

ОТЗЫВ

**официального оппонента, доктора технических наук, профессора
Зорина Владимира Александровича на диссертационную работу
Псарева Дмитрия Николаевича на тему «Технологические основы
восстановления посадок подшипников качения в узлах
сельскохозяйственной техники полимерными нанокompозитами»,
представленную на соискание ученой степени доктора технических
наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса**

Актуальность темы исследования

Эффективность сельскохозяйственного производства в значительной степени зависит от надёжности техники и расходов на поддержание работоспособности и ремонт машин. Затраты на ремонт машин и оборудования можно существенно снизить за счет восстановления изношенных деталей. По данным ГОСНИТИ, в настоящее время в США и Японии на восстановленные детали приходится 35-40% общего потребления запасных частей. В нашей стране ремонтные технологии также широко применяются в сфере обеспечения работоспособности изделий машиностроения. Исследования и разработка полимерных композитов является важнейшим направлением в повышении эффективности восстановления деталей сельскохозяйственной техники.

Рецензируемая работа посвящена повышению эффективности восстановления посадок подшипников качения в узлах сельскохозяйственной техники нанокompозитами на основе эластомеров и реактопластов за счет улучшения теплофизических и механических свойств, уменьшения дефектности нанокompозитов, снижения контактных напряжений и увеличения ресурса подшипников с полимерными посадками, которые обеспечиваются путем исследования, разработки и использования новых полимерных нанокompозитов, перспективных способов и технических средств их обработки.

Учитывая, что Государственной программой Российской Федерации «Научно-технологическое развитие Российской Федерации», утвержденной правительством Российской Федерации от 29 марта 2019 года №377 (с изменениями на 22 октября 2021 года), предусмотрена система приоритетов,

в которой к магистральным направлениям развития относятся:... технологии производства и использования новых материалов и веществ, включая полимерные композитные материалы, аддитивные технологии, можно с уверенностью утверждать, что направление исследований и тема рецензируемой работы являются исключительно актуальными и своевременными.

Цель и задачи рецензируемой работы

Целью рецензируемой диссертационной работы является повышение качества восстановления и увеличение ресурса подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники путем разработки технологических основ восстановления посадок подшипников качения полимерными нанокompозитами, включающие научно-обоснованный выбор наноразмерных наполнителей, исследование и разработку перспективных способов и технических средств обработки материалов.

На основании проведенного анализа в диссертационной работе сформулированы следующие задачи исследований:

1. Разработать методологию исследования и выбора, на основе фрактального анализа, наноразмерных частиц наполнителей для полимерных композитов, предназначенных для восстановления посадок подшипников качения, расчета теплофизических и механических свойств полимерных нанокompозитов.

2. Исследовать теплопроводность, тепло- и термостойкость, деформационно-прочностные и адгезионные свойства полимерных нанокompозитов. Оптимизировать состав и режим термической обработки эластомерных нанокompозитов.

3. Исследовать физические свойства растворов эластомерных нанокompозитов и определить рациональный режим ультразвуковой обработки. Исследовать дегазацию растворов эластомерных нанокompозитов, дефектность и структуру полимерных покрытий. Определить рациональный режим механизированного диспергирования анаэробного нанокompозита.

4. Разработать математические модели инфракрасного нагрева подшипниковых щитов электродвигателей и корпусных деталей автотракторной техники, и на их основе методы и компьютерные программы расчета конструктивных и режимных параметров установок

инфракрасной сушки полимерных покрытий в корпусных деталях. Исследовать, в сравнении с конвективным способом, дефектность эластомерных нанокompозитных покрытий после инфракрасной сушки.

5. Провести экспериментальные исследования зависимости усилия резания покрытий эластомерных нанокompозитов от переднего угла режущей кромки калибра-резца. Определить рациональные геометрические параметры режущей кромки калибра-резца и исследовать качество и точностные характеристики покрытий эластомерных нанокompозитов.

6. Разработать метод расчета точностных характеристик деталей технологической оснастки для центрирования деталей клеевых соединений типа «вал-подшипник».

7. Исследовать податливость опор на полимерных посадках, трибологические параметры, контактные напряжения и ресурс подшипников с посадками из полимерных нанокompозитов, долговечность посадок подшипников при циклическом радиальном нагружении, восстановленных полимерными нанокompозитами.

8. Разработать технологии, технологическое оборудование и оснастку для восстановления посадок подшипников качения полимерными нанокompозитами, а также оценить их технико-экономическую эффективность.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации автором, соответствует высокому уровню и основывается на решении поставленных задач и на объеме выполненных исследований. Автором сформулирована решаемая в диссертации научная проблема: исследование и разработка полимерных нанокompозитов, способов и технических средств их обработки.

Решение данной научной проблемы позволит разработать технологические основы, обеспечивающие улучшение эксплуатационных свойств полимерных нанокompозитов, повышение качества восстановления посадок и увеличение ресурса подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники.

Полученные автором в ходе проведённых работ результаты не противоречат ранее проведенным исследованиям других ученых. Результаты

исследований неоднократно докладывались автором и обсуждались на многочисленных международных конференциях, опубликованы в рецензируемых изданиях ВАК РФ, а также в журналах, входящих в международные базы цитирования Scopus.

Название и содержание диссертации соответствуют объекту и предмету исследования. Задачи исследования поставлены корректно. Обозначенные автором положения, выносимые на защиту, раскрываются в диссертации в необходимом объёме.

Достоверность и научная новизна положений, сформулированных в диссертации

Достоверность положений, сформулированных автором и выносимых на защиту, подтверждается апробацией полученных результатов исследования на международных, научно-практических конференциях, семинарах, а также обеспечением внедрения разработок в практическую деятельность.

В тексте диссертации и автореферата отмечено, что основные положения и результаты исследования докладывались, обсуждались и одобрены на следующих основных конференциях:

- научных конференциях сотрудников ФГБОУ ВО Мичуринского ГАУ в 2015...2023 г.;
- Международной научно-практической конференции «Интеллектуальные технологии и техника в АПК», ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (г. Мичуринск), 2016 г.;
- Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвященной 100-летию академика Д.К. Беляева «Аграрная наука в условиях модернизации и инновационного развития АПК России», ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА (г. Иваново), 2017 г.;
- XIX международной научно-практической конференции, посвященной году экологии в России и 80-летию Тамбовской области «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства», ГНУ ВНИИТИН. (г. Тамбов), 2017 г.;
- XII международной научно-практической конференции «Современные сложные системы управления». ЛГТУ (г. Липецк), 2017 г.;

- Всероссийской научно-методической конференции с международным участием, посвященной 100-летию высшего аграрного образования в Ивановской области «Наука и молодежь: новые идеи и решения в АПК», ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА (г. Иваново), 2018 г.;
- Международной научно-практической конференции «Наука сегодня: теория и практика», г. Вологда, 2018 г.;
- I международной научно-практической конференции «Инфокоммуникационные и интеллектуальные технологии на транспорте», ЛГТУ (г. Липецк), 2018 г.;
- Международной научно-практической конференции «Технические и технологические основы инновационного развития», г. Саратов, 2019 г.;
- Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные исследования: проблемы внедрения результатов и направления развития», г. Челябинск, 2019 г.;
- XX международной научно-практической конференции «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для АПК», ФГБНУ ВНИИТИН, (г. Тамбов), 2019 г.;
- Международной научно-практической конференции «Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК», ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (г. Мичуринск), 2019, 2020 г.;
- Всероссийской научно-практической конференции «Инновационные подходы к разработке технологий производства, хранения и переработки продукции растениеводческого кластера», ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (г. Мичуринск), 2020 г.;
- 2-ой Международной конференции по системам управления, математическому моделированию, автоматизации и энергоэффективности, ЛГТУ (г. Липецк), 2020 г.;
- Международной конференции «CAMSTech-2020: Современные достижения в области материаловедения и технологий», г. Красноярск, 2020 г.;
- VI Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения профессора А.А. Шестакова «Системы управления, сложные системы: моделирование, устойчивость, стабилизация, интеллектуальные технологии», ФГБОУ ВО «Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина» (г. Елец), 2020 г.;
- II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции,

посвященной 65-летию ЛГТУ «Современные проблемы материаловедения», Липецкий государственный технический университет (г. Липецк), 2021 г.;
– 3 Международной конференции по системам управления, математическому моделированию, автоматизации и энергоэффективности, ЛГТУ (г. Липецк), 2020 г.;
– Международной конференции по сельскохозяйственной науке и технике, ASAE 2021, ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (г. Мичуринск), 2021 г.;
– заседании кафедры «Стандартизация, метрология и технический сервис» ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ в 2023 г.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в 74 печатных работах, в том числе 17 публикаций в изданиях, включенных в систему цитирования Scopus, 21 публикация в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК Минобрнауки. Автором получены 4 патента на изобретение РФ.

Публикации достаточно полно раскрывают основные положения диссертационной работы. Материалы исследований прошли широкую апробацию на Всероссийских и Международных конференциях. Полученные автором научные результаты являются новыми.

Научная новизна положений, сформулированных в диссертации:

- методология исследования и выбора, на основе фрактального анализа, наночастиц наполнителей, расчета теплофизических и механических свойств полимерных нанокомпозитов;

- результаты экспериментальных исследований теплофизических и механических свойств полимерных нанокомпозитов, регрессионные модели зависимости удельной работы разрушения от состава и режима термической обработки эластомерных нанокомпозитов;

- результаты экспериментальных исследований ультразвукового диспергирования и дегазации растворов эластомерных нанокомпозитов, дефектности и структуры полимерных покрытий после УЗО, рациональные режимы УЗО нанокомпозитов и механизированного диспергирования анаэробного нанокомпозита;

- математические модели инфракрасного нагрева подшипниковых щитов электродвигателей и корпусных деталей автотракторной техники, методы и компьютерные программы расчета конструктивных и режимных параметров

установок инфракрасной сушки полимерных покрытий в корпусных деталях, дефектность эластомерных нанокompозитных покрытий после термической обработки конвективным и терморadiационным способами;

- экспериментальные зависимости усилия резания покрытий эластомерных нанокompозитов от переднего угла режущей кромки калибра, рациональные геометрические параметры режущей кромки калибра, качество и точностные характеристики покрытий эластомерных нанокompозитов;

- метод расчета точностных характеристик деталей технологической оснастки для центрирования деталей клеевых соединений типа «вал-подшипник»;

- результаты экспериментальных исследований податливости опор на полимерных посадках, трибологические параметры, контактные напряжения и долговечность подшипников с посадками из полимерных нанокompозитов;

- результаты экспериментальных исследований долговечности посадок подшипников при циклическом радиальном нагружении, восстановленных полимерными нанокompозитами.

Значимость для науки и практики выводов и рекомендаций диссертации

Значимость работы для науки заключается в разработке:

- методологии исследования и выбора наночастиц наполнителей для полимерных материалов, расчета теплофизических и механических свойств полимерных нанокompозитов;

- математических моделей инфракрасного нагрева корпусных деталей техники,

- методов расчета конструктивных и режимных параметров установок инфракрасной сушки полимерных покрытий в корпусных деталях;

- метода расчета точностных характеристик деталей технологической оснастки для центрирования деталей клеевых соединений типа «вал-подшипник».

Практическая значимость заключается в разработке:

- новых нанокompозитов на основе эластомеров Ф-40, Ф-40С и герметика АН-111,
- компьютерных программ расчета конструктивных и технологических параметров установок инфракрасного нагрева,
- технологий восстановления с использованием ультразвукового и механизированного диспергирования растворов нанокompозитов,
- технологической оснастки в виде калибрующего инструмента и центрирующих приспособлений.

Общая оценка структуры и содержания диссертации

Структура диссертации Псарева Д. Н. соответствует нормативным требованиям, а ее содержание - паспорту научной специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Диссертационная работа содержит: введение, пять глав, заключение, список литературы и приложения. Объем работы 478 страниц машинописного текста, включая 215 рисунков, 47 таблиц, 20 приложений на 70 страницах и список литературы из 280 наименований.

Во введении обозначена народно-хозяйственная проблема, рассматриваемая в диссертации. Обоснованы актуальность, цель и задачи исследования. Сформулированы научная новизна, а также положения, выносимые на защиту. Кроме того, дана информация об апробации и реализации результатов научного исследования.

В первой главе рассмотрены способы восстановления посадок подшипников качения в узлах сельскохозяйственной техники, современные полимерные композиты, применяемые для восстановления посадок подшипников качения, процессы формирования контактных напряжений и долговечность подшипниковых узлов с посадками, восстановленными полимерными материалами, способы технологического обеспечения при восстановлении посадок подшипников качения полимерными композитами.

По результатам ранее проведенных исследований автором установлено, что при эксплуатации восстановленного подшипникового узла автотракторной трансмиссии полимерная посадка подвергается термоциклированию. Воздействие повышенных и пониженных температур приводит к термическому старению полимерного материала. Вопрос влияния

наночастиц на термостойкость эластомеров не изучен.

Усиление полимерных нанокомпозитов, в сравнении с не наполненными полимерами, описывают тремя видами моделей: традиционные микромеханические, перколяционные и фрактальные. В настоящее время активно развивается теория усиления полимерных нанокомпозитов на основе теории перколяции и фрактального анализа структуры наночастиц наполнителя и структуры нанокомпозита. Представляют научный и практический интерес теоретические исследования механических свойств, оценки прочности полимерных нанокомпозитов на основе фрактального анализа.

Необходимость однородного заполнения полимерной матрицы углеродными нанотрубками (УНТ) усложняет и удорожает технологию приготовления нанокомпозита. Дисперсные металлические наночастицы, в сравнении с УНТ, благодаря своей форме лучше диспергируются. Поэтому предпочтительными для наполнения реактопластов и эластомеров являются дисперсные металлические наночастицы.

Ультразвуковая обработка (УЗО) растворов композитов является перспективным способом смешения компонентов, однако вопрос влияния режимных параметров УЗО на качество диспергирующего смешения растворов эластомерных нанокомпозитов исследован не в полной мере. УЗО анаэробных нанокомпозитов экономически невыгодно из-за их относительно высокой стоимости и потерь раствора нанокомпозита при диспергировании. Механизированное диспергирование отличается простотой и минимальными в сравнении с УЗО потерями раствора нанокомпозита. Необходимо экспериментально обосновать рациональные режимы УЗО растворов эластомерных нанокомпозитов и механизированного смешения анаэробных нанокомпозитов, обеспечивающие повышение эффективности диспергирующего смешения компонентов.

Проведённый автором анализ литературных источников выявил отсутствие информации об обработке терморadiационным способом отверстий с полимерными покрытиями при восстановлении корпусных деталей с.х. техники. Математическое моделирование инфракрасного нагрева корпусных деталей позволит разработать метод и программное обеспечение расчета конструктивных и режимных параметров установок инфракрасной сушки. Термическая обработка инфракрасным нагревом позволит повысить качество полимерных покрытий и существенно снизить энергозатраты при

восстановлении корпусных деталей автотракторной техники.

В специальной литературе отсутствуют рекомендации по калиброванию покрытий из эластомерных нанокомпозитов и поэтому необходимы исследования калибрования отверстий с покрытиями из эластомерных нанокомпозитов с целью определения рациональных геометрических параметров режущей кромки калибра.

Для эффективного восстановления посадок подшипников на валах адгезивами необходимо разработать метод расчета точностных характеристик деталей центрирующих приспособлений. Полимерный слой в сопряжении «деталь-подшипник» снижает контактные напряжения при нагружении подшипников и повышает многократно ресурс подшипниковых узлов.

С целью обоснования эффективности метода восстановления подшипников необходимы исследования трибологических параметров контакта нагруженных тел с дорожками качения, контактных напряжений и долговечности подшипников с посадками, восстановленными полимерными нанокомпозитами, а также выносливости при циклическом нагружении посадок из полимерных нанокомпозитов.

Во второй главе представлены разработанные автором общая и частные методики исследований механических, физических и теплофизических свойств эластомерных и анаэробных нанокомпозитов, их ультразвуковой, механизированной и инфракрасной обработки, обработки резанием эластомерных покрытий, исследования трибологических параметров и ресурса подшипников с полимерными посадками, долговечности посадок подшипников при циклическом нагружении, восстановленных полимерными нанокомпозитами. Все разработанные методики соответствуют требованиям государственных стандартов.

Для проведения ресурсных испытаний подшипников качения с посадкой из нанокомпозита разработано специальное испытательное оборудование (патент № 2719624). За критерий долговечности подшипника приняли предельное значение радиального зазора.

Для исследований долговечности посадок «корпус-подшипник», восстановленных нанокомпозитом, применялся вибростенд. В качестве критерия долговечности посадки автором принята наработка до начала сдвига наружного кольца подшипника в посадочном отверстии.

В третьей главе рассмотрены факторы, определяющие теплофизические свойства полимерных нанокомпозитов, наполненных дисперсными металлическими наночастицами. Проведен фрактальный анализ структуры полимерных нанокомпозитов и рассмотрены их механические свойства. Получены и описаны регрессионные модели деформационно-прочностных свойств полимерных нанокомпозитов.

Проведён анализ теплофизических свойств полимерных нанокомпозитов, наполненных дисперсными металлическими наночастицами.

Подробно описаны результаты фрактального анализа и деформационно-прочностные свойства полимерных нанокомпозитов, а также фрактальный анализ поверхности наночастиц и структуры полимерных нанокомпозитов.

Представлены регрессионные модели деформационно-прочностных свойств полимерных нанокомпозитов. Приведены результаты оптимизации режима термической обработки эластомера Ф-40С наполненного алюминиевыми наночастицами.

По результатам активного эксперимента проведена оптимизация состава эластомерного нанокомпозита Ф-40С, наполненного алюминиевыми и медными наночастицами.

Таким образом в третьей главе представлена методология исследования и выбора, на основе фрактального анализа, наночастиц наполнителей, расчета теплофизических и механических свойств полимерных нанокомпозитов, оптимизации их состава и условий отверждения.

В четвертой главе приведены результаты исследования диспергирования растворов полимерных нанокомпозитов ультразвуковым и механизированным способами, математические модели инфракрасного нагрева корпусных деталей с полимерными покрытиями, исследования обработки резанием эластомерных покрытий, трибологических параметров и ресурса подшипников с полимерными посадками, долговечности посадок подшипников при циклическом нагружении, восстановленных полимерными нанокомпозитами.

Особый интерес представляю математические модели инфракрасного нагрева корпусных деталей с полимерными покрытиями; математическая

модель инфракрасного нагрева подшипниковых щитов электродвигателей; математическая модель инфракрасного нагрева корпусных деталей трансмиссии автотракторной техники. Приведены результаты экспериментальных исследований долговечности посадок, восстановленных полимерными нанокompозитами.

Пятая глава посвящена описанию разработанных технологий восстановления корпусных деталей и посадок подшипников на деталях типа «вал» нанокompозитами на основе эластомеров Ф-40, Ф-40С и анаэробного герметика АН-111. Проведена оценка их экономической эффективности. Проведённые автором испытания показали высокую надёжность техники, отремонтированной предложенными методами. За период эксплуатационных испытаний отказы восстановленных корпусных деталей и посадок подшипников не отмечены, что свидетельствует о приемлемом уровне надёжности и эффективности разработанных технологий ремонта.

Новые нанокompозиты и технологии восстановления посадок подшипников, разработанные в ходе диссертационных исследований, внедрены и используются при ремонте технологического оборудования в промышленных и машиностроительных предприятиях ООО «Липецкий механический завод» (г. Липецк), АО «Центр технологической компетенции аддитивных технологий», ООО «ИНОКС РЕМ» (г. Воронеж).

В заключении сформулированы и приведены основные научные, а также практические результаты исследований, предложены рекомендации по применению разработанных новых нанокompозитов и технологий восстановления посадок подшипников, результаты внедрения разработанных методов и материалов на предприятиях отрасли, а также направления дальнейших исследований.

В приложениях приведены результаты экспериментальных исследований, описана практическая реализация результатов исследований, технологические карты, разработанные автором, а также акты внедрения и 4 патента автора.

Соответствие диссертации и автореферата установленным требованиям

Диссертация и автореферат соответствуют предъявляемым к ним требованиям ВАК РФ, а также паспорту научной специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса:

п. 20. Методы и технические средства обеспечения надежности, долговечности, диагностики, технического сервиса, технологии упрочнения, ремонта и восстановления машин и оборудования.

п. 21. Методы оценки качества материалов, металлов, технических жидкостей, изделий, машин, оборудования, поточных линий в агропромышленном комплексе.

п.22. Организация технического сервиса, ремонта, хранения, рециклинга, утилизации машин и оборудования.

п.23. Управление жизненным циклом средств механизации, автоматизации и роботизации в агропромышленном комплексе.

п.24. Методы исследования конструкционных материалов (в том числе наноматериалов) для применения в технологиях и технических средствах агропромышленного назначения.

Диссертация отвечает критериям актуальности темы исследования, научной новизны, теоретической и практической значимости, достоверности полученных результатов. Значимость результатов диссертационного исследования Псарева Д.Н. подтверждена также имеющимися актами внедрения.

Автореферат в полной мере отражает структуру и содержание диссертации. В тексте автореферата кратко, но достаточно полно изложены основные положения диссертации.

Соответствие диссертации и автореферата установленным требованиям подтверждает общую высокую оценку проведенного диссертационного исследования.

Замечания и недостатки

Оценивая диссертационную работу в целом, как законченный научный труд, выполненный на высоком уровне, следует отметить некоторые замечания:

1. В представленной диссертации сформулировано восемь задач исследований, каждая из которых по существу предполагает проведение комплекса различных теоретических и экспериментальных исследований.
2. В представленной диссертации сформулировано двенадцать выводов. Выводы многословны и не четко отражают решение поставленных в работе задач.

3. Текст первой главы «Анализ состояния вопроса, цель и задачи исследований» перегружен цитированием литературных источников и описанием подробностей ранее проведённых исследований. В связи с этим объём первой главы превышает 100 страниц.
4. Текст второй главы «Методика экспериментальных исследований» содержит описание 17 частных методик, большая часть которых представляет собой стандартную последовательность действий при измерении соответствующего параметра.
5. В третьей главе «Научные основы формирования эксплуатационных свойств полимерных нанокомпозитов...» представлены результаты экспериментальных исследований, проведённых автором, и, таким образом, текст не соответствует названию главы.
6. Описание результатов экспериментальных исследований и формирования регрессионных моделей проведено излишне подробно.
7. В представленных автором математических моделях (4.2) отсутствуют начальные и граничные условия существования.
8. В работе не описаны процессы приготовления нанокомпозитов, требования к персоналу, техника безопасности, охрана труда и источники приобретения компонентов этих материалов.
9. В работе не приведены требования к компонентам полимерных нанокомпозитов, их изготовители (поставщики), стоимость.
10. Из текста работы не ясно, какие показатели качества полимерных нанокомпозитов и каким образом контролируются при их формировании.
11. При расчёте экономической эффективности предложенной технологии применяются несистемные единицы измерения дм^2 и $\text{руб}/\text{дм}^2$.
12. Из текста главы 5 не ясно, по сравнению с каким методом восстановления работоспособности посадочных поверхностей подшипникового узла проводился анализ экономической эффективности применения предлагаемой технологии.

Следует отметить, что не смотря на указанные замечания проведённые исследования имеют научную новизну и полноту полученных результатов, а также общую высокую оценку проведенного диссертационного

исследования. Замечания, недостатки и рекомендации могут быть учтены автором в его дальнейшей научной деятельности.

Заключение по диссертационной работе

Диссертационная работа Псарева Дмитрия Николаевича на тему «Технологические основы восстановления посадок подшипников качения в узлах сельскохозяйственной техники полимерными нанокompозитами», и представленная на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса, является законченным научным трудом, содержащим решение научной проблемы, имеющей социально-экономическое значение.

Диссертационная работа отвечает требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013г. №842, а ее автор, Псарев Дмитрий Николаевич, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Официальный оппонент:

Доктор технических наук, профессор

Заведующий кафедрой «Производство и ремонт автомобилей и дорожных машин» ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический Университет (МАДИ)»,

г. Москва



Зорин Владимир Александрович

диссертация защищена по специальности 05.05.04 – дорожные и строительные машины, 1998 г.

Адрес организации: 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д. 64, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)». Телефон: 8(499)155-01-55, 8(916)638-21-44, e-mail: madi-dm@list.ru

Подпись *Зорина В.А.* удостоверяю
документовед о/к *М.А.Смирнова*

08.12.2023



ОТЗЫВ

официального оппонента д.т.н., профессора Михальченкова Александра Михайловича на диссертационную работу Псарева Дмитрия Николаевича, выполненную на тему: «Технологические основы восстановления посадок подшипников качения в узлах сельскохозяйственной техники полимерными нанокompозитами», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса
в диссертационный совет 35.2.022.02

1 Актуальность темы

Разработка новых, перспективных способов восстановления изношенных деталей является одним из приоритетных направлений в развитии системы технического сервиса сельскохозяйственной техники, поскольку позволяет повысить эффективность ее ремонта, значительно уменьшить финансовые затраты и существенно снизить отрицательное воздействие производства на окружающую среду. Кроме того, при реставрации изношенных конструктивных элементов значительно сокращается количество технологических операций, снижается потребность в металле, уменьшаются расход электроэнергии и сопутствующих материалов. Как правило, себестоимость восстановленных деталей не превышает 30-50% от себестоимости деталей заводского исполнения. Применение передовых современных технологий возобновления ресурса изношенных изделий, базирующихся на новых материалах (наноматериалы, композиты) позволяет значительно расширить диапазон устраняемых дефектов и обеспечить ресурс не ниже, оговоренного нормативами. На основании сказанного выше, не маловажным представляется использование полимеров различных природы и функционального назначения. В этой связи тема диссертационной работы Псарева Д.Н., посвященная исследованию и разработке новых полимерных нанокompозитов, технологий и технических средств их применения при восстановлении посадок подшипников,

обеспечивающих увеличение ресурса подшипниковых узлов и повышение надежности сельскохозяйственной техники, является безусловно актуальной.

Актуальность темы диссертационной работы также подтверждается тем, что она выполнялась в рамках трех научных проектов при финансовой поддержке РФФИ и Администраций Тамбовской и Липецкой областей.

2 Степень обоснованности, достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций в диссертации

По изложенным в диссертационной работе цели, задачам и общим выводам, необходимо отметить следующее:

- цель и задачи, сформулированные и представленные автором, аргументированы, верны и соответствуют уровню работы на соискание ученой степени доктора технических наук;

- научные положения, полученные соискателем и изложенные в диссертационной работе, обоснованы и достоверны, что подтверждается результатами собственных теоретических и экспериментальных исследований; исследованиями ряда ученых, работающих по данному научному направлению, многочисленными экспериментами, применением современных методов испытаний и новейшего лабораторного оборудования.

Выводы и рекомендации в диссертационной работе основаны на результатах, проведенных соискателем, теоретических и экспериментальных исследований. Заключение содержит 12 выводов.

Вывод 1 носит информационный, декларативный характер и его следовало опустить.

Вывод 2 содержит новую, достоверную информацию о теплофизических свойствах эластомерных нанокompозитов, полученную в результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований. В то же время, он чрезмерно громоздок, что затрудняет восприятие материала.

Вывод 3 получен по результатам теоретических исследований и содержит информацию о формулах для расчета модуля упругости нанокомпозитов на основе эластомеров и реактопластов, предложенных соискателем. Вывод достоверен и имеет научную новизну.

Вывод 4 содержит информацию о результатах фрактального анализа структуры и строения нанокомпозитов. Вывод достоверен, хотя и громоздок, отличается научной новизной и указывает на ряд результатов, полученных впервые.

Вывод 5 достоверен и получен по результатам теоретических и экспериментальных исследований, отличается научной новизной, так как содержит сведения о механических свойствах нанокомпозитов, подтвержденных расчетами по полученной соискателем формуле.

Вывод 6 получен по результатам теоретических и экспериментальных исследований и содержит информацию об увеличении деформации и удельной работы разрушения нанокомпозитов по сравнению с полимерной матрицей. Научная новизна и достоверность вывода не вызывает сомнений, однако утверждение об увеличении деформации нанокомпозитов по сравнению с микрокомпозитами имеет несколько абстрактный характер.

Вывод 7 получен по результатам проведенных активных (многофакторных) экспериментов и содержит достоверную информацию об оптимальном режиме и составе эластомерных нанокомпозитов. Вывод имеет новизну и достоверность.

Вывод 8 имеет научную новизну и достоверен, так как в его основе лежат данные многочисленных экспериментальных исследований; содержит сведения об оптимальных параметрах режима ультразвукового и механизированного смешения и диспергирования нанокомпозитов на основе эластомеров и реактопластов, которые указывают на снижение дефектности нанокомпозитных покрытий, улучшение структуры и элементного состава нанокомпозитов, в сравнении с ручным смешением.

Вывод 9 является результатом теоретических и экспериментальных исследований и содержит информацию о полученных соискателем математических моделях инфракрасного нагрева подшипниковых щитов электродвигателей и

корпусных деталей автотракторной техники, методах и компьютерных программах расчета конструктивных и режимных параметров установок инфракрасной сушки полимерных покрытий в корпусных деталях, повышении качества полимерных покрытий в сравнении с конвективным способом сушки. Вывод имеет новизну и достоверность.

Вывод 10 содержит информацию о рациональных геометрических параметрах режущей кромки калибра-резца при калибровании эластомерных нанокompозитных покрытий, методе расчета размерных цепей и точностных характеристик деталей технологической оснастки для центрирования деталей клеевых соединений типа «вал-подшипник». Вывод имеет новизну и достоверность.

Вывод 11 получен в результате экспериментальных исследований и содержит информацию о снижении контактных напряжений в подшипниках на полимерной посадке и увеличении их ресурса, улучшении теплоотвода в восстановленных подшипниковых узлах, предельно допустимом износе, устраняемым эластомерными и анаэробными нанокompозитами в ходе восстановления посадки подшипника. Вывод достоверен, имеет практическую новизну и значимость.

Вывод 12 содержит достоверную информацию о новых технологиях восстановления посадок подшипников в корпусных деталях и на валах нанокompозитами на основе эластомеров Ф-40, Ф-40С и герметика АН-111, о внедрении в производство, а также результаты расчета экономического эффекта от внедрения. Результаты расчета подтверждают экономическую эффективность разработанных технологий восстановления.

3 Значимость для науки и практики результатов диссертации и конкретные пути их использования

Научную новизну диссертационной работы составляют: собственные методики исследований; обоснование выбора наночастиц наполнителей для полимерных материалов; расчет теплофизических и механических свойств нанокompозитов; математические модели инфракрасного нагрева корпусных деталей; мето-

ды расчета конструктивных элементов и параметров режима установок для инфракрасной сушки полимерных покрытий в корпусных деталях; методы расчета точностных характеристик конструктивных элементов технологической оснастки для центрирования деталей клеевых соединений типа «вал-подшипник»; результаты экспериментальных исследований механических и теплофизических свойств полимерных нанокомпозитов; эффективность ультразвукового и механизированного смешения и диспергирования растворов нанокомпозитов; структуры и элементный состав, дефектность полимерных покрытий; особенности механической обработки покрытий калиброванием; исследования влияния контактных напряжений на ресурс подшипников на полимерной посадке; долговечность посадок подшипников, восстановленных полимерными нанокомпозитами.

Теоретическая значимость работы состоит в: расчете теплофизических и механических свойств полимерных нанокомпозитов; разработке математических моделей инфракрасного нагрева корпусных деталей; создании методов расчета конструктивных элементов и показателей режима установок инфракрасной сушки полимерных покрытий и точностных характеристик деталей технологической оснастки.

Результаты диссертационной работы могут быть использованы научными учреждениями при разработке новых полимерных нанокомпозитов, технологий восстановления посадочных отверстий в корпусных деталях и посадок подшипников на деталях типа «вал» в узлах автотракторной техники, а также в учебном процессе ВУЗов по соответствующим дисциплинам.

Практическую значимость представляют новые нанокомпозиты на основе эластомеров Ф-40, Ф-40С и герметика АН-111, компьютерные программы расчета конструктивных и технологических параметров установок инфракрасного нагрева, технологии восстановления с использованием ультразвукового и механизированного диспергирования растворов нанокомпозитов, технологическая оснастка в виде калибрующего инструмента и центрирующих приспособлений.

Новые нанокомпозиты и технологии восстановления посадок подшипников внедрены и используются при ремонте сельскохозяйственной техники, техноло-

гического оборудования в промышленных, машиностроительных и с.х. предприятиях Тамбовской, Липецкой и Воронежской областей. Они могут быть рекомендованы автотранспортным предприятиям, ремонтно-техническим, сельскохозяйственным и перерабатывающим предприятиям АПК при восстановлении посадок в подшипниковых узлах.

4 Структура и объем диссертации

Диссертационная работа включает: введение, пять глав, заключение, список литературы и приложения. Объем работы 478 страниц машинописного текста. Диссертация включает 215 рисунков, 47 таблиц, 20 приложений на 70 страницах и список литературы из 280 наименований

5 Степень завершенности диссертации в целом и качество оформления

Диссертационная работа имеет завершенный характер. Качество оформления соответствует современным требованиям, предъявляемым к подобного рода научным работам.

6 Подтверждение опубликования основных результатов диссертации в научных изданиях

Автор опубликовал по теме диссертации 74 печатные работы, в том числе 17 публикаций в изданиях, включенных в систему цитирования Scopus, 21 публикацию в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК Минобрнауки, получено 4 патента на изобретение РФ. Публикации соискателя Псарева Д.Н. в полной мере отражают основные результаты диссертации.

7 Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации

Структура автореферата имеет классическую форму. В автореферате отражены основные положения диссертации, которые дают достаточно полное представление о сущности выполненной работы, позволяют оценить ее научную и практическую значимость. Автореферат в целом соответствует основным идеям и выводам диссертации и в достаточно полной мере отражает ее основное содержание.

Замечания:

1. В выводах 3...5 на стр. 36 автореферата соискателю следовало указать номера формул, что улучшило бы восприятие материала.
2. В математических выражениях 18...19 (стр. 17) и 63...65 (стр. 30) отсутствуют размерности величин.
3. Имеет место значительное расхождение в количестве поставленных задач и выводов заключения – 8 задач против 12 выводов.

8 Оценка содержания и оформления диссертационной работы

Во введении обоснована актуальность и степень разработанности темы исследования, сформулированы научная новизна результатов исследования, теоретическая и практическая значимость работы, объект и предмет исследования. Представлены основные положения, которые выносятся на защиту.

Замечаний нет.

В первой главе «Анализ состояния вопроса, цель и задачи исследований» рассмотрены способы восстановления посадок подшипников качения в узлах сельскохозяйственной техники, современные полимерные композиты для восстановления посадок подшипников качения, формирование контактных напряжений и долговечность подшипниковых узлов с посадками, восстановленными поли-

мерными материалами, способы технологического обеспечения при восстановлении посадок подшипников качения полимерными композитами.

Замечания:

1. Первая глава содержит ряд известных данных, выраженных в иллюстрационном и математическом виде (например, продемонстрировано 66 рисунков), в чем нет необходимости при проведении аналитических исследований.

2. Утверждение о том, что наличие полимерного слоя в сопряжении «вал-подшипник» или «корпус-подшипник» снижает контактные напряжения, безусловно верно, однако мнение о многократном увеличении ресурса подшипников вызывает серьёзные сомнения.

Во второй главе «Методика экспериментальных исследований», приведены общая и частные методики исследований механических, физических и теплофизических свойств эластомерных и анаэробных нанокompозитов, их ультразвуковой, механизированной и инфракрасной обработки, обработки резанием, исследования трибологических параметров и ресурса подшипников с полимерными посадками, долговечности посадок подшипников при циклическом нагружении, восстановленных полимерными нанокompозитами. Ряд методик разработаны, непосредственно автором, что, несомненно, придает главе дополнительный научный уровень.

Замечания:

1. В общую схему теоретических и экспериментальных исследований (рисунок 2.1) введены разделы: «Технологические рекомендации»; «Внедрение результатов исследований в производство»; «Оценка экономической эффективности технологий восстановления», которые не относятся, ни к теоретическим ни к экспериментальным исследованиям.

2. Глава пересыщена фотографиями известного исследовательского оборудования (часто стандартного), например: разрывная машина серии ИП (рисунок 2.3); ареометр АОН – 1 и д.р.

3. На рисунке 2.29 (стр. 152) представлена фотография стенда для испытания подшипниковых узлов при циклическом нагружении без указания номеров

позиций деталей и подробного описания его работы.

В третьей главе «Научные основы формирования эксплуатационных свойств полимерных нанокомпозитов для восстановления посадочных мест подшипников качения в узлах техники» рассмотрены факторы, определяющие теплофизические свойства полимерных нанокомпозитов, наполненных дисперсными металлическими наночастицами, проведен фрактальный анализ их структуры, исследованы механические свойства, приведены регрессионные модели деформационно-прочностных характеристик полимерных нанокомпозитов.

Замечания:

1. В работе сделано допущение о линейной зависимости деформации нанокомпозита от величины нагрузки, так как толщина клеевого шва не превышает 0,075 мм, что вызывает определенные сомнения и не имеет достоверного обоснования (стр. 180).

2. Ряд экспериментальных данных, выраженные в виде графических зависимостей построены по трем точкам, что указывает на недостаточную достоверность полученных результатов и соответственно функциональных зависимостей между исследуемыми параметрами (например, рисунки 3.8...3.12).

3. Соискатель подробно и доступно дал объяснение механизму развития и притупления трещины, гистерезисным явлением эластомеров, однако четкой связи этих факторов с выносливостью не установлено. Удельная работа разрушения не является приоритетным критерием при знакопеременном нагружении.

В четвертой главе «Технологическое обеспечение восстановления посадочных мест подшипников качения полимерными нанокомпозитами» приведены результаты: исследования диспергирования растворов полимерных нанокомпозитов ультразвуковым и механизированным способами; математические модели инфракрасного нагрева корпусных деталей с полимерными покрытиями; изучение особенностей обработки резанием эластомерных покрытий, трибологических параметров и ресурса подшипников с полимерными посадками, долговечности посадок подшипников при циклическом нагружении, восстановленных полимерными нанокомпозитами. Следует отметить, что глава отличается широким спектром и

большой масштабностью экспериментального материала.

Замечания:

1. Ряд экспериментов и полученных в них результатов не имеют должного физического объяснения, например: не изложены причины, объясняющие снижение давления насыщенного пара при увеличении содержания наполнителя; не ясно также за счет чего рост количества наполнителя в составе нанокompозита способствует увеличению размеров агрегатов.

2. На рисунках 4.9 и 4.10, страницы 274 и 276 температура растворов нанокompозитов при ультразвуковом смешении с течением времени увеличивается, а при ручном смешении уменьшается. Однако, объяснение столь противоположному характеру экспериментальных зависимостей отсутствует.

В пятой главе «Реализация результатов исследований и их технико-экономическая оценка» приведены разработанные технологии восстановления корпусных деталей и посадок подшипников на деталях типа «вал» нанокompозитами на основе эластомеров Ф-40, Ф-40С и анаэробного герметика АН-111, их экономическая эффективность.

Замечания:

1. Не приводится изложение разработанных технологий и их особенности применительно к конкретным деталям и материалам.

2. Наличие эксплуатационных испытаний восстановленных деталей, несомненно, положительный фактор исследований, однако отсутствие конкретных программ и развернутых планов проведения такой работы не позволяет в должной мере оценить их значимость.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Отмеченные в отзыве замечания не снижают научную и прикладную значимость выполненных исследований. Диссертация Псарева Д.Н. представляет собой самостоятельную, завершенную научно-квалификационную работу, содержащую новые научно обоснованные технические и технологические решения по разра-

ботке полимерных нанокompозитов, способов, технических средств и технологий восстановления подшипниковых узлов техники, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие АПК РФ.

Диссертация изложена в логической последовательности, достаточно полно иллюстрирована, соответствует пункту 20 паспорта специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса и отвечает требованиям и критериям пунктов 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года № 842, а ее автор Псарев Дмитрий Николаевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса.

Официальный оппонент,
профессор кафедры технического сервиса
ФГБОУ ВО «Брянский государственный
аграрный университет»,
доктор технических наук,
профессор

Михальченков Александр Михайлович

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования «Брянский государственный
аграрный университет».

243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, д. 2а.

Тел. +7 962-132-32-74, e-mail: mihalchenkov.alexandr@yandex.ru



ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора Жачкина Сергея Юрьевича на диссертационную работу Псарева Дмитрия Николаевича «Технологические основы восстановления посадок подшипников качения в узлах сельскохозяйственной техники полимерными нанокompозитами» представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.1. «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса» в диссертационный совет 35.2.022.02 по защите кандидатских и докторских диссертаций, созданный на базе ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ

1. Актуальность темы диссертации

Агропромышленный комплекс Российской Федерации, несмотря на очевидные успехи в первой половине XXI века, испытывает острую необходимость в повышении эффективности системы обслуживания и ремонта сельскохозяйственной техники. Государственные программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия, Указы Президента Российской Федерации «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники» (2011 г.), «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации» (2020 г.), заседание Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации от 31.03.21 г. № 502 ставят перед наукой задачи не только технической и технологической модернизации, но и вопросы расширения перечня используемых материалов, расширяющие технические возможности использования сельскохозяйственной техники.

Выбор в качестве основного объекта полимерных нанокompозитов позволил автору разработать технологические основы, обеспечивающие улучшение эксплуатационных свойств полимерных нанокompозитов, повышение качества восстановления посадок и увеличение ресурса подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники. Такой подход к восстановлению деталей сельхозмашин делает представленную работу интересной и актуальной для целого ряда отраслей.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна

В заключении к автореферату и диссертационной работе автором сделаны 12 основных выводов, касающихся:

1. Разработки методологии исследования и выбора на основе фрактального анализа дисперсных наночастиц наполнителей для полимерных композитов, предназначенных для восстановления посадочных мест подшипников качения, расчета теплофизических и механических свойств полимерных нанокompозитов.

2. Наночастиц меди и алюминия являющихся ингибиторами термоокисления эластомеров на основе бутадиен-нитрильных каучуков и повышающих их термостойкость.

3. Наночастиц и межфазных областей, являющихся армирующим элементом в структуре полимерного нанокompозита, повышающим его модуль упругости. Предложены формулы для расчета модуля упругости нанокompозитов на основе эластомеров и анаэробных герметиков. В формулах учтены деформационно-прочностные свойства полимерной матрицы, объемное содержание и фрактальная размерность (шероховатость) поверхности наночастиц наполнителя.

4. Фрактального анализа: наночастиц наполнителей – размерности поверхности d_s , размерности структуры наночастиц d_f и размерности структуры нанокompозитов d_f^k . Предложена формула расчета величины d_s для эластомерных нанокompозитов.

5. Увеличения модуля упругости, при котором повышается предел текучести нанокompозитов. Наполнение эластомера Ф-40С алюминиевым нанопорошком увеличивает предел текучести материала в 1,11 раза, от 14,1 до 15,7 МПа, с алюминиевым и медным нанопорошками – в 1,14 раза, от 14,1 до 16,1 МПа.

6. Деформационных свойств нанокompозитного материала, наполненного дисперсными металлическими наночастицами. Благодаря низкому объемному содержанию, наночастицы свободно перемещаются с полимерной матрицей, которая свободно растягивается. Вязкое сопротивление перемещению наночастиц с высокой адгезией к полимерной матрице увеличивает деформацию нанокompозита при разрыве.

7. Зависимости удельной работы разрушения пленок эластомерных нанокомпозитов от режима термической обработки и состава наполнителей.

8. Исследования физических свойства растворов эластомерных нанокомпозитов и определения рационального режима ультразвуковой обработки.

9. Получения математических моделей инфракрасного нагрева подшипниковых щитов электродвигателей и корпусных деталей автотракторной техники, и разработке на их основе методов и компьютерных программы расчета конструктивных и режимных параметров установок инфракрасной сушки полимерных покрытий в корпусных деталях.

10. Экспериментальных исследований зависимости усилия резания покрытий эластомерных нанокомпозитов от переднего угла режущей кромки калибра-резца получения рациональных геометрических параметров режущей кромки калибра-резца, которые обеспечивают минимальное значение радиальной составляющей силы резания, наиболее высокие качество и точностные характеристики покрытий эластомерных нанокомпозитов.

11. Снижения контактных напряжений в подшипниках и увеличения жесткости опор, уменьшения смещения осей сопрягаемых деталей подшипникового узла при радиальном нагружении и увеличения ресурса подшипников на полимерной посадке.

12. Разработки технологии восстановления посадок подшипников в корпусных деталях и на валах нанокомпозитами на основе эластомеров Ф-40, Ф-40С и герметика АН-111.

Степень обоснованности научных положений, выдвигаемых в диссертации и их достоверность, подтверждена многочисленными ссылками на работы других авторов (280 наименований), проведенными автором расчетами, значительным количеством экспериментов, а также использованием современного исследовательского оборудования и приборов, фрактальным, дисперсионным и регрессионным анализом, проведенными эксплуатационными испытаниями.

Достоверность научных положений, выводов и практических рекомендаций подтверждается использованием в работе современных физических методов исследования, обработкой полученных данных и апробацией достигнутых научных результатов в 74 печатных работах, в том числе 17 публикаций в изданиях, включенных в систему цитирования Scopus, 21 публикация в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК Минобрнауки, и 4 патента на изобретение РФ.

Научная новизна работы состоит в раскрытых автором:

- методологии исследования и выбора, на основе фрактального анализа, наночастиц наполнителей, расчета теплофизических и механических свойств полимерных нанокомпозитов;

- результатов экспериментальных исследований теплофизических и механических свойств полимерных нанокомпозитов, регрессионные модели зависимости удельной работы разрушения от состава и режима термической обработки эластомерных нанокомпозитов;

- результатов экспериментальных исследований ультразвукового диспергирования и дегазации растворов эластомерных нанокомпозитов, дефектности и структуры полимерных покрытий после УЗО, рациональные режимы УЗО нанокомпозитов и механизированного диспергирования анаэробного нанокомпозита;

- математических моделей инфракрасного нагрева подшипниковых щитов электродвигателей и корпусных деталей автотракторной техники, методы и компьютерные программы расчета конструктивных и режимных параметров установок инфракрасной сушки полимерных покрытий в корпусных деталях, дефектность эластомерных нанокомпозитных покрытий после термической обработки конвективным и терморadiационным способами;

- экспериментальных зависимостей усилия резания покрытий эластомерных нанокомпозитов от переднего угла режущей кромки калибра, рациональные геометрические параметры режущей кромки калибра, качество и точностные характеристики покрытий эластомерных нанокомпозитов;

- методов расчета точностных характеристик деталей технологической оснастки для центрирования деталей клеевых соединений типа «вал-подшипник»;

- результатов экспериментальных исследований податливости опор на полимерных посадках, трибологические параметры, контактные напряжения и долговечность подшипников с посадками из полимерных нанокомпозитов;

- результатов экспериментальных исследований долговечности посадок подшипников при циклическом радиальном нагружении, восстановленных полимерными нанокомпозитами.

Все положения, приведенные в пунктах научной новизны, подтверждаются результатами многочисленных экспериментов, найденные закономерности представлены в виде математических зависимостей.

Оригинальность технических решений, предложенных автором, подтверждается патентами на изобретение РФ № 2678063; № 2719624; № 2751339; № 2757271.

3. Теоретическая и практическая значимость результатов исследований

Теоретическая значимость результатов представленной диссертации заключается в разработке методологии исследования и выбора наночастиц наполнителей для полимерных материалов, расчета теплофизических и механических свойств полимерных нанокомпозитов; математических моделей инфракрасного нагрева корпусных деталей техники, методах расчета конструктивных и режимных параметров установок инфракрасной сушки полимерных покрытий в корпусных деталях; методе расчета точностных характеристик деталей технологической оснастки для центрирования деталей клеевых соединений типа «вал-подшипник».

Практическая значимость заключается в новых нанокомпозитах на основе эластомеров Ф-40, Ф-40С и герметика АН-111, компьютерных программах расчета конструктивных и технологических параметров установок инфракрасного нагрева, технологиях восстановления с использованием ультразвукового и механизированного диспергирования растворов нанокомпозитов, технологиях восстановления, технологической оснастке в виде калибрующего инструмента и центрирующих приспособлений.

Практическая значимость подтверждается приложениями к работе, в том числе актами и протоколами испытаний полученных материалов.

4. Оценка содержания диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и 20 приложений (А-Ф). Диссертация изложена на 478 страницах машинописного текста, включает 215 рисунков, 47 таблиц, 20 приложений на 70 страницах и список литературы из 280 наименований.

Во введении обоснована актуальность и степень разработанности темы исследования, сформулированы научная новизна результатов исследования, теоретическая и практическая значимость работы, объект и предмет исследования. Представлены основные положения, которые выносятся на защиту. Автором приведены данные о реализации результатов исследований, охарактеризован личный вклад автора, степень достоверности полученных результатов, апробации результатов.

Кроме того, приведены положения, выносимые на защиту:

- методология исследования и выбора, на основе фрактального анализа, наночастиц наполнителей, расчета теплофизических и механических свойств полимерных нанокомпозитов;

- математические модели инфракрасного нагрева подшипниковых щитов электродвигателей и корпусных деталей автотракторной техники, методы и компьютерные программы расчета конструктивных и режимных параметров установок инфракрасной сушки полимерных покрытий в корпусных деталях;

- регрессионные модели зависимости удельной работы разрушения от состава и режима термической обработки эластомерных нанокомпозитов;

- рациональные режимы УЗО растворов эластомерных нанокомпозитов и механизированного диспергирования анаэробного нанокомпозита, теплофизические и механические свойства полимерных нанокомпозитов, дефектность эластомерных нанокомпозитных покрытий после термической обработки конвективным и терморadiационным способами, рациональные геометрические параметры режущей кромки калибра-резца, качество и точностные характеристики покрытий эластомерных

нанокompозитов;

- метод расчета точностных характеристик деталей технологической оснастки для центрирования деталей клеевых соединений типа «вал-подшипник»;
- результаты экспериментальных исследований трибологических параметров, контактных напряжений и долговечности подшипников с посадками из полимерных нанокompозитов, долговечность посадок подшипников при циклическом радиальном нагружении, восстановленных полимерными нанокompозитами;
- технологии восстановления посадок подшипников качения на деталях типа «вал» и в корпусных деталях полимерными нанокompозитами и оценка их технико-экономической эффективности.

В первой главе «Анализ состояния вопроса, цель и задачи исследований» рассмотрены способы восстановления посадок подшипников качения в узлах сельскохозяйственной техники, современные полимерные композиты для восстановления посадок подшипников качения, формирование контактных напряжений и долговечность подшипниковых узлов с посадками, восстановленными полимерными материалами, способы технологического обеспечения при восстановлении посадок подшипников качения полимерными композитами.

Во второй главе «Методика экспериментальных исследований» приведены общая и частные методики исследований механических, физических и теплофизических свойств эластомерных и анаэробных нанокompозитов, их ультразвуковой, механизированной и инфракрасной обработки, обработки резанием эластомерных покрытий, исследования трибологических параметров и ресурса подшипников с полимерными посадками, долговечности посадок подшипников при циклическом нагружении, восстановленных полимерными нанокompозитами.

В третьей главе «Научные основы формирования эксплуатационных свойств полимерных нанокompозитов для восстановления посадочных мест подшипников качения в узлах техники» рассмотрены факторы, определяющие теплофизические свойства полимерных нанокompозитов, наполненных дисперсными металлическими наночастицами, проведен фрактальный анализ структуры полимерных нанокompозитов и рассмотрены их механические свойства, приведены регрессионные модели деформационно-прочностных свойств полимерных нанокompозитов.

В четвертой главе «Технологическое обеспечение восстановления посадочных мест подшипников качения полимерными нанокompозитами» приведены результаты исследования диспергирования растворов полимерных нанокompозитов ультразвуковым и механизированным способами, математические модели инфракрасного нагрева корпусных деталей с полимерными покрытиями, исследования обработки резанием эластомерных покрытий, трибологических параметров и ресурса подшипников с полимерными посадками, долговечности посадок подшипников при циклическом нагружении, восстановленных полимерными нанокompозитами.

В пятой главе «Реализация результатов исследований и их технико-экономическая оценка» приведены разработанные технологии восстановления корпусных деталей и посадок подшипников на деталях типа «вал» нанокompозитами на основе эластомеров Ф-40, Ф-40С и анаэробного герметика АН-111, их экономическая эффективность.

Заключение работы обобщает её результаты.

Приложения содержат материалы, подтверждающие практическую значимость работы.

5. Замечания по диссертационной работе

1. Стр 117. Рис. 2.2 Указан размер пленки для испытаний (50x10x0,15 мм), т.е. ее объем составит $V = 0,05 \times 0,01 \times 0,00015 \text{ (мм}^3\text{)} = 7,5 \times 10^{-8} \text{ м}^3$. Однако, на стр. 119 автор при нахождении удельной работы деформации берет для расчетов объем полимерной пленки $180 \times 10^9 \text{ м}^3$. Следует пояснить этот момент.

2. Стр. 120 в табл. 2.4 приведены уровни варьирования и интервалы варьирования факторов. Согласно книге Адлер Ю.П. «Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий»: «Интервал варьирования не может быть меньше той ошибки, с которой экспериментатор фиксирует уровень фактора, иначе верхний и нижний уровень окажутся не различимы. С другой стороны, интервал не может быть настолько большим,

чтобы верхний или нижний уровни оказались за пределами области определения». Там же указано, что интервал варьирования по каждой переменной выбирается таким, чтобы приращение величины выходного параметра к базовому значению целевой функции при реализации шага можно было выделить на фоне «шума». Если нет никаких указаний на величину интервала, то в первом приближении можно принять за шаг 15 % - ное отклонение от базового уровня. Это же касается и табл. 2.5 на стр. 120. В связи с этим, автору следует пояснить: 1) на каких приборах и как фиксировалось значение факторов; 2) какова область определения исследуемых факторов.

3. Некоторые приведенные в работе аналитические выражения (ф. 2.9; 2.10; 2.11 – 2.13; 3.1; 3.2; 3.4; 3.5; 3.11 – 3.14 и т.д.), не соответствуют ГОСТ, согласно которому после формул следует давать пояснения приводимым в них величинам. Не соблюдение этого требования затрудняет понимание представленного в работе материала.

4. Стр. 173, п. 1 выводов автор делает вывод, что проведенные исследования позволили «получить адекватную модель теплопроводности двухкомпонентных и трехкомпонентных полимерных нанокомпозитов». Однако, в работе никаких данных проверки представленной модели на адекватность не приведено.

5. На стр. 179 автор утверждает, что т.к. толщина «клеявого шва не превышает 0,05...0,075 мм, вполне справедливо допущение, что зависимость деформации нанокомпозита от прилагаемой к нему нагрузки линейная». Однако согласно теории упругости теорема Клапейрона гласит: потенциальная энергия упругой деформации равна половине работы внешних сил на произведенных ими перемещениях. В связи с этим вызывает сомнение утверждение, что малая толщина клеявого шва будет обеспечивать линейность нагрузки. Бесспорно, что будет обеспечиваться линейность деформации образца (как тела), а не клеявого шва.

6. В выводах на стр. 258 автор указывает, что «оптимальный состав нового эластомерного нанокомпозита: эластомер Ф-40С (ТУ 6-06-246-92) – 100 масс.ч., алюминиевый нанопорошок (ТУ 1791-003-36280340-2008) – 0,09 масс.ч.; медный нанопорошок (ТУ 1791-003-36280340-2008) – 0,03 масс.ч., при котором пленки материала имеют наиболее высокие деформационно-прочностные свойства, $\alpha_p = 42,0 \text{ Мдж/ м}^3$ ». Однако, здесь автору следует пояснить, что он имеет в виду под термином «оптимальный состав», т.к. при данных параметрах (алюминиевый нанопорошок – 0,09 масс.ч.; медный нанопорошок – 0,03 масс.ч.) значение α_p не будет максимальным. Это подтверждается как аналитической проверкой, так и графической интерпретацией регрессионного уравнения на области определения. Скорее всего тут надо говорить о рациональных параметрах на основе рационализации по экономическим критериям, т.к. по данным, приведенным автором, получается, что существенная экономия алюминиевого нанопорошка (порядка 30%) и медного нанопорошка (порядка 85%) вызывает разницу с аналитическим оптимумом менее чем 0,5%.

7. В приложении диссертации на страницах 458, 461 и 464 приведены акты эксплуатационных испытаний техники с восстановленными агрегатами. Из текста диссертации не понятно: по какому плану испытаний велись наблюдения?

6. Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации

Содержание автореферата отражает основные научные положения и выводы диссертации. Подтверждает это его структура, которая полностью согласуется с последовательностью изложения материала в диссертации, а выводы идентичны.

7. Завершённость и качество оформления диссертационной работы

Диссертационная работа Псарева Д.Н. является завершённой научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором научных исследований разработаны теоретические положения, а также изложены новые научно обоснованные технические и технологические решения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение. Работа имеет несомненную практическую значимость. Структура и содержание автореферата соответствуют основным положениям

и выводам диссертации. Апробация результатов исследований и публикации

Основные положения диссертации представлены и обсуждены на Международных научно-практических конференциях: ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ (г. Мичуринск) в 2015...2023 гг.; ФГБНУ ВНИИТиН (г. Тамбов), 2017, 2019 гг.; ФГБОУ ВО Ивановская ГСХА (г. Иванов), 2017, 2018 гг.; ЛГТУ (г. Липецк), 2018...2022 гг.; Саратовский гос. агр-й ун-т (г. Саратов), 2019 г.; Елецкий гос. ун-т (г. Елец), 2020 г.; заседании кафедры стандартизации, метрологии и технического сервиса ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ в 2023 г.

8. Заключение

Диссертация Псарева Дмитрия Николаевича «Технологические основы восстановления посадок подшипников качения в узлах сельскохозяйственной техники полимерными нанокompозитами» соответствует областям Паспорта специальности 4.3.1. «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса», является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены научно обоснованные технические разработки по увеличению надёжности посадочных мест в корпусных деталях и деталях типа «вал» сельскохозяйственной техники за счёт нанесения полимерных нанокompозитов, имеющие существенное значение для успешного развития агропромышленного сектора и экономики страны в целом. Диссертация соответствует критериям, изложенным в пунктах 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (с изменениями), а её автор Псарев Дмитрий Николаевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 4.3.1. «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса».

Официальный оппонент:

Фамилия: Жачкин

Имя: Сергей

Отчество: Юрьевич

Ученая степень: Доктор технических наук по специальности 4.3.1. (05.20.03 – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве)

Ученое звание: профессор по специальности Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

Место работы: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра 1»

Должность: профессор кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин»

Контактные сведения:

e-mail: main@vsau.ru

Телефон: +7 (473) 253-86-51

Почтовый адрес: 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1

Личная подпись _____

Сергей Юрьевич Жачкин

27.11.2023



ДОКЛАД ЗАВЕРЯЮ
ДЕЛА ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА

Стародубцева Н.В.