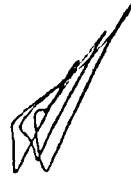




00346553 1

На правах рукописи



ПЕРЕПЕЛИЦЫН МАКСИМ ГЕОРГИЕВИЧ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕМОНТНО-
ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ НА ПОВЕРХНОСТИ
ТРЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ КУЛАЧКОВЫХ МЕХАНИЗМОВ
АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.**

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства
технического обслуживания в сельском хозяйстве

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

20 МАР 2009

Новосибирск 2009

Работа выполнена в ФГОУ ВПО «Омский государственный аграрный университет».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Корнилович Станислав Антонович

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Немцев Анатолий Егорович

кандидат технических наук, профессор
Коноводов Виталий Васильевич

Ведущая организация: ФГОУ ВПО «Алтайский государственный аграрный университет»

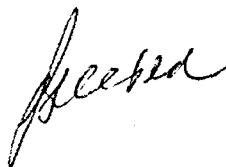
Защита состоится 23 апреля 2009 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета ДМ 006.059.01 при ГНУ «Сибирский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства «Сибирского отделения Российской академии наук» в ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет» по адресу: 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160.

Отзывы на автореферат просим направлять в адрес диссертационного совета: 630501, Новосибирская область, Новосибирский район, пгт. Краснообск, а/я 460.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ СибИМЭ СО Россельхозакадемии.

Автореферат разослан 20 марта 2009 г. и размещён на официальном сайте ГНУ СибИМЭ СО Россельхозакадемии <http://www.sibime.sorashn.ru/>.

Ученый секретарь
диссертационного совета



В.С. Нестяк

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Поршневые двигатели внутреннего сгорания широко применяются в сельском хозяйстве. По данным ЦМИС двигатели сельскохозяйственных и транспортных машин наиболее уязвимы к износу. За наработку 3 тыс. моточасов предельное состояние наступает у 34,4% двигателей, это наибольший процент среди других агрегатов.

Существующие в ремонтной практике традиционные технологии восстановления деталей машин на основе наращивания поверхностей трения с нагревом, вызывающим нежелательные структурные и геометрические изменения металла, остаточные напряжения и деформации, требующие дополнительных технологических операций, связанных с их устранением, нельзя отнести к эффективным, они энергоёмкие и трудоёмкие. На этих операциях используется дорогое металлорежущее оборудование и занято много станочников. Около 45% наращенного металла во время обработки превращается в стружку. Применение таких технологий, как правило, возможно, только при централизованном восстановлении. Также эти методы ремонта связаны с разборкой, мойкой, дефектовкой, сборкой и обкаткой, что образует значительные затраты труда и средств в доле себестоимости восстановления деталей. В настоящее время в большинстве ремонтных мастерских сельскохозяйственных предприятий отсутствует необходимое оборудование, и ремонт проводится заменой изношенных деталей на запасные части, которые имеют чрезвычайно высокую цену и, как правило, низкое качество.

Сокращение затрат труда и средств на современном этапе науки было бы возможно применением безразборной технологии восстановления подвижных соединений на основе триботехнологии ремонтно-восстановительных составов (РВС), но их использование не получило широкого распространения из-за недостаточной изученности закономерностей воздействия на поверхности трения. В связи с этим исследование и апробация новых энерго- ресурсосберегающих технологий безразборного восстановления поверхностей трения является актуальным и имеет большое научно-практическое значение.

Работа выполнена в соответствии с планом НИР кафедры «Технологии машиностроения и технического сервиса» ФГОУ ВПО «Омский государственный аграрный университет» в рамках государственной темы № 01.0.40002128 «Методология обеспечения надёжности с.-х. техники в период её эксплуатации путём управления качеством технологического процесса восстановления деталей и соединений» и договором №27 от 17.03.2005г. на выполнение научно-исследовательской работы с Министерством сельского хозяйства и продовольствия Омской области по теме: «Исследовать и разработать технологию безразборного восстановления трущихся поверхностей деталей сельскохозяйственных машин в процессе их работы путем применения ремонтно-восстановительных составов».

Цель исследования. Повышение ресурса профильных поверхностей кулачкового вала без разборки механизма в процессе штатной эксплуатации путём применения ремонтно-восстановительных составов.

Объект исследования. Процесс снижения интенсивности изнашивания профильных поверхностей кулачкового вала при использовании РВС.

Предмет исследования. Закономерности образования и изнашивания металлокерамического покрытия на профильных поверхностях кулачкового вала от применения РВС в зависимости от действия различных факторов, интенсифицирующих процесс.

Научная новизна:

- разработана методика определения фактического воздействия ремонтно-восстановительного состава на поверхности трения, по которой выявлено образующееся на них покрытие;
- разработана методика определения площади и толщины образующегося металлокерамического покрытия на поверхностях трения;
- разработана методика и приспособление к МИМ-7 для микроскопического исследования профильных поверхностей кулачковых валов ТНВД марок 4ТН9х10 и УТН-5 с сохранением значений координат исследуемых точек при демонтаже;
- выявлены закономерности образования защитного металлокерамического покрытия в зависимости от скорости скольжения и величины нагрузки, действующей на сопряжение кулачок – ролик толкателя;
- установлена цикличность образования и изнашивания МКП, приводящая к снижению интенсивности изнашивания

На защиту выносятся:

- методика определения воздействия ремонтно-восстановительных составов на поверхности трения;
- зависимости площади и толщины образующегося металлокерамического покрытия на профильных поверхностях кулачкового вала от скорости скольжения и величины нагрузки действующей на сопряжение кулачок – ролик толкателя.

Практическая значимость. Применение ремонтно-восстановительного состава в различных кулачковых механизмах ДВС позволяет увеличить их ресурс путём снижения интенсивности изнашивания за счет циклического модифицирования поверхностей трения в локальных взаимодействующих зонах и улучшить технико-экономические показатели автотракторных двигателей.

Реализация работы.

Результаты проведенных исследований и разработанный технологический процесс обработки кулачковых механизмов автотракторных двигателей РВС внедрены на предприятиях Омской области: ЗАО «Дружба»; СПК «Пушкинское»; ООО «ЛиваАгроИнвест»; Учхоз ФГОУ ВПО «ОмГАУ». Изучение РВС технологии, а так же механизм образования и изнашивания металлокерамического покрытия внедрены в учебный процесс института технического сервиса в АПК ФГОУ ВПО ОмГАУ. Разработаны и утверждены рекомендации по применению РВС для Министерства сельского хозяйства и продовольствия Омской области.

Апробация работы. Основные положения отдельных вопросов и результаты работы докладывались на: научных конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов ФГОУ ВПО ОмГАУ (г.Омск, 2004–2009 гг.); международной научно-практической конференции «Прогрессивная технология восстановления изношенных деталей машин гальваническими сплавами и перспективные технологии, и средства технического обслуживания машин в сельском хозяйстве» (г.Иркутск, 2005 г.); III международном технологическом конгрессе «Военная техника, вооружение и технологии двойного применения»

(г.Омск, 2005 г.); научно-технической конференции «Совершенствование технологий, машин и оборудования в АПК» (г.Омск, 2005 г.); международной научно-технической конференции «Перспективные технологии и техническое обеспечение АПК» (г.Новосибирск, 2006 г.); научно-техническом совете Министерства сельского хозяйства и продовольствия Омской области (г.Омск, 2006г.); научно-техническом совете ФГОУ ВПО ОмГАУ (г.Омск, 2008г.); международной научно-практической конференции «Машинно-технологическое, энергетическое и сервисное обеспечение сельхозтоваропроизводителей Сибири» (г.Новосибирск, 2008г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, в том числе 3 в изданиях рецензируемых ВАК, свидетельство о регистрации интеллектуального продукта.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем составляют 177 страниц основного текста, 61 рисунок, 3 таблицы, 22 приложения. Библиографический список включает 182 источника, в том числе 2 на иностранном языке, 15 интернет ссылок, 5 отчетов НИР.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность выполненной работы, дана ее краткая характеристика, сформулирована цель исследования, научная новизна, практическая ценность и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведён анализ работ по изучению процесса взаимодействия контактирующих поверхностей и их изнашивания применительно к кулачковым механизмам двигателей внутреннего сгорания. Охарактеризованы основные виды изнашивания профиля кулачка, а также их влияние на технико-экономические показатели двигателя в целом. Дан анализ существующих традиционных способов восстановления, анализ безразборных методов восстановления в процессе эксплуатации механизма, и проблемы их применения.

Взаимодействие поверхностей представляет собой сложный недостаточно изученный процесс. Основные теории и классификации взаимодействия и изнашивания представлены в работах Ф.П. Боудена, Д.Н. Гаркунова, А.Д. Дубинина, Б.И. Костецкого, И.В. Крагельского, Ю.К. Машкова, Д. Тейбора, М.М. Хрущова, Е.М. Швецовой, А.В. Чичинадзе. Исследованием изнашивания сопряжения кулачок-толкатель занимались Е.И. Воробьев, Ю.В. Воробьев, Ю.Н. Дроздов.

Восстановлению поверхностей трения деталей машин традиционными методами посвящены работы С.А. Корниловича, Н.Н. Литовченко, В.П. Ляпкина, А.И. Селиванова, И.Е. Ульмана, В.И. Черноиванова, исследованиям в области безразборного восстановления посвящены работы В.И. Балабанова, Д.Н. Гаркунова, А.В. Дунаева, В.Н. Дураджи, А.К. Ольховацкого, С.П. Хазова, А.Ю. Шабанова и других авторов.

Проблемой ремонтного производства в сельском хозяйстве в современных условиях является повышение качества и эффективности технологического процесса восстановления при снижении себестоимости восстановленной детали. Как

показал проведённый анализ литературных источников восстановление пар трения традиционными методами энерго- и ресурсозатратно. По сравнению с ними использование РВС имеет ряд весьма существенных преимуществ, но их применение не получило широкого распространения, т. к. вызывает настороженность у большинства потребителей. Это связано с малым количеством экспериментальных исследований воздействия РВС на трибосопрежения и механизмы в целом, а существующая в печати информация о РВС весьма скудна и, в основном, носит рекламный характер. Механизм образования металлокерамического покрытия (МКП) на поверхности трения, предоставляемый производителями РВС, при глубоком анализе зачастую вступает в противоречия между собой. Практически во всех исследовательских работах оценить воздействие РВС на поверхности трения ДВС пытаются косвенными методами: измерением компрессии, давления масла, расхода топлива и т.д., но фактически образующееся МКП нигде не измерено.

На основе проведенного анализа исследуемого вопроса выдвинута **рабочая гипотеза**: применение ремонтно-восстановительных составов в процессе эксплуатации механизмов автотракторных двигателей позволит увеличить их ресурс и повысить технико-экономические характеристики двигателя.

Для реализации цели исследования необходимо решить следующие задачи:

- изучить закономерности взаимодействия трущихся поверхностей в присутствии РВС и выявить основные факторы, влияющие на геометрические характеристики образующегося металлокерамического покрытия;
- разработать и апробировать методику, позволяющую непосредственно контролировать образованное металлокерамическое покрытие на поверхностях трения;
- выявить закономерности образования и изнашивания металлокерамического покрытия на поверхности трения;
- определить экономическую эффективность от применения ремонтно-восстановительных составов.

Во второй главе изложены результаты теоретического анализа процессов, происходящих в зонах фактического контакта (взаимодействия) пар трения в присутствии частиц ремонтно-восстановительного состава. На основе проведённого анализа смоделирован механизм протекания процесса образования и изнашивания металлокерамического покрытия (МКП), выявлены основные факторы, влияющие на его геометрические характеристики.

В локальных зонах контактирования при достаточном сближении поверхностей (рис. 1, а) выделяется энергия от трения, сопровождаемая повышением температуры до больших значений в короткий промежуток времени, часть этой энергии, при определённых условиях, может быть затрачено на подстройку атомов кристаллической решетки. Тепловая энергия оказывает большое каталитическое воздействие на частицы РВС, приводящее к их активации. Температура – важнейший параметр адгезионных процессов и их интенсивности.

При введении РВС в зону фрикционного контакта за счет взаимодействия поверхностей трения происходит его дальнейшее измельчение. Первоначально составы имеют дисперсию 1...50 мкм.

Если в зоне контакта выделяемую энергию обозначить ΔW , а размер частицы, находящейся в этой зоне Δd , то при соотношении $\Delta W \geq \Delta d$ реакция замеще-

ния пройдет, а при $\Delta W < \Delta d$ реакции не будет, т. е. существует зависимость между количеством энергии и размером частицы РВС, необходимая для протекания реакции.

В процессе измельчения частиц РВС, когда количество выделяемой энергии в локальной зоне фактического контакта будет соизмеримо с размером измельченных частиц РВС, также находящихся в этой зоне, произойдет реакция замещения, в результате которой в этой же локальной зоне сформируется МКП. Т. к. в процессе взаимодействия участвуют две поверхности, то и МКП образуется на обеих поверхностях (рис. 1, б).

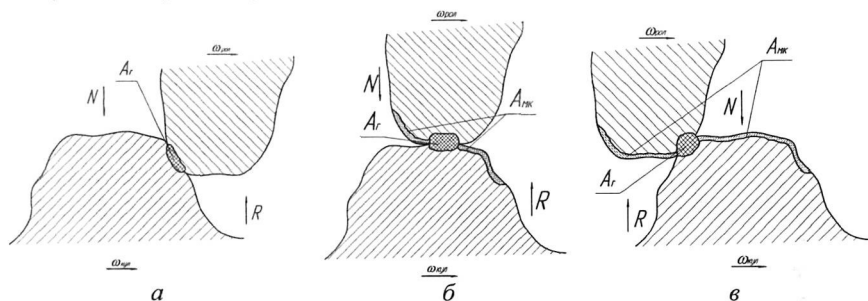


Рис. 1. Стадии формирования МКП на единичных выступах двух взаимодействующих поверхностей: а – начало взаимодействия; б – формирование МКП; в – сформированное МКП; N – нагрузка; R – реакция; A_r – зона фактического контакта; A_{mk} – площадь образованного МКП; $\omega_{кул}$ и $\omega_{рол}$ – соответственно угловые скорости кулачка и ролика толкателя

Очевидно, что толщина МКП будет определяться размером (количеством) прореагировавшей частицы РВС с двумя сопряжёнными поверхностями на пятне фактического контакта. Чем в более «жестких» условиях работает контакт, тем большее количество энергии будет находиться на поверхности, а, соответственно, и толщина МКП будет больше, так как в единицу времени большее количество частиц РВС прореагирует. Так же величина энергии, преобразованная в тепло, в виде температурной волны, будет проникать на большую глубину поверхностного слоя, а, соответственно, и молекулы РВС.

Саморегуляция процесса или, точнее называть, прекращение, обусловлено следующими явлениями. Реакция замещения происходит в очень короткий промежуток времени, очевидно, сравнимый со временем выделения энергии или температурной вспышкой в зоне фактического контакта. В результате прохождения реакции замещения на двух взаимодействующих точках единичных выступов контактирующих поверхностей, образуется МКП, трение металл – металл в данной точке заменяется парой трения керамика – керамика, что резко приводит к снижению выделяемой энергии в этой точке. При последующем контактировании этих же двух точек количества выделяемой энергии будет недостаточно для протекания реакции замещения, и процесс остановится.

Как уже отмечалось, толщина МКП будет зависеть от соотношения количества выделенной энергии и размером частицы РВС. Если размер частиц РВС, вводимых в сопряжение 1 – 50 мкм, то толщина МКП должна быть ещё меньше.

Очевидно, что образованный тонкий керамический слой не сможет долго сохраняться на поверхности трения и, в конечном итоге, износится. В результате изнашивания МКП пара трения керамика – керамика вновь становится парой металл – металл и выделяемая энергия на взаимодействующих поверхностях возрастет. Если в этот момент частицы РВС так же будут находиться в зоне трения, то в этих локальных точках произойдет повторная реакция замещения с образованием МКП.

На рис. 1 показан идеальный случай формирования МКП. На самом деле у сопряженных поверхностей контактирует множество микровыступов, взаимодействие которых обусловлено наибольшей суммой высот выступов первой поверхности и противоположных выступов второй поверхности, поэтому МКП на поверхности единичного выступа не будет сплошным. Его площадь будет увеличиваться по мере вхождения последующего выступа в контакт с сопряженной поверхностью. В итоге с возрастанием количества циклов взаимодействия (нагружения) поверхностей объединяя зоны локального образования МКП в общие зоны со значительно большей площадью покрытия.

Как отмечалось ранее, выделяющаяся на контакте тепловая энергия оказывает каталитическое воздействие на частицы РВС, приводящее к их активации.

В трущихся телах возникают две температурные области (зоны): область микрообъемов поверхностного слоя, где происходит распространение температурных волн определенной амплитуды и частоты, а, следовательно, при всех режимах трения возникает колебание температур и область, где при стационарном режиме температура остаётся неизменной. Предельная температура на поверхности трения определяется как сумма температурной вспышки, возникающей при трении на фактическом пятне касания ($\theta_{вс}$), плюс температура от равномерно распределенного по всей номинальной площади детали теплового потока (θ_a):

$$\theta_{np} = \theta_a + \theta_{вс} . \quad (1)$$

При установившемся режиме эксплуатации объемная температура деталей механизмов автотракторных двигателей создается от теплоты выделяемой ДВС в целом и поддерживается системой охлаждения около 100°С. Как показывают расчеты, проведенные различными учеными, предельная температура на скользящем контакте в субмикроскопических частицах может доходить до 50000 °С, поэтому изменение объемной температуры, практически ни какого влияния на предельную оказывать не будет.

Уравнение для определения максимальной температуры по Фазекасу в центре источника имеет следующий вид:

$$\theta_{вс} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \times \frac{q}{\sqrt{v}} \times \frac{1}{\sqrt{\lambda c \rho}} \times \frac{\sqrt{\beta d}}{q_r / H} , \quad (2)$$

где v - скорость относительного скольжения;

λ - коэффициент теплопроводности;

c - удельная теплоёмкость;

ρ - плотность материала;

β - константа, значение которой колеблется от 2 до 6;

d - диаметр пятна касания;

q_r - фактическое давление;
 H - твердость наиболее мягкого элемента.

В уравнении (2) второй множитель определяется величиной работы и размерами контакта, третий член зависит от материала пар трения, четвертый от микрогеометрии и механических свойств фрикционного материала.

Величина интенсивности единичного теплового источника в зоне фактического контакта определяется по формуле Х. Блока:

$$q = \frac{fNv}{AJ}, \quad (3)$$

где f - коэффициент трения;
 N - нагрузка единичного пятна контакта;
 A - площадь единичного пятна контакта;
 J - механический эквивалент теплоты.

Анализируя приведенные зависимости можно сделать вывод: при постоянстве материалов и геометрических характеристик контакта на интенсивность единичного теплового источника и предельную температуру на поверхности трения наибольшее влияние оказывает скорость скольжения.

Как известно из трибологии, с увеличением номинального давления за счет пластической деформации возрастает число площадок фактического контакта, поэтому по формуле В.М. Хохлова увеличение номинального давления не оказывает влияние на изменение нагрузки единичного пятна контакта, а зависит только от материала пары трения:

$$q_r = 2,08008 \cdot \sigma_T, \quad (4)$$

где σ_T - предел текучести.

Таким образом, толщина образованного МКП будет зависеть от относительной скорости перемещения взаимодействующих поверхностей, а площадь этого покрытия будет зависеть от номинального давления, т. к. с его увеличением количество площадок фактического контакта возрастает.

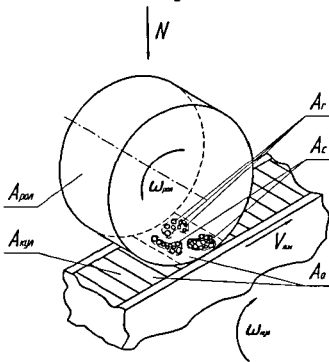


Рис. 2. Моделирование взаимодействия поверхностей сопряжения кулачковый вал – ролик толкателя

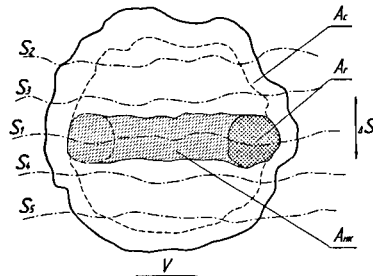


Рис. 3. Изменение зоны фактического контакта и образования МКП (вид сверху на зону контакта): ΔS – подвижный зазор оси ролика толкателя и подшипников кулачкового вала; S_1, S_2, S_3, S_4, S_5 – оси перемещения фактического пятна контакта и смещения зазора; A_c – контурная площадь контакта

Экспериментальные исследования рационально провести на профильных поверхностях кулачковых валов, эксцентричная форма которых обеспечивает изменение контактной нагрузки и линейной скорости множество раз за один оборот, что позволяет изучить механизм образования и изнашивания МКП при минимальном количестве экспериментов.

У сопряжения кулачковый вал – ролик толкателя в динамике взаимодействие поверхностей происходит весьма сложным образом. Это обусловлено особенностью контакта кинематической пары. Как видно на рис. 2, зона номинального контакта поверхностей кулачка и ролика толкателя образована вследствие деформирования, внутри неё находятся зоны контурной и фактической площади контакта. Путь, пройденный этими зонами за один оборот ролика толкателя, не будет соответствовать пути, пройденному этими же зонами за один оборот кулачка. Поэтому в одной и той же точке на поверхности ролика, через один оборот размеры и расположения зон фактического и контурного контакта изменятся. Так же влияние на изменение этих зон будет оказывать проскальзывание ролика толкателя относительно поверхности кулачка и осевое перемещение ролика вдоль кулачка, вследствие зазоров (рис. 3).

В третьей главе дано описание разработанной экспериментальной установки, изложена методика экспериментальных исследований, применяемая измерительная аппаратура и оборудование.

Экспериментальные исследования воздействия РВС на поверхности трения проводились в четыре этапа:

- определение фактического воздействия РВС на поверхности трения и на его основе разработка методики исследования геометрических характеристик образующегося покрытия;
- исследование площади образованного МКП на профильных поверхностях кулачкового вала с течением времени при изменении контактной нагрузки и скорости качения;
- исследование толщины образованного МКП на профильных поверхностях кулачкового вала при изменении контактной нагрузки и скорости качения;
- определение изменения концентрации продуктов износа в масляной ванне во время наработки без РВС и с введённым РВС при проведении стендовых и эксплуатационных испытаний.

Для исследования воздействия РВС на поверхности трения была разработана экспериментальная установка (рис. 4), в основе которой использован корпус ТНВД 4ТН 9х10, в качестве привода использован стенд КИ-921М (СТДА-2), в качестве объекта исследования выбран кулачковый вал ТНВД 4ТН9х10. Сжимающее усилие на профильных поверхностях кулачкового вала создаётся нагрузочными пружинами, настроенными, исходя из анализа усилий в реальных кулачковых механизмах с 50% перекрытием относительно друг друга. Объёмная температура поддерживается при помощи нагревательного элемента с терморегулятором.

Исследование площади образующегося МКП на профильных поверхностях кулачкового вала проводилось по разработанной методике на микроскопе МИМ-7, к которому было изготовлено приспособление, позволяющее координировать

кулачковый вал в пространстве с сохранением значений координат при его демонтаже. Шаг линейного перемещения профиля кулачка относительно объектива микроскопа, соответствующего зоне изменения сжимающего усилия и скорости качения, был принят 1 мм, шаг углового перемещения профиля кулачка относительно объектива микроскопа в зонах с постоянным сжимающим усилием и скоростью качения принят 15° . В итоге на профильных поверхностях кулачкового вала экспериментальной установки находится 212 исследуемых точек, из которых 134 с изменяющимися значениями сжимающего усилия и скорости качения и 78 с постоянными.

Расчет скорости качения и усилия, создаваемого в исследуемых точках на поверхности профиля кулачка, проводился способом геометрического построения и измерения при помощи контактного моделирования для каждой исследуемой точки в чертежно-конструкторском редакторе КОМПАС-ГРАФИК. Изменение линейной скорости на поверхности профилей кулачкового вала находилось в пределах 1,42 – 2,31 м/с, нагрузки 35 – 464 Н.

При исследовании площади МКП наработка кулачкового вала на экспериментальной установке в присутствии частиц РВС составила 120 ч. Через каждые 20 ч наработки экспериментальная установка разбиралась, и все исследуемые точки на поверхности профиля кулачка фотографировались при увеличении в 500х для дальнейшей обработки и анализа.

Исследование толщины образующегося МКП на профильных поверхностях кулачкового вала проводилось по разработанной методике на микроскопе МИМ-7, по микрошлифам, изготовленным из торцевых срезов кулачков, в зонах с постоянной скоростью качения. Отпиленные части кулачка заливались эпоксидной смолой и, после высыхания, обрабатывались на шлифовальной машине. Все исследуемые на срезах точки фотографировались при увеличении в 650х для дальнейшей обработки и анализа. При исследовании толщины МКП наработка для каждого из 4 кулачковых валов в присутствии частиц РВС составила

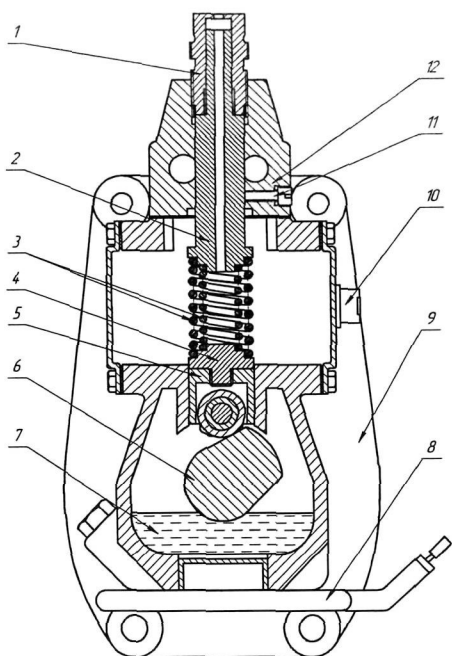


Рис. 4. Схема экспериментальной установки: 1 – регулировочная гайка; 2 – верхняя опора; 3 – нагрузочная пружина; 4 – нижняя опора; 5 – роликовый толкатель; 6 – кулачковый вал; 7 – масляная ванна с РВС препаратом; 8 – нагревательный элемент; 9 – корпус; 10 – термометр; 11 – стопорный винт; 12 – крышка

60 ч. Изменение линейной скорости на поверхности профилей кулачкового вала находилось в пределах 0,92 – 2,71 м/с, нагрузки 35 – 464 Н.

Расчет площади и толщины МКП проводился по фотографиям в чертежно-конструкторском редакторе КОМПАС-ГРАФИК путем наложения линий, ограничивающих изображение и соотношения с действительным размером участка видимого в окуляр микроскопа, измеренного объект. микрометром при данном увеличении.

Травление образцов при микроскопическом исследовании проводилось 2% раствором азотной кислоты в этиловом спирте.

Исследование изменения концентрации продуктов износа в масляной ванне при наработке без РВС и с введенным РВС проводилось в лабораторных условиях, на экспериментальной установке и при проведении эксплуатационных испытаний. Целью этого исследования было установить изменение интенсивности изнашивания поверхностей трения при наработке без РВС и с введенным РВС.

Для определения изменения концентрации продуктов износа в масляной ванне после введения РВС на экспериментальной установке работало 2 кулачковых вала: 1 – без РВС; 2 – с РВС. Время наработки для каждого кулачкового вала составляло 120 ч. Отбор проб проводился через 20 ч наработки.

Эксплуатационные испытания проводились в хозяйствах Омской области на 7 ТНВД с наибольшим сроком наработки 800 моточасов.

Измерение концентрации продуктов износа в отобранных пробах проведено при помощи спектрального анализа по стандартной методике с использованием фотоэлектрической установки МФС-7.

В четвертой главе приведены результаты экспериментальных исследований.

Проведённые исследования показали: МКП невозможно измерить микрометрическими способами. Исходя из предположения, что керамика не вступает в реакцию с кислотой, был разработан способ микроскопического исследования МКП на профиле кулачка путем выявления непротравленных зон (рис. 5).

Площадь образованного покрытия в одной и той же исследуемой на поверхности профиля кулачка точке с течением времени наработки непостоянна, она изменяется в больших пределах, а в некоторых исследуемых временных интервалах вообще отсутствует. Это позволяет сделать вывод о цикличности протекания процесса образования МКП и подтверждает гипотезу, что составы образуют на поверхности тонкое покрытие, чередуясь стадиями образования и изнашивания этого покрытия.

Как видно на рис. 5, б в момент начала образования площадь МКП состоит из множества локальных площадок, имеет незначительную величину и размытые границы. По мере увеличения количества циклов взаимодействия (нагружения) локальные площадки начинают объединяться между собой, создавая площадки больших размеров (рис. 5, в), в итоге увеличивая общую площадь образованного МКП. Со временем наступает момент, когда все контактирующие зоны покрываются слоем металлокерамики, процесс образования прекращается и начинается процесс изнашивания образованного слоя (рис. 5, г).

В рамках исследуемых временных интервалов наиболее сформированное МКП было образовано после 60 ч наработки установки или 3 060 000 циклов

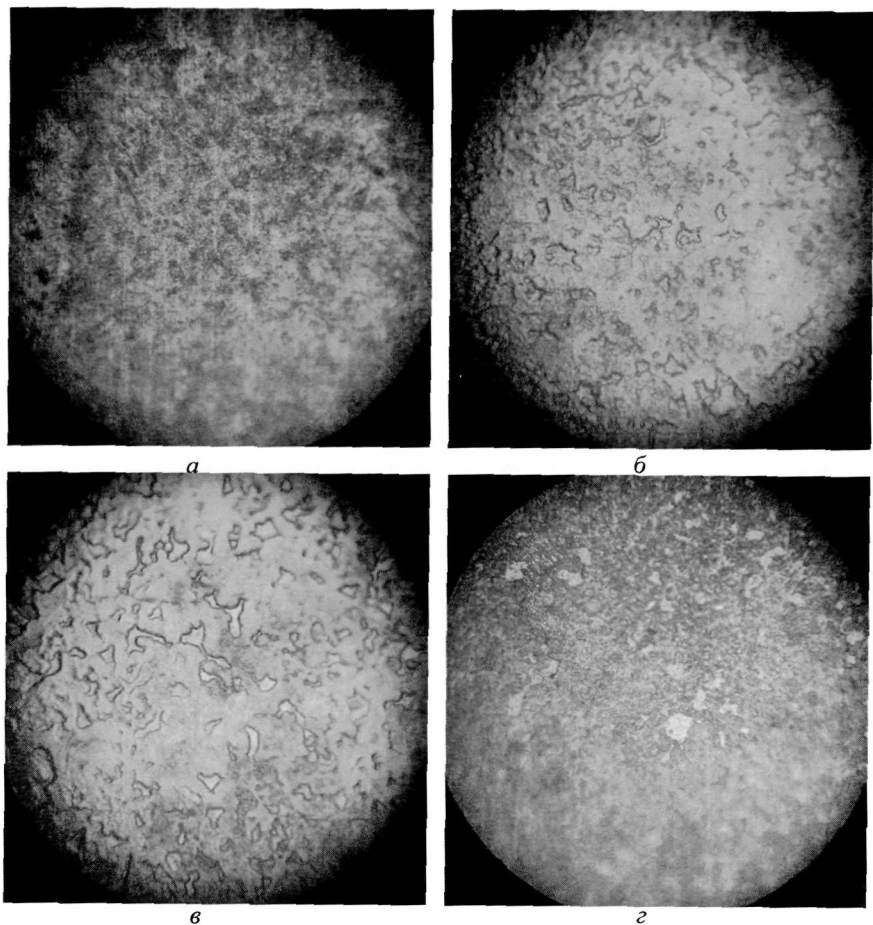


Рис. 5. Динамика образования и изнашивания МКП (увеличение 500X): а – структура металла без ПВС; б – стадия формирования покрытия; в – сформированное покрытие; г – стадия изнашивания покрытия

взаимодействия исследуемых точек на профиле кулачка с роликом толкателя, менее сформированное после 80 ч или 4 080 000 циклов взаимодействия. После 20 ч наработки (1 020 000 циклов взаимодействия) МКП отсутствовало во всех точках на поверхности кулачков. В разрезе 40, 100 и 120 ч наработки (2 040 000, 5 100 000 и 6 120 000 циклов взаимодействия соответственно) поверхностный слой находился либо в стадии начала формирования покрытия, лишь в некоторых точках объединившись в более крупные, либо в стадии изнашивания.

Площадь образованного МКП рассчитывалась после 60 и 80 ч наработки экспериментальной установки с введенным ремонтно-восстановительным составом. В этих временных интервалах покрытие было наиболее сформированным, имело максимальную площадь и четко различимые границы. Расчет площади МКП во

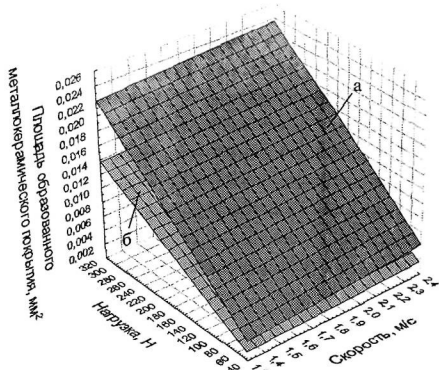


Рис. 6. Зависимость площади образованного МКП на поверхности профиля кулачка от сжимающего усилия и скорости качения: а – после 60 ч наработки; б – после 80 ч наработки

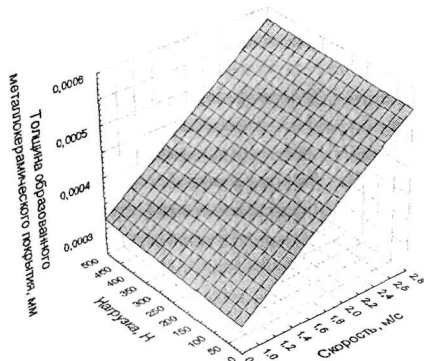


Рис. 7. Зависимость толщины образованного МКП на поверхности профиля кулачка от сжимающего усилия и скорости качения

всех точках его образования не представляется возможным. Кулачковые валы, используемые при исследовании, имели приличную наработку и, как следствие, видимые невооруженным глазом в некоторых зонах профиля кулачка следы износа. В частности: царапины, задиры, выкрашивания. При их микроскопическом исследовании сложно понять границы локального образования МКП, т. к. поверхностный слой имеет весьма неровную структуру, особенно в местах выкрашивания.

Следует отметить, что в разрезе каждого интервала времени практически все исследуемые на поверхности профилей кулачкового вала точки, имеющие различные значения линейной скорости и контактной нагрузки, находились в одной и той же стадии. Это позволяет сделать вывод, что при данных условиях изменение нагрузки и скорости не оказывает влияние на время смены стадий образования и изнашивания покрытия.

Определение толщины МКП на поверхности профиля кулачка проводилось после 60 ч наработки экспериментальной установки с введенным ремонтно-восстановительным составом, т. к. в этот момент МКП наиболее сформировано.

Экспериментальные данные обрабатывались методами статистического анализа с применением программы «статистика 6.0» и «Microsoft Excel». Графики полученных зависимостей площади и толщины образованного МКП на поверхности профиля кулачка от сжимающего усилия и скорости качения (рис. 6, 7) построены в программе «статистика 6.0» из введенного массива данных при выборе линейной зависимости. Поверхность графика площади МКП после 60 ч наработки построена по 39 экспериментально полученным значениям, после 80 ч наработки по 24, толщины МКП по 32.

Во время эксперимента взаимодействия кулачка подкачивающего насоса с другой поверхностью не было. Микроскопическое исследование кулачка подка-

чивающего насоса во всех исследуемых временных интервалах показало отсутствие на его поверхности МКП.

При расчете площади МКП в некоторых точках на поверхности кулачков было замечено его формирование в виде прерывистой линии, состоящей из нескольких микро площадок, направленных вдоль оси трения, по видимому, возникших в результате попадания абразивной частицы в зону контакта. Ширина этой линии практически одинаковая и составляет около 0,000236 мм, а длина имеет различные значения, в нашем случае от 0,002355 мм до 0,011774 мм. Образованная линия напоминает царапину с оттеснением металла. Таким образом, можно сделать вывод, что частицы абразива находящиеся между поверхностями трения в момент заземления, приводят к активации РВС и образованию в этой зоне МКП, практически исключая абразивное изнашивание поверхностей.

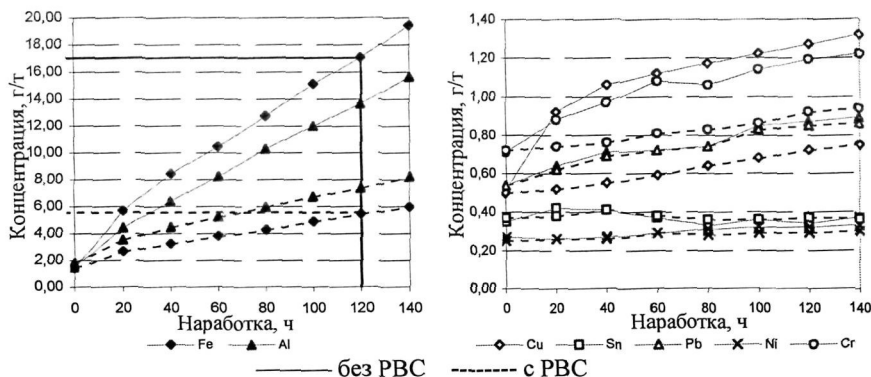


Рис. 8. Изменение концентрации продуктов износа в масляной ванне экспериментальной установки

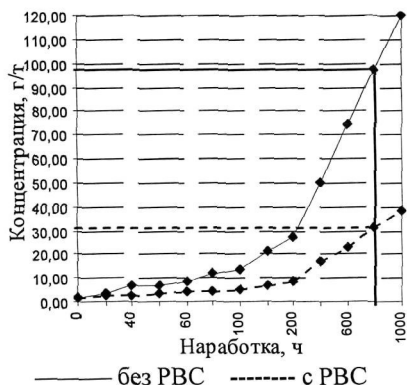


Рис. 9. Изменение концентрации железа в масляной ванне ТНВД при эксплуатационных испытаниях

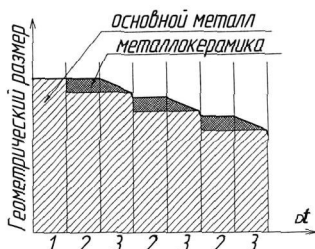


Рис. 10. Механизм воздействия РВС на поверхности трения: 1 – первоначальный геометрический размер; 2 – стадия прохождения реакции замещения и образования МКП; 3 – стадия изнашивания образованного МКП и части основного металла; Δt – дискретный промежуток времени

Результаты измерения концентрации железа в картерах ТНВД 4ТН9х10 и УТН-5 при проведении эксплуатационных испытаний во время наработки без РВС и с введенным РВС приведены на рис. 9. Эксплуатационные испытания проводились на предприятиях Омской области (ЗАО «Дружба», СПК «Пушкинское», ООО «Ливаагроинвест», Учхоз ФГОУ ВПО «ОМГАУ»).

Таким образом, по проведенному исследованию, РВС не компенсируют зазоры в парах трения, а снижают интенсивность изнашивания основного металла за счет циклического модифицирования поверхностного слоя в локальных зонах взаимодействия трущихся поверхностей. Графически воздействие РВС на поверхности трения с образованием и изнашиванием МКП можно рассматривать в виде, представленном на рис. 10.

В пятой главе проведён расчет экономической эффективности от внедрения предлагаемого метода снижения интенсивности изнашивания кулачковых механизмов. Экономическая эффективность обработки кулачкового вала ТНВД 4ТН РВС, приходящаяся на 1 моточас, составляет 0,21 руб., что при наработке дизеля 900 моточасов в год определяет срок её окупаемости, равный 0,53 года.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. В результате анализа научных работ, статистических данных установлено:

- большинство традиционных технологий восстановления поверхностей трения энергоёмки и трудоёмки, требуют специализированного оборудования и квалифицированных рабочих, возможны только при централизованном использовании;
- в настоящее время большинство ремонтных предприятий ликвидировано, у оставшихся отсутствует необходимое техническое оснащение для проведения качественного ремонта техники и, тем более, восстановления поверхностей трения, ремонт в них, в основном, проводится заменой изношенных деталей на новые, в большинстве случаев изготовленные кустарным образом без соблюдения технологического процесса.

2. Установлено, что регулятором процесса образования и изнашивания МКП на трущихся поверхностях является температура пятна микроконтакта, основное влияние на которую оказывают такие факторы как: контактная нагрузка и скорость относительного перемещения. Повышение контактной нагрузки в паре трения приводит к увеличению площади образующегося МКП, а возрастание относительной скорости взаимодействия трущихся поверхностей приводит к увеличению его толщины.

3. Разработана и апробирована методика, позволяющая оценить площадь и толщину образующегося на профиле кулачка МКП, путём микроскопического исследования поверхности трения и выявления непротравленных зон, исходя из предположения, что керамика не вступает в химическую реакцию с кислотой.

4. Разработана методика и приспособление для металлографического микроскопа МИМ-7, позволяющее проводить микроскопическое исследование образованного МКП на профилях кулачкового вала по всему периметру с сохранением координат исследуемой точки.

5. Установлено, что: после 60 ч наработки экспериментальной установки с РВС площадь МКП на профилях кулачков составила: минимальная 0,003783 мм² в точке с контактной нагрузкой 64,49 Н и скоростью качения 1,42 м/с, максимальная 0,021081 мм² в точке с контактной нагрузкой 297 Н и скоростью качения 2,31 м/с.; после 80 ч наработки: минимальная 0,001645 мм² в точке с контактной нагрузкой 35 Н и скоростью качения 1,42 м/с, максимальная 0,012463 мм² в точке с контактной нагрузкой 232,62 Н и скоростью качения 1,45 м/с.; толщина МКП составила: минимальная 0,00030 мм в точке с контактной нагрузкой 35 Н и скоростью качения 0,92 м/с, максимальная 0,00054 мм в точке с контактной нагрузкой 367 Н и скоростью качения 1,72 м/с.

6. Выявлена цикличность протекания процесса, сменяющаяся стадиями образования и изнашивания покрытия, в итоге приводящая к равномерному снижению интенсивности изнашивания основного металла при изменении контактной нагрузки в пределах от 35 Н до 463,5 Н и скорости качения от 1,42 м/с до 2,31 м/с.

7. Интенсивность изнашивания приработанного кулачкового механизма после введения РВС снижается в 3 раза, а соответственно ресурс увеличивается.

8. Экономическая эффективность обработки РВС кулачкового вала топливного насоса высокого давления 4ТН9х10 приходящаяся на 1 моточас наработки, составляет 0,21 руб., что при наработке дизеля 900 моточасов в год определит срок окупаемости, равный 0,53 года.

Основные публикации по теме диссертации

1. Канунников Ю.А. Исследование возможности безразборного ремонта дизельной топливной аппаратуры / Ю.А. Канунников, П.П. Кондратюк, М.Г. Перепелицын, Е.В. Соловьёв, Е.А. Филянин // Студенческая наука 10-летию университета: материалы конкурса студентов ОмГАУ на лучшую научно-исследовательскую работу. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2005. – С. 102–112.

2. Корнилович С.А. Снижение интенсивности изнашивания деталей машин путем применения ремонтно-восстановительных составов / С.А. Корнилович, М.Г. Перепелицын, Ю.А. Канунников // Прогрессивная технология восстановления изношенных деталей машин гальваническими покрытиями. Перспективные технологии и средства технического обслуживания машин: Материалы международной научно-практической конференции ФГОУ ВПО ИрГСХА. – Иркутск: Издательство ФГОУ ВПО ИрГСХА, 2005. – С. 51–53.

3. Корнилович С.А. Безразборное восстановление износа пар трения топливной аппаратуры дизелей сельскохозяйственного назначения / С.А. Корнилович, М.Г. Перепелицын, Ю.А. Канунников // Военная техника, вооружение и технологии двойного применения: Материалы III международного технологического конгресса. – Омск: ОмГТУ, 2005. – Ч.1. – С. 151–153.

4. Корнилович С.А. Ресурсосберегающие технологии ремонта машин в АПК / С.А. Корнилович, М.Г. Перепелицын, М.А. Поляков, Ю.А. Канунников // Совер-

шенствование технологий, машин и оборудования в АПК: сб. науч. тр. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2006. – С. 187–193.

5. Перепелицын М.Г. Методика эксперимента безразборного восстановления кулачкового вала ТНВД / М.Г. Перепелицын // Совершенствование технологий, машин и оборудования в АПК: сб. науч. тр. – Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2006. – С. 231–236.

6. Перепелицын М.Г. Моделирование контактного взаимодействия кулачковой пары в присутствии металлокерамического ремонтно-восстановительного состава / М.Г. Перепелицын // Вестник ОмГАУ. – 2008. – №2. – С.68–70.

7. Способы повышения эффективности РВС – технологии при эксплуатации машин и оборудования в АПК: РИП / С.А. Корнилович, М.Г. Перепелицын, П.П. Кондратьев, К.В. Тараканов; заявитель Федер. гос. образоват. учреждение высш. профессион. образования «Ом. гос. аграр. ун-т». – № 73200800082, зарегистрирован ФГУП «ВНТИЦ» 21 авг. 2008г.

8. Корнилович С.А. Применение ремонтно-восстановительных составов для пар трения / С.А. Корнилович, П.П. Кондратьев, М.Г. Перепелицын, К.В. Тараканов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2008. – №11. – С.40–41.

9. Перепелицын М.Г. Исследование процесса безразборного восстановления поверхностей трения ремонтно-восстановительными составами / М.Г. Перепелицын // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – №1. – С.74–80.

10. Перепелицын М.Г. Экспериментальное исследование процесса безразборного восстановления поверхностей трения РВС / М.Г. Перепелицын, К.В. Тараканов // Вестник КрасГАУ. – 2009. – №2. – С.140–146.

Рег. № 73. Сдано в набор 12.03.09. Подписано в печать 16.03.09.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».
Печать на ризографе. Печ. л. 1,0 (0,93).
Уч.-изд. л. 1,70. Тираж 130 экз. Заказ 130.

Издательство ФГОУ ВПО ОмГАУ.
644008, Омск, ул. Сibaковская, 4, тел. 65-35-18.

Отпечатано в типографии издательства ФГОУ ВПО ОмГАУ.