксперимента, позволили получить покрытия с микротвердостью до 10 ГПа. На новый состав раствора для химического осаждения композиционных никелевых покрытий получен патент РФ № 2465374.

3. Исследованиями поверхностного слоя композиционного покрытия установлено, что ультра- и нанодисперсные частицы внедряются в него. С помощью масспектрального анализа образцов выявлено, что композиционное покрытие на основе никеля содержит 1,24 % алюминия, 2,4 % калия, 20,35 % титана, тогда как в базовом никелевом покрытии эти элементы отсутствуют.

Трибологические испытания показали, что износ образцов, на которые нанесено композиционное покрытие на основе никеля, в 1,4 – 1,5 раза меньше, чем образцов с чистым никелевым покрытием.

Испытаниями на коррозионную стойкость установлено, что образцы с наноконпозиционным никелевым покрытием имели коррозионную стойкость в 1,8 раза выше, чем образцы с базовым никелевым покрытием.

4. Предложена технология восстановления сопряжения «золотник – корпус» гидрораспределителя ультра- и наноконпозиционным химическим никелированием.

Стандовыми испытаниями определили, что в золотниковых парах, восстановленных наноконпозиционным химическим никелированием, величина утечек в 1,4 раза меньше, чем у серийных, и в 1,3 раза меньше чем, у пар восстановленных по существующей технологии (железнением).

5. Эксплуатационные испытания показали, что при наработке 842 мото-ч. отказов по причине износа золотниковых пар не обнаружено. Прогнозируемый ресурс отремонтированного гидрораспределителя на 20 % выше ресурса нового. Годовой экономический эффект от внедрения разработанной технологии восстановления золотников композиционным химическим никелированием при годовой производственной программе 1400 шт. составил более 450 тыс. руб.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Публикации в изданиях рекомендованных ВАК

1. Сёмочкин, В. С. Наноконпозиционные никель-фосфорные покрытия с улучшенными эксплуатационными свойствами / В. В. Сафонов, С. А. Шишури-
ин, В. С. Сёмочкин // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И.
Вавилова. / Саратов. гос. агр. ун-т. – 2011.– Вып. 12 – С. 43–45
(0,35/0,19 п. л.)
2. Сёмочкин, В. С. Теоретическое обоснование повышения ресурса дета-
лей упрочненных ультра– и наноконпозиционным химическим никелировании / В. В. Сафонов, С. А. Шишури-
ин, В. С. Сёмочкин // Научное обозрение. –
2012.– Вып. 1 – С. 21–27 (0,4/0,23 п. л.)
3. Сёмочкин, В. С. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяй-
ственной техники / В. В. Сафонов, С. А. Шишури-
ин, В. С. Сёмочкин // Ремонт,
восстановление, модернизация. – 2012. – Вып. 8 – С. 36–40 (0,35/0,15 п. л.)

Публикации в других изданиях

4. Сёмочкин, В. С. Оценка прочности сцепления наноконпозиционных
никель-фосфорных покрытий с основой / В. В. Сафонов, С. А. Шишури-
ин, В. С. Сёмочкин // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внут-
реннего сгорания : материалы Межгос. науч.-техн. семинара. – Саратов, –
2012.– С. 103–105 (0,19/0,09 п. л.)
5. Сёмочкин, В. С. Влияние нанодисперсных частиц на внутренние на-
пряжения в гальванических покрытиях / В. В. Сафонов, С. А. Шишури-
ин, В. С. Сёмочкин // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внут-
реннего сгорания : материалы Межгос. науч.-техн. семинара. – Саратов, – 2008.–
С. 128–130 (0,19/0,03 п. л.)
6. Сёмочкин, В. С. Анализ способов упрочнения и восстановления ре-
сурсоопределяющих деталей / С. А. Шишури-
ин, В. С. Сёмочкин // Материалы
Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию профессора Вадива-
сова Д. Г. – Саратов, – 2009. – С. 20–23 (0,21/0,15 п. л.)
7. Сёмочкин, В. С. Влияние наноразмерных порошков металлов на мик-
ротвёрдость гальванических и химических покрытий / В. В. Сафонов, С. А.
Шишури-
ин, В. С. Сёмочкин // Проблемы экономичности и эксплуатации дви-
гателей внутреннего сгорания : материалы Межгос. науч.-техн. семинара. –
Саратов, – 2009.– С. 145–149 (0,2/0,09 п. л.)
8. Сёмочкин, В. С. Способы восстановления и упрочнения деталей
машин гальванохимическими покрытиями / В. В. Сафонов, С. А. Шишури-
ин, В. С. Сёмочкин // Повышение эффективности функционирования механиче-
ских и энергетических систем : материалы Всерос. Науч.-тех. Конф. –
Саранск, – 2009. – С. 112 – 115 (0,45/0,2 п. л.)
9. Сёмочкин, В. С. Наноконпозиционное гальваническое хромирование
/ В. В. Сафонов, С. А. Шишури-
ин, В. С. Сёмочкин // Тезисы докладов участ-

ников Второго Междунар. конкурса науч. работ молодых ученых в области нанотехнологий. – Саратов, – 2009. – С. 82 – 85 (0,4/0,08 п. л.)

10.Сёмочкин, В. С. Изменение физико-механических свойств гальвано-химических покрытий под действием наноразмерных порошков металлов / В. В. Сафонов, С. А. Шишури, В. С. Сёмочкин // Вавиловские чтения : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 122-летию со дня рождения академика Н. И. Вавилова. – Саратов, – 2009. – С. 73–76 (0,2/0,1 п. л.)

11.Сёмочкин, В. С. Наноконпозиционные гальвано-химические покрытия / В. В. Сафонов, С. А. Шишури, В. С. Сёмочкин // Лучший инновационный проект в сфере АПК: сб. науч. работ. – Саратов, – 2010.– С. 68–70 (0,45/0,25 п. л.)

12.Сёмочкин, В. С. Модифицирование химического покрытия никеля нанодисперсными порошками металлов / В. В. Сафонов, С. А. Шишури, В. С. Сёмочкин // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 100-летию профессора Дубинина В. Ф. – Саратов, – 2010. – С. 20–23 (0,21/0,1 п. л.)

13.Сёмочкин, В. С. Особенности структуры композиционного никель-фосфорного покрытия / В. В. Сафонов, С. А. Шишури, В. С. Сёмочкин // Вавиловские чтения : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 123-летию со дня рождения академика Н. И. Вавилова. – Саратов, – 2009. – С. 50–53 (0,2/0,1 п. л.)

14.Сёмочкин, В. С. Исследование структуры наноконпозиционного никель-фосфорного покрытия / В. В. Сафонов, С. А. Шишури, В. С. Сёмочкин // Энергосберегающие технологии и техника в АПК : сборник материалов к Межрег. выст. – конф. – Саратов, – 2011. – С. 84–87 (0,3/0,13 п. л.)

15.Сёмочкин, В. С. Наномодифицированные никель-фосфорные покрытия с улучшенными эксплуатационными свойствами / В. В. Сафонов, С. А. Шишури, В. С. Сёмочкин // Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 75-летию профессора Рыбалко А. Г. – Саратов, – 2011. – С. 34–37 (0,13/0,07 п. л.)

16.Сёмочкин, В. С. Износостойкость наноконпозиционных никель-фосфорных покрытий / В. В. Сафонов, С. А. Шишури, В. С. Сёмочкин // Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания : материалы Межгос. науч.-техн. семинара. – Саратов, – 2011.– С. 115–118 (0,2/0,09 п. л.)

Патенты

17.Пат. № 2465374 Российская Федерация, МПК C25D15/00. Раствор для химического осаждения композиционных никелевых покрытий / В. В. Сафонов, С. А. Шишури, В. С. Сёмочкин. – № 2011111482 ; заявл. 25.03.2011; опубл. 27.10.2012, Бюл. изобр. №23 (0,25/0,04).

Подписано в печать 25.02.2013.
Формат 60×84^{1/16}. Бумага офсетная. Гарнитура Times.
Печ. л. 1,0. Тираж 100. Заказ 536/2008

Типография ООО «МАКСИ-ПРИНТ»
410056 г. Саратов, ул. Пугачева, 72