

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента - доктора технических наук, доцента Величко Сергея Анатольевича на диссертационную работу Шишурина Сергея Александровича на тему «Повышение долговечности агрегатов сельскохозяйственной техники восстановлением прецизионных деталей нанокomпозиционными гальвано-химическими покрытиями», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

### **Актуальность темы диссертации**

Повышение эффективности технического сервиса машин напрямую связано с совершенствованием организации и увеличением объемов восстановленных деталей.

Восстановление – технически обоснованное и экономически оправданное мероприятие, позволяющее ремонтно-обслуживающим предприятиям, при невысокой себестоимости, выполнять качественный ремонт узлов и агрегатов, обеспечивая при этом высокие показатели надежности машин.

По данным прогноза российских ученых к 2020 году отношение объема восстановления деталей для сельскохозяйственной техники к объему 1985 года должно составить 150 процентов. В связи с этим в России создаются инновационные центры высокоресурсного ремонта сложных узлов и агрегатов, основанные на применении современных методов восстановления деталей, одним из которых является нанесение нанокomпозиционных гальвано-химических покрытий.

Основываясь на результатах анализа исследований отечественных и зарубежных ученых, которые при разработке технологий и получении композиционных покрытий использовали крупнодисперсные материалы микрометрового диапазона, соискатель грамотно определил перспективу и высокую эффективность применения наноразмерных частиц, так как они

повышают седиментационную устойчивость рабочих растворов и дают возможность получать покрытия с лучшими физико-механическими свойствами.

В связи с вышеизложенным считаю, что тема диссертационной работы Шишурина Сергея Александровича «Повышение долговечности агрегатов сельскохозяйственной техники восстановлением прецизионных деталей нанокomпозиционными гальвано-химическими покрытиями» является актуальной, а достижение поставленной цели вносит значительный вклад в развитие современной инженерно-технической системы АПК России.

### **Научная новизна и практическая значимость полученных соискателем результатов**

*Для науки значимыми являются:*

- физико-математическая модель процесса образования и упрочнения нанокomпозиционных гальвано-химических покрытий, позволяющая рассчитать микротвердость, изменяющуюся по нелинейному принципу в единичном объеме покрытия, в зависимости от микротвердости материала матрицы, микротвердости наноразмерных частиц и расстояния между ними в покрытии;

- результаты выбора материалов наноразмерных частиц, их концентраций в электролитах и химическом растворе;

- регрессионные уравнения связи микротвердости нанокomпозиционных покрытий на основе хрома, железа и никеля с концентрацией наноразмерной фазы, температурой электролита и плотностью тока;

- результаты исследования морфологии, структуры, физико-механических и эксплуатационных свойств нанокomпозиционных гальванических покрытий на основе хрома, железа и никеля;

- результаты прогноза среднего остаточного ресурса топливной аппаратуры и гидравлических распределителей, сделанные на основании результатов эксплуатационных испытаний.

*Значимыми результатами для практики являются:*

- способ получения композиционных электролитических покрытий из саморегулирующихся электролитов хромирования (патент РФ №2283373);

- раствор для химического осаждения композиционных никелевых покрытий (патент РФ №2465374);
- электролит суспензия для получения износостойких покрытий на основе железа (патент РФ №2610381);
- установка для получения композиционных электролитических покрытий (патент РФ №2680116);
- режимы нанесения наноконпозиционных покрытий на основе хрома, железа и никеля для получения покрытий с заданными физико-механическими свойствами;
- новые технологии восстановления прецизионных деталей топливной аппаратуры и гидравлических распределителей.

### **Достоверность, научная новизна и практическая значимость выводов**

По результатам теоретических и экспериментальных исследований в заключении сформулировано семь выводов.

*Вывод 1* повторяет поставленную соискателем научную проблему повышения долговечности топливной аппаратуры и гидравлических агрегатов и сообщает, что в диссертационной работе разработаны и исследованы новые способы восстановления прецизионных деталей наноконпозиционными гальвано-химическими покрытиями на основе хрома, железа и никеля. Вывод носит констатирующий характер.

*В выводе 2* отмечается, что надежность сельскохозяйственной техники в большей степени определяется ресурсом топливной аппаратуры и гидроагрегатов, который в свою очередь лимитируется износостойкостью деталей плунжерных и золотниковых пар. Наиболее перспективным методом восстановления прецизионных деталей, по мнению соискателя, является нанесение наноконпозиционных гальвано-химических процессов на основе хрома, железа и никеля. Вывод сделан на основе обзора литературных источников, является основой для постановки научной проблемы.

*В выводе 3* показано, что разработана физико-математическая модель процесса образования и упрочнения наноконпозиционных гальвано-химических

покрытий, позволяющая рассчитать их микротвердость. Получены аналитические зависимости интенсивности изнашивания деталей пар трения и ресурса сопряжений, восстановленных нанесением нанокomпозиционных гальвано-химических покрытий. Вывод обладает научной новизной, достоверность полученных результатов основана на применении теорий надежности, трения и дислокаций.

*Вывод 4* устанавливает наноразмерные материалы для получения нанокomпозиционных гальвано-химических покрытий с наибольшими значениями микротвердости. С использованием полученных методом многофакторного планирования эксперимента уравнений регрессии определены режимы нанесения нанокomпозиционных гальвано-химических покрытий, позволяющие получать покрытия с наибольшим значением микротвердости. Вывод обладает научной новизной и практической значимостью, адекватность регрессионных уравнений подтверждается сходимостью теоретических и экспериментальных данных, оцененная по критерию Фишера при 5-процентном уровне значимости. Нахождение экстремумов и построение поверхностей отклика осуществлялось с использованием лицензионной версии программы Statistica.

*В выводе 5* описаны результаты исследования морфологии и структуры нанокomпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля. Установлено, что наноразмерные частицы, вводимые в электролиты и растворы, активизируют процесс получения покрытий и являются их центрами кристаллизации. Износостойкость и коррозионная стойкость образцов с нанокomпозиционными гальвано-химическими покрытиями выше, чем у образцов с базовыми покрытиями из хрома, железа и никеля и образцов без покрытий. Полученные результаты обладают научной новизной. Эксперименты проведены по апробированным методикам, с использованием современного научно-исследовательского оборудования.

*Вывод 6* посвящен результатам оценки работоспособности топливных насосов высокого давления (ТНВД) по критерию снижения пусковой цикловой подачи топлива и гидравлических распределителей по критерию

гидроплотности золотниковых пар после стендовых и эксплуатационных испытаний. Вывод обладает научной новизной, результаты экспериментов подтверждаются актами стендовых и эксплуатационных испытаний, проведенных на предприятиях технического сервиса. Расхождение теоретически рассчитанных значений ресурсов топливной аппаратуры и гидравлических распределителей с прогнозируемыми не превышает 6 процентов.

*В выводе 7* указано, что разработаны новые технологии восстановления плунжерных пар ТНВД нанокпозиционным электролитическим хромированием, золотниковых пар гидрораспределителей Р160 – нанокпозиционным электролитическим железнением и золотниковых пар гидрораспределителей Р80 – нанокпозиционным химическим никелированием. Представлены результаты расчетов технико-экономической эффективности от внедрения технологий на предприятиях технического сервиса АПК. Вывод обладает практической значимостью. Достоверность вывода подтверждается соответствующими актами.

### **Оценка содержания диссертации**

Диссертационная работа изложена на 276 страницах и состоит из введения, 5 глав, заключения, списка литературы и 13 приложений.

Во введении дана общая характеристика работы, включающая актуальность и степень разработанности темы, цель работы и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, сформулированы положения и результаты, выносимые на защиту, научная новизна и практическая значимость.

*В качестве замечаний следует отметить:*

1. Учитывая, что за объект исследования принимается процесс или явление, то более корректной по отношению к данной работе была бы формулировка, указывающая, что *объектом исследования* является межремонтный ресурс топливной аппаратуры и гидравлических распределителей, прецизионные детали которых восстановлены нанесением нанокпозиционных гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа

или никеля. Данное утверждение подтверждается целью, которую поставил соискатель в своей работе.

2. Указанные в пункте «*Научная новизна*» патенты РФ на изобретение не являются научной новизной работы, а показывают изобретательский уровень и промышленную применимость технических решений.

3. Пункты научной новизны и теоретической значимости, по сути, повторяют друг друга.

4. В пункте «*Степень разработанности темы*» указаны фамилии ученых, которые, по утверждению соискателя, занимались исследованиями в области ремонта топливной аппаратуры и гидравлических агрегатов: Р.М. Баширов, М.М. Вихерт, В.Г. Кислов, Н.И. Лихачев, С.Н. Шарифуллин и др., однако в списке литературы не представлено ни одной из научных работ этих ученых.

*Первая глава* диссертации посвящена анализу состояния проблемы повышения долговечности агрегатов сельскохозяйственной техники восстановлением прецизионных деталей нанокпозиционными гальвано-химическими покрытиями.

Сделанный на основании обзора литературных источников анализ показал, что ресурсы топливных насосов высокого давления и гидравлических распределителей лимитируются износостойкостью плунжерных и золотниковых пар, преобладающим видом изнашивания которых является гидроабразивное. Установлено, что наиболее перспективным для восстановления ресурсолимитирующих деталей является нанесение нанокпозиционных гальвано-химических покрытий хрома, железа и никеля. При этом 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.

#### *Замечания по первой главе:*

1. В главе 1 «Состояние проблемы. Постановка цели и задач исследования» соискатель не представил ни цель, ни задачи исследований,

ограничившись выводами по рассматриваемым вопросам. При этом и цель и задачи формулируются именно на основе анализа, представленного в этой главе, и являются логическим ее завершением, что соискатель и показал на рисунке 3.1 (стр. 109), но не выполнил.

2. В выводах к главе 1 и в заключении имеется принципиальное противоречие. В первом случае соискатель отмечает, что преобладающим видом изнашивания является только гидроабразивное (стр. 71), а во втором – микрорезание, природа которого гидроабразивное изнашивание и усталостное изнашивание при пластическом контакте (стр. 247).

3. На странице 36 представлены не корректные значения суммарного износа в золотниковых парах разных моделей гидрораспределителей Р80 и Р160. Во-первых, непонятно, это средние или максимальные значения; во-вторых, многократно доказано, что средние значения износов деталей золотниковых пар разных моделей гидрораспределителей тракторов сельскохозяйственного назначения статистически значимо не отличаются. Это объясняется прежде всего тем, что условия эксплуатации, конструкция и материалы, из которых изготовлены детали, идентичны.

4. Из перечисленных соискателем методов восстановления и упрочнения золотников (стр. 48) в настоящее время на предприятиях технического сервиса АПК применяются только электроконтактная приварка ленты, электроискровая обработка и гальваническое нанесение хрома или железа. Остальные методы, применительно к деталям гидроагрегатов, потеряли свою актуальность и не применяются. В связи с этим, более научно выглядело бы обоснование выбора метода, сделанного на основании анализа вышеуказанных технологий.

5. Предоставив глубокий анализ состояния проблемы, соискатель так и не объяснил, почему для восстановления и упрочнения плунжера принято нанесение гальванического хрома, для золотника гидрораспределителя Р160 – гальванического железа, а для гидрораспределителя Р80 используется химическое никелирование.

*Во второй главе* представлены теоретические предпосылки повышения

долговечности топливной аппаратуры и гидравлических агрегатов. Выведена аналитическая зависимость, показывающая, что основным фактором, оказывающим влияние на интенсивность абразивного и усталостного изнашивания, является твердость. Получена физико-математическая модель процесса образования и упрочнения нанокпозиционных гальвано-химических покрытий, позволяющая рассчитать микротвердость в зависимости от микротвердости материала матрицы, микротвердости наноразмерных частиц и расстояния между ними в покрытии.

Замечания по второй главе:

1. На странице 74 соискатель неверно трактует зависимость среднего полного ресурса агрегатов, утверждая, что можно повысить его рационально путем увеличения межремонтного ресурса, при неизменном количестве капитальных ремонтов. Замечу, что возможность увеличения количества капитальных ремонтов есть резерв повышения среднего полного ресурса агрегатов, который также следует принимать во внимание при разработке новых технологий.

2. На странице 76 соискатель, ссылаясь на большое количество научных работ, полагает, что в плунжерных и золотниковых парах преобладающими являются пластическое отеснение металла и микрорезание. Учитывая, что порядок значения износа при абразивном и гидроабразивном изнашивании составляет  $10^{-3...-5}$ , а при упруго-пластическом контакте  $10^{-8...-14}$  («Трение смазка и износ» справочник, под редакцией И.В. Крагельского, Том 1), вызывает сомнение целесообразность получения зависимости 2.8 сложением зависимостей 2.6 и 2.7. По значению порядка величины износа видно, что доля влияния усталостного изнашивания на величину износа пренебрежительно мала, соответственно, достаточным было бы ограничиться только анализом формулы абразивного изнашивания.

3. Учитывая, что формула интенсивности изнашивания при упруго-пластическом контакте деталей пар трения (2.6) получена для изнашиваемой поверхности, т. е. для поверхности с меньшей твердостью, в работе это втулка и

корпус, ошибочно применять ее же для оценки изнашивающей поверхности (формула 2.42), в работе это плунжер и золотник. Для оценки изнашивающей поверхности в формулу 2.6 следует вводить поправочный коэффициент.

4. В выводе 5 ко второй главе записано, что на основании полученных зависимостей 2.40 и 2.43 рассчитаны микротвердость нанокпозиционных гальвано-химических покрытий хрома, железа и никеля и ресурсы сопряжений, восстановленных и упрочненных этими покрытиями. Однако расчеты, на которые указывает автор, как во второй главе, так и в четвертой отсутствуют.

*В третьей главе* представлена программа и методики проведения экспериментальных исследований.

Замечания по третьей главе:

1. В параграфе 3.1 соискатель пишет, что программа исследований включала в себя этапы, определяющие структурно-логическую связь стадий исследования. Однако в работе представлено только описание структурной схемы, без описания логических связей этапов исследования. В связи с этим не логично, например, видеть в работе исследования коррозионных свойств покрытий, т. к. детали не работают в условиях агрессивных сред.

2. Применение методики определения прочности сцепления покрытий с основным металлом по ГОСТ 9.302-88 позволяет дать только качественную оценку, при этом научный интерес представляет также и количественная оценка данного свойства.

3. При проведении триботехнических испытаний ссылка на ГОСТ 23.224-86 «Обеспечение износостойкости изделий» является не корректной, так как соискатель не определяет режим нагружения, соответствующий минимальному коэффициенту трения, при котором следует проводить длительные испытания на износ. Кроме того, ГОСТ 23.224-86 не предполагает проведение экспериментов в загрязненной среде.

4. Формулы (3.7-3.10) для определения параметров дескриптивной статистики в работе можно было бы не приводить, т. к. эти параметры определены с помощью программы Statistica.

*В четвертой главе* установлены эффективные фазы гальвано-химических покрытий на основе хрома, железа и никеля, представлены результаты исследования свойств этих покрытий. С использованием полученных методом многофакторного планирования эксперимента уравнений регрессии определены режимы нанесения нанокпозиционных гальвано-химических покрытий, позволяющие получать покрытия с наибольшим значением микротвердости. Построена динамика изменения показателей надежности топливной аппаратуры и гидравлических распределителей от времени при стендовых испытаниях и от наработки при эксплуатационных испытаниях. Согласно рисункам 4.33 ... 4.35, теоретически установленные значения ресурса согласуются с прогнозируемыми, расхождения не превышают 6 %.

*Замечания по четвертой главе:*

1. Из диссертации не ясно, на основании каких исследований установлены факторы и значения уровней варьирования при определении режимов нанесения покрытий методом многофакторного планирования эксперимента.

2. Результаты триботехнических испытаний не отражают полную картину износа образцов. Соискатель представил лишь суммарный износ колодки и ролика, что не позволяет определить влияние образца с покрытием на контртело.

3. Ресурс плунжерных пар ТНВД и гидравлических распределителей лимитирован не максимальным значением показателя надежности, как пишет соискатель, а его предельным значением. Значения, которые указаны соискателем (стр. 212), отличаются от значений, представленных в научной и технической литературе.

4. Соискателю следует пояснить, для чего определены смещения рассеивания (приложения В, Г, Д и Ж) при описании экспериментальных данных законом нормального распределения и по какому критерию проведена оценка качества подгонки экспериментальных данных с принятым теоретическим законом распределения.

*В пятой главе* диссертации представлены технологические рекомендации восстановления плунжерных и золотниковых пар, дана технико-экономическая

оценка их эффективности на примере предприятий технического сервиса Саратовской области, по ценам 2019 г.

Замечания по пятой главе:

1. Из представленных карт технологических процессов ремонта гидрораспределителей не ясно, для чего на 015 операции нужно закреплять золотник в цанге станка, если обработка проводится на бесцентровошлифовальном станке.

2. Не указан мерительный инструмент на 025 операции при контроле размера отверстия в корпусе гидрораспределителя после хонингования.

3. Неверно выбран мерительный инструмент для контроля размера восстановленного золотника после шлифования, т. к. точности микрометра МК50-2 не достаточно.

4. В технологических картах ремонта гидрораспределителя Р80 пропущена операция шлифования золотника после никелирования.

5. Контрольной операцией при ремонте гидравлических распределителей должна быть проверка на стенде КИ-4815М.

*В заключении* соискатель представил выводы по работе и предложил провести модернизацию существующих технологий ремонта топливной аппаратуры и гидравлических распределителей путем нанесения нанокпозиционного гальванического покрытия на основе хрома, железа и никеля. Намечены перспективы дальнейшей разработки темы.

*Список литературы* состоит из 234 наименований, из которых 22 на иностранном языке.

*Автореферат* в полной мере отражает содержание диссертационного исследования. Все структурные элементы оформлены согласно ГОСТ 7.0.11-2011.

В целом представленная диссертационная работа представляет собой законченный научный труд, структурирована, материалы изложены достаточно грамотно. По структуре, содержанию и стилю изложения, глубине научных исследований работа соответствует уровню докторской диссертации.

Отмеченные замечания не снижают научной и практической ценности полученных соискателем результатов.

### **Апробация и полнота опубликования результатов работы**

Основные результаты исследований доложены, обсуждены и одобрены на конференциях, семинарах и форумах международного, российского и регионального уровня.

В составе авторского коллектива соискатель награжден дипломами и медалями Российской выставки «Золотая Осень» (г. Москва), Саратовского Салона изобретений, инноваций и инвестиций (г. Саратов), международного форума по нанотехнологиям «Rusnanotech» (г. Москва) и других не менее значимых мероприятий.

В диссертации и автореферате соискатель указывает, что 76 опубликованных научных работ раскрывают основные положения диссертационного исследования. При этом в автореферате представлены 53 работы, включающие 18 статей в изданиях, включенных в «Перечень рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» ВАК Минобрнауки РФ, 4 патента на изобретения РФ, 3 монографии и производственно-практических издания. Ретроспектива публикаций автора по теме диссертационного исследования с 2004 по 2019 года.

### **Заключение**

Диссертация «Повышение долговечности агрегатов сельскохозяйственной техники восстановлением прецизионных деталей нанокмпозиционными гальвано-химическими покрытиями» соответствует критериям, отмеченным в пунктах 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г. (в редакции постановления Правительства Российской Федерации № 1024 от 28.08.2017 г.), и является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические и технические решения увеличения межремонтного ресурса агрегатов топливной и

