

На правах рукописи

ЛЕХТЕР Валентина Владимировна

**ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОДШИПНИКОВ
КАЧЕНИЯ ДВИЖИТЕЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ
МЕТАЛЛОПЛАКИРУЮЩЕЙ ПЛАСТИЧНОЙ СМАЗКОЙ**

Специальность 05.20.03. «Технологии и средства технического
обслуживания в сельском хозяйстве»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2012

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Балабанов Виктор Иванович

Официальные оппоненты: **Карпенков Владимир Филиппович**
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П.Горячкина», кафедра материаловедения, профессор

Быстров Владимир Николаевич
кандидат технических наук,
Межрегиональный общественный Фонд содействия развитию науки и техники, исполнительный директор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет природообустройства»

Защита состоится **19 марта 2012 года в 13.00** на заседании диссертационного совета Д 220.044.01 при ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина» по адресу: 127550, Москва, ул. Лиственничная аллея, д. 16а, корпус 3, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П.Горячкина»

Автореферат разослан «___» февраля 2012 года

Ученый секретарь
диссертационного совета



А.Г.Левшин

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Гусеничный или колесный движитель современной техники содержит множество деталей и соединений (поддерживающие катки гусеничного движителя, ступицы колес, шарниры равных угловых скоростей и др.), которые не удается эффективно защитить от изнашивания стандартными пластичными смазками. Анализ данных эксплуатации и литературных источников показал, что до 25 % отказов ходовой части сельскохозяйственной техники приходится на подшипниковые узлы.

При ее эксплуатации необходимо применять специальные пластичные смазки, которые эффективно выполняют свои функции при наличии высоких нагрузок и нагревания. Для этих целей в настоящее время разрабатываются металлоплакирующие пластичные смазки, которые могут применяться также для частичного восстановления изношенных подшипников.

В связи с этим исследования, направленные на разработку методов и средств безразборного восстановления работоспособности подшипников качения движителей сельскохозяйственной техники пластичными смазками, являются актуальной задачей и имеют огромное значение как для агропромышленного комплекса, так и для других отраслей экономики России.

Работа выполнена в рамках Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2008–2012 годы», а также в соответствии с программами: «Концепция развития аграрной науки и научного обеспечения агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2025 года» и «Стратегия машинно-технологической модернизации сельского хозяйства России на период до 2020 года», а также научно-исследовательских работ ФГБОУ ВПО МГАУ в период 2009–2012 гг.

Цель исследований. Разработка и исследование металлоплакирующей пластичной смазки для безразборного восстановления работоспособности подшипников качения движителей сельскохозяйственной техники.

Объект исследований. Ремонтно-восстановительные пластичные смазочные материалы.

Предмет исследований. Закономерности изменения трибологических и эксплуатационных свойств подшипников качения движителей сельскохозяйственной техники в условиях применения пластичных ремонтно-восстановительных смазочных материалов.

Методология исследований. В работе применен комплексный метод исследований, включающий в себя лабораторные трибологические испытания, специальные физико-химические исследования, стендовые и эксплуатационные испытания подшипников качения с применением металлоплакирующих пластичных смазочных материалов.

Научная новизна работы заключается в разработке классификации ремонтно-восстановительных пластичных смазочных материалов; теоретическом обосновании условий реализации процесса безразборного восстановления трущихся соединений подшипника качения методом металлоплакирования (условия

нанесения покрытия), которое описывается коэффициентом степени деформации в зоне контакта; в разработке новой восстановительной добавки к пластичной смазке (патент 2432386. Бюл. № 30, 2011 г.) и ремонтно-восстановительной присадки к смазочным материалам (патент 2439133. Бюл. № 01, 2012 г.), а также в получении новых результатов по исследованию пластичных смазочных материалов.

Практическая ценность работы заключается в разработке технической документации, изготовлении и внедрении ремонтно-восстановительной пластичной смазки «Металл Плюс» (ТУ 4366.101.1127.03-2011) и инструкции по ее применению, позволяющих эффективно влиять на технико-экономические характеристики подшипниковых узлов за счет повышения их износостойкости, снижения потерь на трение, а также частичного восстановления изношенных поверхностей.

Достоверность результатов работы обеспечена использованием теоретических законов и положений трибологии и надежности машин, применением современных методик и измерительных приборов, допустимыми величинами ошибок вычислительных операций и подтверждена экспериментальными испытаниями в лабораторных и производственных условиях.

Реализация результатов исследований. Результаты исследований использованы в ООО «Автохимия–Инвест» при производстве опытной партии ремонтно-восстановительной смазки «Металл Плюс» (ТУ 4366.03.03049297–2011). Проведены приемочные испытания и внедрение разработанной смазки при обслуживании и восстановлении подшипниковых узлов автомобильного транспорта на машинно-тракторной станции РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, а также гусеничного движителя рисозерноуборочных комбайнов в ЗАО «Деметра» Приморского края. Результаты исследований могут быть использованы в период штатной эксплуатации подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники, а также в учебном процессе агроинженерных вузов при изучении дисциплины «Триботехника».

Апробация работы. Результаты работы доложены, обсуждены и одобрены на заседаниях кафедры «Сопrotивление материалов» в 2009–2012 гг., а также на VII национальной конференции «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» (Институт кристаллографии, 2009); Международной научно-практической конференции «Трибология и экология (наука, образование, практика)» (МГАУ, 2010); I Международной конференции «Образование в сфере нанотехнологий: современные подходы и перспективы» (РНЦ «Курчатовский институт», 2010); 8th *International symposium INSYCONT-2010 «Energy and environmental aspects of tribology»* (Poland, Cracow, 2010); Международном научно-техническом семинаре «Проблемы экономичности и эксплуатации двигателей внутреннего сгорания» (СарГАУ, 2010); Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию МГАУ им. В.П. Горячкина, «Интеграция науки, образования и производства в области агроинженерии» (МГАУ, 2010); Международной научно-практической конференции, посвященной 145-летию РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, «Адаптация сельского хозяйства России к меняющимся погоднo-климатическим условиям» (РГАУ–МСХА им. К.А. Тими-

ряева, 2010); VII Международной научно-практической конференции «Научные проблемы развития ремонта, технического обслуживания машин, восстановления и упрочнения деталей» ГОСНИТИ, 2010); Международной научно-практической конференции «Научные проблемы эффективного использования тягово-транспортных средств в сельском хозяйстве» (МГАУ, 2011); Международной научно-практической конференции «Трибологические основы повышения ресурса машин (наука, образование, практика)» (МГАУ, 2012).

Технология и материалы экспонировались на вузовских выставках научно-технических достижений.

Публикации. Результаты исследований отражены в восьми научных публикациях, из них три статьи в печатных изданиях, рекомендованных перечнем ВАК. По результатам исследований получено два патента на изобретения (2432386 RU. Бюл. № 30, 2011 г. и 2439133 RU. Бюл. № 01, 2012 г.).

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений. Изложена на 129 страницах машинописного текста, включая 40 рисунков, 10 таблиц, библиографию из 158 наименований. Приложение содержит 16 страниц дополнительной документации.

На защиту выносятся:

- классификация ремонтно-восстановительных пластичных смазок;
- теоретические аспекты реализации процесса безразборного восстановления трущихся соединений методом металлоплакирования;
- разработанные автором новые ремонтно-восстановительная добавка и присадка к смазочным материалам;
- результаты лабораторных, физико-химических, стендовых и эксплуатационных испытаний;
- внедрение и оценка эффективности результатов исследований.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность работы, приведена ее общая характеристика и научные положения, выносимые автором на защиту.

В первой главе «*Состояние вопроса, цель и задачи исследования*» приведен анализ основных научных работ в области безразборного восстановления трущихся соединений, а также литературно-патентный обзор известных ремонтно-восстановительных препаратов для обработки трущихся соединений техники и оборудования, сформулированы цель и задачи исследования.

Основополагающий вклад в науку по разработке, исследованию и внедрению процессов ремонта, восстановления и обслуживания сельскохозяйственной техники безразборными методами внесли ученые: В.Г. Бабель, В.И. Балабанов, В.Н. Быстров, Д.Н. Гаркунов, А.А. Гвоздев, И.Г. Голубев, М.Н. Ерохин, С.А. Ищенко, В.Ф. Карпенков, А.С. Кужаров, В.Ф. Пичугин, Л.И. Погодаев, Г. Польцер, В.В. Сафонов, В.В. Стрельцов и другие.

Многие нефтехимические компании в мире выпускают пластичные смазки, предназначенные в том числе и для восстановительных целей. Например, компа-

ния *Actex S.A.* (Франция) предлагает металлоплакирующую пластичную смазку *Lubri Grease* на основе лития и свинцово-серебряно-медного сплава. Фирма *NV. Marly SA* (Бельгия) производит пластичную смазку с медью «*Copper Compound*». Концерн *Permatex Inc* (США) выпускает металлоплакирующую смазку с микрочастицами никеля, работающую при температурах до (+ 1300 °С), марки «*Nickel Anti – Seize Lubricant*», а компания *StepUp Brands Inc.*, (США) производит высокотемпературную литиевую смазку *High Temperature Bearing Lithium Grease*, на основе кондиционера металла *SMT²*. Из российских производителей стоит отметить многоцелевую металлоплакирующую смазку «Вымпел», выпускаемую фирмой «ВМП», а также аналогичную смазку «МС 1000» от компании НПК «ВМПавто».

Литературно-патентный анализ позволил установить, что в пластичных смазочных материалах, где опасность деструкции (разложения), выпадения в осадок и засорения фильтров не столь актуальна, применение металлоплакирующих добавок достаточно эффективно.

На основании литературно-патентного анализа в диссертации проведена систематизация и классификация известных ремонтно-восстановительных пластичных смазок, в основу которой положен химический состав применяемых добавок, механизм их защитного (антифрикционного и противоизносного), а также восстановительного действия на подвижные соединения деталей сельскохозяйственной техники (рисунок 1).

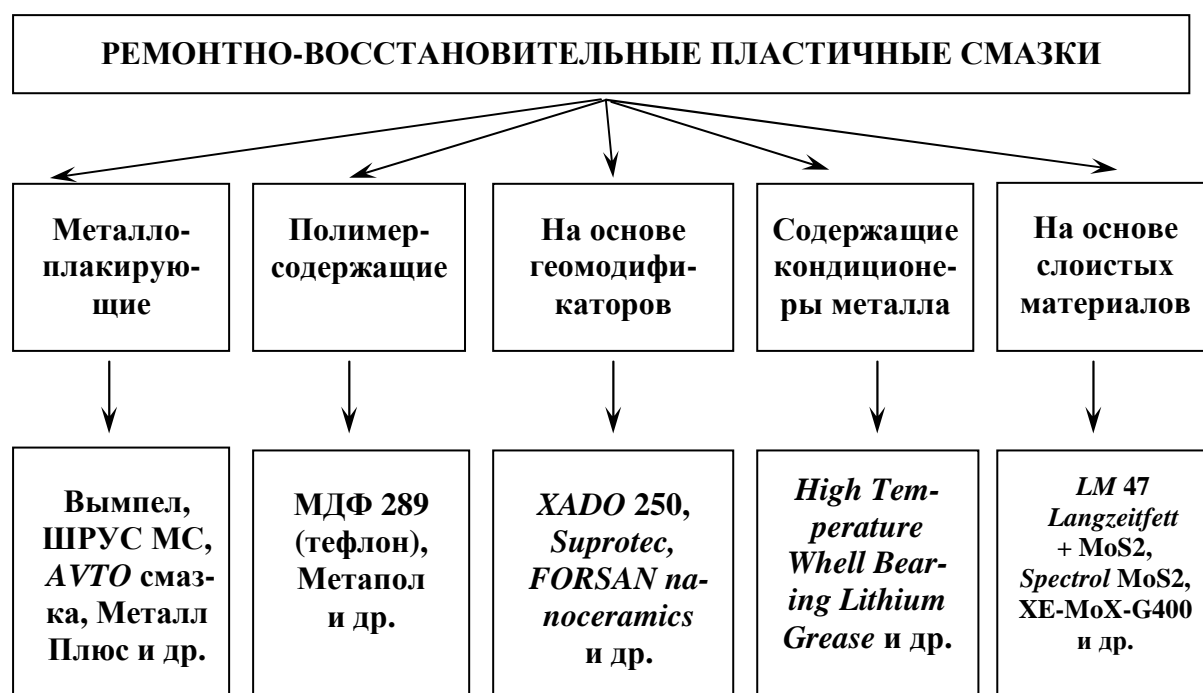


Рисунок 1 – Схема классификации ремонтно-восстановительных пластичных смазок

Анализ исследований по рассматриваемой проблеме, обобщение и систематизация отечественного и зарубежного опыта позволили выделить основные направления разработки препаратов и технологий восстановления подвижных со-

единений в условиях непрерывной эксплуатации.

Установлено, что для эффективного восстановления работоспособности подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники по критерию «качество – цена» наиболее доступны пластичные смазки на основе металлоплакирующих компонентов.

Во второй главе *«Теоретические предпосылки безразборного восстановления работоспособности подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники»* на основании научно-практических исследований в области трибологии, химмотологии и синергетики выдвигается и научно обосновывается технология восстановления подшипниковых узлов при помощи металлоплакирующего ремонтно-восстановительного пластичного смазочного материала.

На основании теоретических исследований установлено, что нанесение металлоплакирующих покрытий трением осуществляется за счет активизации четырех факторов (каналов) процесса: химического, механического, вакансионно-дислокационного и термического. Для их одновременной реализации необходима разработка и применение специальных металлоорганических добавок к восстанавливающим средам.

В работе предлагается условие реализации процесса безразборного восстановления трущихся соединений методом металлоплакирования (условие нанесения покрытия), которое описывается коэффициентом степени деформации в зоне контакта (коэффициентом восстановления):

$$K_{\text{в}} = (\sigma_{0,2n} / \sigma_{0,2\delta}) = 0,7 \dots 0,95, \quad (1);$$

где $\sigma_{0,2n}$ и $\sigma_{0,2\delta}$ – физический предел текучести порошковых материалов восстановителя и предел текучести материала детали подшипника стали ШХ15, МПа.

При условии, что $K_{\text{в}} > 0,95$ – наблюдается повышение интенсивности изнашивания подшипника, а условия $K_{\text{в}} < 0,7$ деформационно-скоростные режимы работы подшипника не обеспечивают высокой производительности и качества покрытия.

На основе теоретических предпосылок в диссертации разработана новая металлоплакирующая ремонтно-восстановительная добавка к пластичным смазочным материалам (патент 2432386. Бюл. № 30, 2011 г.), содержащая олеиновую кислоту, ее соли и порошки пластичных металлов в базовой кальциевой или литиевой основе.

В целях интенсификации химического и вакансионно-дислокационного механизмов процесса образования и повышения толщины (восстановления трущихся поверхностей), а также прочностных свойств (значения $\sigma_{0,2n}$) защитных металлоплакирующих пленок в состав разработанной добавки на основе соединений меди, предлагается дополнительно добавить соединения олова и никеля.

Для трех различных порошковых материалов (меди марки ПМС-1, $\sigma_{0,2\sigma} = 300 \dots 340$ МПа, олова марки О1, $\sigma_{\sigma} = 19 \dots 21$ МПа и никеля марки НП4, $\sigma_{\tau} = 220$ МПа) разработанной добавки приближенное значение физического предела те-

кучести композиционного покрытия находится пределах $\sigma_{0,2n} = 290...350$ МПа, так как его основой является медный порошок.

С учетом физического предела текучести подшипниковой стали ШХ15, составляющего $\sigma_{0,2\delta} = 370...410$ МПа, коэффициент степени деформации в зоне контакта (коэффициент восстановления) будет равен:

$$K_B = [(290...350) / (370...410)] = 0,71...0,95. \quad (2);$$

Процесс обработки (плакирования) трущихся соединений пластичными металлами осуществляется посредством химического восстановления и осаждения пластичных металлов из солей в присутствии поверхностно-активных веществ и физического натирания ультрадисперсных порошков, содержащихся в смазочной композиции с разработанной добавкой. Поверхности трения полностью покрываются композиционной защитной пленкой из пластичных металлов, за счет чего осуществляется частичное восстановление размеров и трибологических характеристик контактирующих поверхностей.

Коэффициент степени деформации (коэффициент восстановления) K_B предлагается использовать в формуле для проверочного расчета долговечности подшипника качения с учетом рекомендаций ГОСТ 18854–94 и ГОСТ 18855–94 в условиях применения металлоплакирующей пластичной смазки:

$$L = \left(\frac{C_r}{P_{\text{ýéä}}} \right)^m \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n}, \quad (3);$$

где L – долговечность (ресурс) подшипника, ч; n – частота вращения, мин⁻¹.

В расчетную формулу эквивалентной нагрузки для подшипника $P_{\text{экв}}$ (Н) дополнительно вводится коэффициент K_B :

$$P_{\text{экв}} = (VXF_r + YF_a)K_B K_T K_B, \quad (4).$$

где V – коэффициент вращения; F_r – радиальная нагрузка, равная радиальной реакции опоры; F_a – осевая нагрузка, равная осевой реакции опоры, X и Y – коэффициенты радиальной и осевой нагрузок; K_B – коэффициент безопасности, учитывает характер нагрузки, K_T – температурный коэффициент.

В результате теоретического расчета получаем, что в результате наличия композиционного пластичного покрытия на поверхностях трения и в связи с этим повышения площади контакта рабочего тела, а следовательно снижения эквивалентной нагрузки $F_{\text{экв}}$, находящейся в знаменателе формулы (3), долговечность подшипника качения при применении разработанной металлоплакирующей смазки ($K_B = 0,71...0,95$) может быть повышена: для шарикоподшипников (при $m = 3$) от 66 % до 2,79 раз, а для роликоподшипников (при $m = 10/3$) от 1,7 до 12 %.

В качестве присадки к жидким трансмиссионным маслам предлагается применять ремонтно-восстановительную присадку к смазочным материалам (патент 2439133. Бюл. № 01, 2012 г.).

В третьей главе «*Методика экспериментальных исследований*» рассмотрено планирование исследовательских работ, представленное на рисунке 2, описаны соответствующие методики экспериментальных исследований.

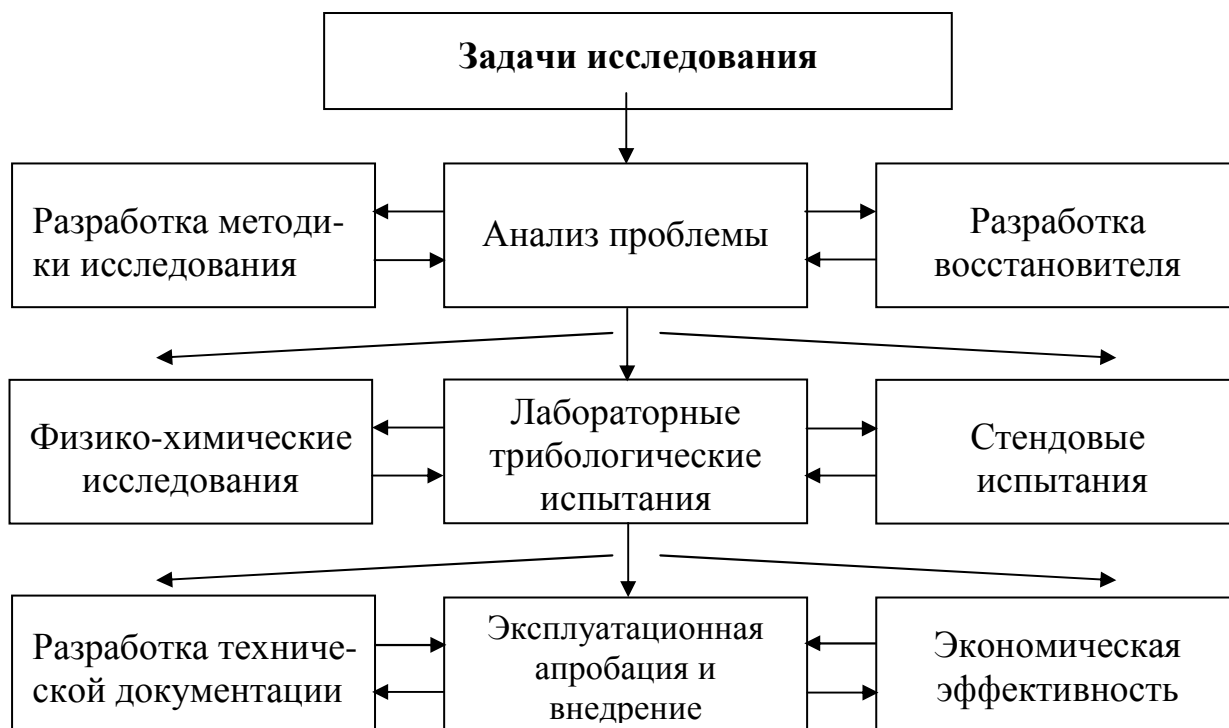


Рисунок 2 – Планирование исследовательских работ

В работе применен комплексный метод исследований, включающий лабораторные трибологические испытания наиболее известных восстановителей различного механизма действия (таблица 1) и разработанного с участием автора нового восстановителя «Металл Плюс» (ТУ 4366.03.03049297–2011) на модернизированной машине трения марки *Timken-machine*, а также физико-химические исследования поверхностей трения, стендовые и эксплуатационные испытания процесса безразборного восстановления подшипников.

Таблица 1 – Наименование, производители и нормативные документы, испытываемых пластичных смазок

Наименование	Производитель	ТУ или ГОСТ
1. Литол–24	ООО «Эксперт-ойл»	ГОСТ 21150–87
2. AVTO смазка	НТЦ «РемАвто»	ТУ 02-58178995-3-92
3. Метапол	НПФ «Эллис»	ТУ 1-92-193-95
4. ШРУС МС	ООО «ВМПАВТО»	ТУ 0254-011-45540231–2004
5. Вымпел	<i>Fine Metal Powders Co</i>	ТУ 0254-026-12288799–2005
6. Металл Плюс	МГАУ им. В.П. Горячкина	ТУ 4366.03.03049297–2011

Сравнительные лабораторные трибологические испытания различных пластичных смазок проводились в установившемся режиме с использованием реальных узлов подшипников качения: внутренней обоймы и роликов подшипника качения, изготовленных из стали ШХ-15. В качестве базы сравнения взяты результаты испытаний этих же конструкционных материалов на пластичной смазке Литол-24 (ГОСТ 21150-87) без добавок.

Режимы лабораторных трибологических испытаний определялись возможностями машины трения и устанавливались равными: давление в зоне трения $p = 5$ МПа, скорость скольжения $v = 1,83$ м/с, подача смазочного материала в зону контакта намазыванием, время испытаний $t = 3600$ с.

Износ-восстановление образцов оценивали в конце испытаний весовым методом на аналитических весах марки WA-21 (*Mechaniki zaklady precyzyjnej*, Польша) с точностью измерений до 0,0001 г. Момент сил трения регистрировался косвенным методом с помощью ваттметра по изменению мощности, потребляемой электродвигателем установки. Температура замерялась термопарой, сигнал от которой передавался на контрольно-регистрационный блок машины трения, состоящий из АЦП марки *Testo 177-T3 Logger* (ФРГ) и персонального компьютера *HP OmniBook XE3*, где непрерывно записывался и хранился в памяти компьютера.

Визуальное изучение и фотосъемка зоны трения проводились на оптическом цифровом микроскопе *Lomo* модель *Expert Prima* (Россия) с системой компьютерной регистрации изображений. Для исследования химического состава покрытия и переходной зоны поверхности трения в настоящей работе применен сканирующий микроскоп *Stereoscan-360* фирмы *Cambridge Instrument* (Великобритания), обеспечивающий анализ химического состава в заданных точках.

Для стендовых испытаний было разработано и изготовлено специальное приспособление, устанавливаемое на токарно-винторезный станок (рисунок 3).



Рисунок 3 – Специальное приспособление и проведение стендовых испытаний подшипников качения на токарно-винторезном станке

Для обработки внутреннее кольцо подшипника качения закреплялось на валу устройства, фиксировалось гайкой, и все в сборе закреплялось в шпинделе токарно-винторезного станка. Внешнее кольцо подшипника зажималось крепежным болтом, которое служит также для изменения осевой нагрузки в обойме

подшипника. В подшипник заправлялась металлоплакирующая смазка «Металл Плюс» и включался привод станка. При вращении шпинделя внешнее кольцо оставалось неподвижным, а внутренне кольцо вращалось, в результате чего осуществлялось нанесение композиционного покрытия из компонентов смазки на поверхности дорожек качения и рабочие тела (шарики или ролики) подшипников качения. Продолжительность обработки составляла 30 мин. После обработки подшипники вынимались из приспособления и очищались от остатков смазкой-восстановителя, тщательно промывались в растворителе, а затем просушивались и направлялись на измерения.

Измерения суммарных зазоров в подшипниках качения проводились на кафедре «Метрология, стандартизация и управление качеством» МГАУ им. В.П. Горячкина с использованием специального оборудования. Замерялся суммарный зазор (дорожек качения и рабочих тел подшипника) до обработки и после обработки, который складывается в общем случае из всех зазоров в подвижных соединениях.

Целью эксплуатационной апробации являлась проверка результатов лабораторных и стендовых трибологических испытаний на реальных объектах, в реальных условиях эксплуатации, а также отработка рекомендаций для внедрения ремонтно-восстановительных пластичных смазок.

Четвертая глава «*Результаты экспериментальных исследований*» посвящена анализу проведенных испытаний.

В результате лабораторных трибологических испытаний установлено, что применение металлоплакирующих смазок обеспечило снижение износа образцов по сравнению с базовой смазкой Литол–24 в среднем с 3,5 мг до значений 1,5...0,2 мг, что составляет от 2,1 до 16 раз. При испытаниях образцов на смазке с разработанной добавкой («Металл Плюс») отмечено увеличение веса образцов в среднем на 0,1 мг (рисунок 4).

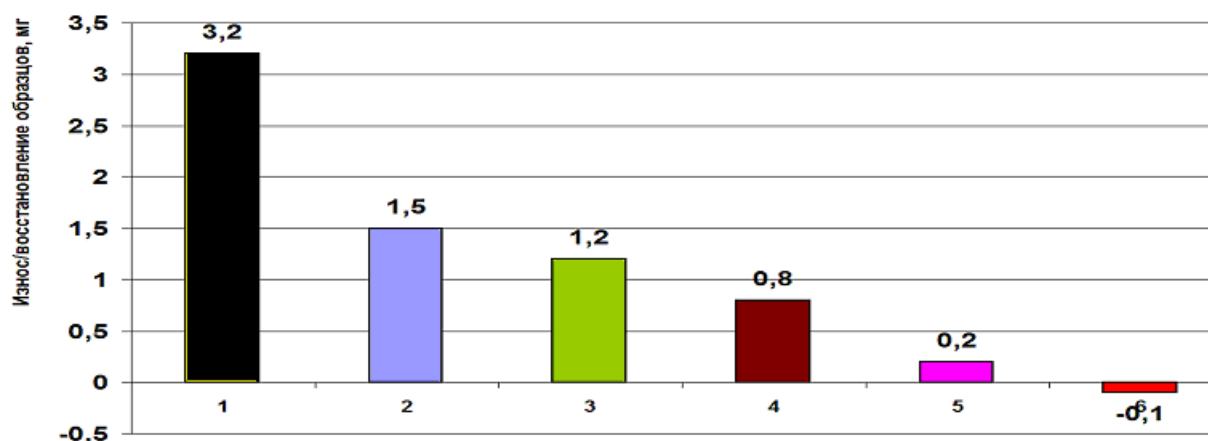


Рисунок 4 – Износ/восстановление образцов (мг) при трибологических испытаниях:

1 – Литол–24; 2 – АВТО смазка; 3 – ШРУС МС; 4 – Метапол; 5 – Вымпел;
6 – «Металл Плюс»

На основании физико-химических исследований поверхностей трения образцов установлено, что металлоплакирующая пластичная смазка «Металл Плюс» обеспечивает образование на поверхностях трения композиционного медно-оловянисто-никелевого покрытия, толщиной до 1,0 мкм и диффузионной зоны толщиной до 12,5 мкм, за счет чего обеспечивается частичное восстановление поверхности трения и повышение износостойкости восстановленных трущихся поверхностей (рисунок 5).

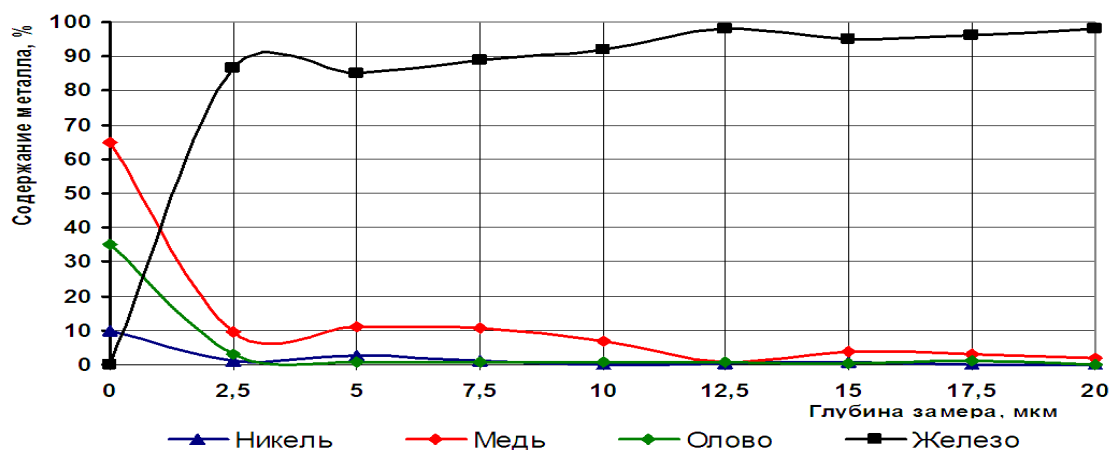


Рисунок 5 – Компонентный состав металлов восстановленной поверхности после применения металлоплакирующей пластичной смазки «Металл Плюс»

Стендовые испытания и визуальный осмотр внешнего и внутреннего колец подшипников и тел качения после применения смазки-восстановителя «Металл Плюс» (ТУ 4366.03.03049297-2011) выявил наличие на них сплошного медного покрытия. По результатам замера было установлено, что суммарное покрытие, наносимое на всех рабочих поверхностях подшипников катков, в среднем составило 10 мкм. Учитывая, что в одном подшипниковом узле 8 контактных поверхностей, величина восстанавливающего слоя для роликов и поверхностей колец, составило около 1,25 мкм.

Отмечается, что формирование устойчивых сервовитных пленок относительно длительный процесс, поэтому при исследованиях и при использовании обработанных подшипников наблюдается не мгновенное, а постепенное восстановление трущихся поверхностей.

В то же время, данное исследование показывает, что условия испытаний существенно сказываются на результатах безразборного восстановления за счет металлоплакирования пластичными металлами. Оказалось, что чем выше износ соединения, тем меньше толщина нанесенного покрытия. Износы более 100 мкм не позволяют достигнуть необходимых контактных давлений и температур в зоне трения, а следовательно, обеспечить необходимый выход поверхностной энергии, необходимый для образования покрытия высокого качества и толщины, что подтверждает результаты теоретических исследований по имеющемуся оптимуму реализации восстановительного эффекта.

Эксплуатационная апробация проводилась на машинно-тракторной станции РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева на четырех автомобилях марок: ГАЗ 31105 «Волга», ГАЗ 3302 «Газель», ГАЗ 2705 «Газель», ЗИЛ-450650 и автобусе ПАЗ 4320-02, а также на рисозерноуборочных комбайнах «Енисей»–1200РМ в ЗАО «Деметра» Приморского края.

Металлоплакирующая смазка «Металл Плюс» применялась для узлов и соединений в период эксплуатации взамен смазки Литол–24 (ГОСТ 21150–87), жировых солидолов марок УС (ГОСТ 1033–51), синтетического солидола марки С (ГОСТ 4366–64), пресс-солидола марки С СКа 4/5-1 (ГОСТ 23258–78.), графитовой смазки УССА (ГОСТ 3333–80). За период применения разработки отказов смазываемых узлов не наблюдалось. Опорные катки комбайнов без отказов отработали уборочный сезон с разработанной смазкой «Металл Плюс». Отмечалось образование на смазываемых узлах защитного медьсодержащего покрытия красноватого цвета.

Полученные результаты указывают на возможность эффективного проведения безразборного восстановления работоспособности подшипников качения в процессе непрерывной эксплуатации техники за счет применения ремонтно-восстановительных металлоплакирующих пластичных смазок (рисунок 6).

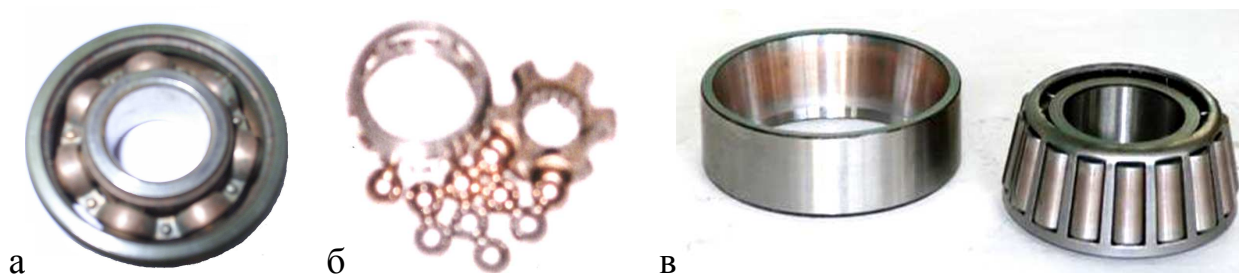


Рисунок 6 – Детали сельскохозяйственной техники, восстановленные ремонтно-восстановительной смазкой «Металл Плюс»:

а – шариковый подшипник качения; б – шарнир равных угловых скоростей (ШРУС); в – роликовый упорный подшипник качения

В пятой главе *«Внедрение и экономическая оценка результатов исследований»* выполнен расчет экономического эффекта разработанной технологии безразборного восстановления работоспособности подшипника качения и приводятся результаты апробации выполненной работы.

Результаты исследований использованы в ООО «Автохимия–Инвест» при производстве опытной партии ремонтно-восстановительной смазки «Металл Плюс» (ТУ 4366.03.03049297–2011). Проведены приемочные испытания и внедрение разработанной смазки при обслуживании и восстановлении подшипниковых узлов автомобильного транспорта на машинно-тракторной станции РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, а также рисозерноуборочных комбайнов в ЗАО «Деметра» Приморского края.

Для опытного внедрения в диссертации разработаны технические условия на ремонтно-восстановительную смазку «Металл Плюс» (ТУ 4366.03.03049297–2011), и инструкция по ее применению для восстановления работоспособности подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники.

Физико-химические свойства металлоплакирующей пластичной смазки «Металл Плюс» представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-химические показатели металлоплакирующей пластичной смазки «Металл Плюс» (ТУ 4366.03.03049297–2011)

Показатель	Норма
1. Внешний вид	Однородная мазь коричневатого цвета
2. Эффективная вязкость при 0 °С и среднем градиенте скорости деформации 10 ⁻¹ , Па, не более	1500...4000
3. Температура каплепадения °С, не ниже	75...90
4. Предел прочности на сдвиг при 50 °С, Па	200...500
5. Коллоидная стабильность, % выделившегося масла в объеме, не более	0,5...4,0
6. Испытание коррозионного действия	Выдерживает
7. Содержание свободных щелочей в пересчете на NaOH, %, не более	0,2
8. Содержание свободных органических кислот, %, не более	1,0
9. Содержание металлического компонента, %, не более	5...7
10. Массовая доля воды, %, не более	0,3
11. Индекс разрушения Кр	85
12. Индекс токсотропного восстановления Кв через 24 ч	500
13. Пенетрация при 25 °С с перемешиванием (60 тактов), мл/100, не менее	250...350

Смазка «Металл Плюс» готовится посредством добавления к базовой основе необходимых дополнительных компонентов, указанных в заявке на изобретение, в количестве до 10 % вес., а затем тщательно перемешивается перед их введением в зону трения или упаковки в тару.

Общий годовой экономический эффект от внедрения предложенной технологии составил 471,39 р. на один подшипниковый узел (в ценах на 01.01.2012 г.) без учета повышения износостойкости основных трущихся соединений силового агрегата.

Общие выводы

1. На основании литературно-патентного анализа разработана классификация ремонтно-восстановительных пластичных смазочных материалов для сельскохозяйственной техники, в основу которой положен химический состав применяемых добавок, механизм их защитного (антифрикционного и противоизносного), а также восстановительного действия на подвижные соединения деталей.

2. В работе теоретически обосновано и экспериментально подтверждено условие реализации процесса безразборного восстановления трущихся соединений

методом металлоплакирования (условие нанесения покрытия), описываемое коэффициентом степени деформации в зоне контакта (выражение 1).

3. На основании теоретических исследований с участием автора разработана восстановительная добавка к пластичным смазочным материалам (патент 2432386. Бюл. № 30. 2011) и ремонтно-восстановительной присадка к смазочным материалам (патент 2432386. Бюл. № 30, 2011 г.).

4. В результате трибологических испытаний установлено, что применение металлоплакирующих смазок обеспечивает снижение износа образцов по сравнению с базовой смазкой Литол–24 в среднем с 3,5 мг до значений 1,5 – 0,2 мг, что составляет от 2,1 до 16 раз. При испытаниях образцов на смазке с разработанной добавкой («Металл Плюс») отмечено увеличение веса образцов в среднем на 0,1 мг.

5. На основании физико-химических исследований установлено, что разработанная добавка (патент 2432386) обеспечивает образование на поверхностях трения композиционного медно-оловянисто-никелевого покрытия, толщиной около 1,0 мкм и диффузионной зоны толщиной до 12,5 мкм, за счет чего обеспечивается частичное восстановление и повышение износостойкости восстановленных трущихся поверхностей.

6. Стендовые испытания и визуальный осмотр внешнего и внутреннего колец подшипников и тел качения после применения смазки-восстановителя «Металл Плюс» выявил наличие на них сплошного медного покрытия. Общее восстановление зазоров подшипника составило 10 мкм, что в среднем обеспечивает образование на каждой из 8 поверхностей роликов и поверхностей колец восстанавливающего слоя толщиной около 1,25 мкм.

7. Для опытного внедрения в диссертации разработаны технические условия на ремонтно-восстановительную смазку «Металл Плюс» (ТУ 4366.03.03049297–2011), предназначенную для восстановления работоспособности подшипниковых узлов сельскохозяйственной техники, и инструкция по ее применению.

8. Результаты исследований использованы в ООО «Автохимия-Инвест» при производстве опытной партии ремонтно-восстановительной смазки «Металл Плюс». Проведены приемочные испытания и внедрение разработанной смазки при обслуживании и восстановлении подшипниковых узлов автомобильного транспорта на машинно-тракторной станции РГАУ–МСХА им. К.А. Тимирязева, а также рисозерноуборочных комбайнов в ЗАО «Деметра» Приморского края. Общий годовой экономический эффект от внедрения предложенной технологии составил 471,39 р. на один подшипниковый узел (в ценах на 01.01.2012 г.).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Балабанов, В.И. Восстановление подшипников опорных катков гусеничного движителя с использованием добавки к пластичной смазке [Текст] / В.И. Балабанов, С.А. Ищенко, В.В. Лехтер, И.В. Борзых // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. Агроинженерия. – Вып. 1. – 2010. – С. 87–88. (0,25 п.л. / 0,063 п.л.).

2. Балабанов, В.И. Оценка восстановительного эффекта металлоплакирующей добавки к смазочным материалам [Текст] / В.И. Балабанов, С.А. Ищенко, В.В. Лехтер, И.В. Борзых // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – № 9, – 2010. – С. 29–30. (0,25 п.л. / 0,063 п.л.).

3. Балабанов, В.И. Нанотехнологические препараты для безразборного сервиса техники [Текст] / В.И. Балабанов, Е.В. Быкова, В.В. Лехтер, П.А. Цыпцын // Труды ГОСНИТИ, – 2011; Т. 107, – Кн. 2. – С. 14–16. (0,19 п.л. / 0,047 п.л.).

В других изданиях:

4. *Inshakov, S.V. Change of transmission lubrication properties due to introduction of the metal plated additives* [Текст] / S.V. Inshakov, V.I. Balabanov, S.A. Ishchenko, V.V. Lehter // 8-th International symposium *INSYCONT-2010 «Energy and environmental aspects of tribology. Poland, Cracow, 2010.* – С. 18–21. (0,25 п.л. / 0,063 п.л.).

5. Балабанов, В.И. Нанотехнологические препараты автохимии для безразборного сервиса автомобиля [Текст] / В.И. Балабанов, В.Ю. Болгов, В.В. Лехтер // Нанотехнологии, экология, производство, 2009. – № 2. – С. 18–21. (0,50 п.л. / 0,17 п.л.).

6. Балабанов, В.И. Нанотехнологические препараты автохимии для автотракторных двигателей [Текст] / В.И. Балабанов, Е.В. Быкова, В.В. Лехтер // Доклады РГАУ–МСХА. – М.: РГАУ–МСХА, – 2010. – С. 438–441. (0,25 п.л. / 0,08 п.л.).

7. Балабанов, В.И. Нанотехнологическая автохимия для безразборного сервиса автотракторной техники: тезисы докладов [Текст] / В.И. Балабанов, Е.В. Быкова, В.Ю. Болгов, В.В. Лехтер // Первая Международная конференция «Образование в сфере нанотехнологий: современные подходы и перспективы»,– М.: РНЦ «Курчатовский институт»,– 2010. – С. 109. (0,07 п.л. / 0,0175 п.л.).

8. Балабанов, В.И. Исследование и разработка нанотехнологий безразборного восстановления трущихся поверхностей деталей [Текст] / В.И. Балабанов, В.В. Лехтер // Тезисы докладов VII Национальной конференции «Рентгеновское, синхротронное излучения, нейтроны и электроны для исследования наносистем и материалов Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии». – М.: Институт кристаллографии, – 2009. – С.156. (0,07 п.л. / 0,035 п.л.).

9. Патент 2432386. Металлоплакирующая восстановительная добавка к пластичным смазочным материалам / В.И. Балабанов, В.Ю. Болгов, С.А. Ищенко, В.В. Лехтер. Бюл. № 30. от 27.10. 2011 г. заявка № 2009145822 от 11.12.2009 г.

10. Патент 2439133. Ремонтно-восстановительная присадка к смазочным материалам / Балабанов В.И., Болгов В.Ю., Быкова Е.В., Быков К.В., Лехтер В.В. / Бюл. № 01. от 10.01.2012 г. заявка № 2010129498 от 19.07.2010 г.