

На правах рукописи

Попов Сергей Юрьевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
РЕМОНТНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ СОСТАВОВ
ПРИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В ДВИГАТЕЛЯХ ТРАКТОРОВ**

**Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического
обслуживания в сельском хозяйстве**

**Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук**

Мичуринск-наукоград РФ, 2014

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН).

Научный руководитель: доктор технических наук
Остриков Валерий Васильевич

Официальные оппоненты: **Балабанов Виктор Иванович**,
доктор технических наук, профессор / ФГБОУ ВПО
«Российский государственный аграрный университет
– МСХА имени К. А. Тимирязева», заведующий
кафедрой «Технологии и машины растениеводства»

Ли Роман Иннокентьевич,
доктор технических наук, профессор / ФГБОУ ВПО
«Липецкий государственный технический универси-
тет», заведующий кафедрой «Транспортные средства
и техносферная безопасность»

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Саратовский государственный
аграрный университет имени Н. И. Вавилова»

Защита диссертации состоится «21» ноября 2014 г. в 12⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета ДМ 220.041.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Мичуринский государственный аграрный университет», по адресу: 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101, тел/факс: 8 (47545) 9-44-12, E-mail: dissov@mgau.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО МичГАУ и на сайте www.mgau.ru, с авторефератом на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak.ed.gov.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2014 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



В. Ю. Ланцев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В настоящее время все большее развитие получает применение новых инновационных методов ремонта с использованием различного рода добавок к маслам. Уже известно достаточно много видов ремонтно-восстановительных составов (РВС), позволяющих снизить износ деталей машин и продлить срок их службы. Однако данные разработки пока не нашли широкого применения в сельскохозяйственном производстве.

Среди известных причин, снижающих внедрение перспективных разработок, являются: недостаточный эффект восстановления изношенных деталей двигателя внутреннего сгорания (ДВС) при различной степени их износа; ограниченные эксплуатационные свойства РВС, снижающие диапазон их применения в тракторной технике; отсутствие границ эффективного использования РВС и способов определения эффективности восстановления деталей и свойств работающего моторного масла.

Моторное масло, как и другие детали двигателя, изнашивается, и если в процессе ремонтно-восстановительных операций поверхности деталей восстанавливаются, то работающее масло не только не улучшает свои свойства от действия РВС, но и в некоторых случаях снижает эффективность их восстановительных процессов. Все это ставит задачи повышения эксплуатационных свойств РВС, при их использовании в двигателях тракторов, в разряд особо актуальных.

Степень разработанности темы. В решении проблем улучшения эксплуатационных показателей и повышения долговечности деталей машин внесли весомый вклад такие ученые как Черноиванов В. И., Лялякин В. П., Пасечников Н. С., Селиванов А. И., Виноградова И. Э., Ли Р. И., Севернев М. М., Кряжков В. М., Михлин В. М. и другие.

Теоретические аспекты процессов восстановления изношенных деталей под действием РВС получили раскрытие в работах Крагельского Д. Н., Бабеля В. Г., Гаркунова И. В., Сафонова В. В., Балабанова В. И., Стрельцова В. В., Пригожина И. Р., Кужарова А. С., Полякова А. А. и других.

Вклад в раскрытии механизмов действия присадок и добавок к маслам в условиях эксплуатации принадлежит таким ученым как Виппер А. Б., Венцель С. В., Крэйн С. Э., Шор Г. И., Папок К. К., Кулиев А. М., Фукс И. Г., Остриков В. В., Балабанов В. И. и др.

Значительный вклад в исследования обоснований процессов изменения свойств масел в узлах сельскохозяйственной техники внесли Итинская Н. И., Григорьев М. А., Лышко Г. П., Братков А. А., Чиченидзе А. В., Остриков В. В., Ленский В. С., Рыбаков К. В., Сафаров К. У., Быстрицкая А. П., Коваленко В. П. и т. д.

Анализ проведенных исследований дает возможность установления нового перспективного направления – безразборного ремонта, заключающегося в повышении сроков службы машин, снижении износа узлов трения за счет использования специальных добавок к работающим маслам.

Рассматривая все научные подходы и описание работы РВС, их фундаментальную составляющую, нельзя отрицать их состоятельность. В то же время требуется проведение дополнительных теоретических и экспериментальных исследований по повышению эксплуатационных свойств РВС, установлению механизма и закономерностей изменения состава РВС в процессе его работы в ДВС, повышению эксплуатационных свойств масла под действием компонентов РВС, установлению границ эффективного использования, с учетом свойств работающего моторного масла. Необходимо усовершенствование технологического процесса безразборного восстановления изношенных деталей двигателя трактора и разработка новой смазочной композиции, обеспечивающей восстановление изношенных поверхностей двигателя и работающего моторного масла.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН) в соответствии с заданиями Россельхозакадемии 09.04.07 «Разработать технологии, новые материалы, приборы и оборудование для эффективно-

го использования моторного топлива и смазочных материалов», 09.04.07.05 «Разработать технологический процесс использования наноструктурированных добавок к маслам».

Цель работы – повышение эффективности восстановления изношенных деталей двигателя и свойств работающего моторного масла под действием ремонтно-восстановительного состава.

Задачи исследований:

1. Обосновать механизм переноса свойств ремонтно-восстановительного состава на свойства работающего моторного масла, обеспечивающего повышение эффективности восстановления изношенных деталей.

2. Теоретически обосновать пригодность работающего моторного масла выполнять ремонтно-восстановительные функции.

3. Установить закономерности процесса повышения эффективности действия РВС за счет удаления примесей из работающего моторного масла и определить критериальные характеристики эффективности использования ремонтно-восстановительного состава.

4. Выполнить экспериментальные исследования, разработать новую смазочную композицию, определить технологические параметры процессов восстановления поверхностей деталей и свойств масла, разработать способ удаления примесей и усовершенствованный технологический процесс безразборного восстановления изношенных деталей двигателя трактора и повышения эксплуатационных свойств работающего моторного масла.

5. Провести технико-экономическую оценку внедрения смазочной композиции и технологического процесса, обеспечивающего повышение эксплуатационных свойств ремонтно-восстановительного состава при его использовании в ДВС тракторов.

Научная новизна работы заключается в:

- обосновании механизма переноса свойств ремонтно-восстановительного состава на свойства работающего моторного масла, обеспечивающего повышение эффективности восстановления изношенных деталей;

- обосновании и определении показателя пригодности работающего моторного масла к выполнению ремонтно-восстановительных функций;

- установлении закономерностей процесса повышения эффективности действия РВС за счет удаления примесей из работающего моторного масла и определении критериальных характеристик оценки процесса восстановления;

- обосновании состава смазочной композиции и определении оптимальных параметров процесса восстановления изношенных поверхностей и работающего моторного масла.

Новизна предложенных решений подтверждена патентами РФ на изобретения № 2507243 «Смазочная композиция»; № 2484462 «Способ определения щелочного числа моторных масел» и № 2528421 «Способ очистки моторного масла от продуктов старения и загрязнений».

Теоретическая и практическая значимость работы:

Теоретические закономерности, полученные в ходе исследований, позволяют обосновать эффективные параметры процесса повышения эксплуатационных свойств РВС, разработать новый состав смазочной композиции, обеспечивающей повышение эффекта восстановления деталей ДВС и свойств работающего моторного масла.

Применение технологического процесса позволяет эффективно восстановить изношенные детали ДВС тракторов, продлить срок службы работающего смазочного масла, снизить трудоемкость и затраты на ремонт.

Полученные результаты исследований рекомендуются для широкого применения в сельскохозяйственном производстве, предприятиям и организациям, имеющим тракторный парк.

Объект исследований – динамические процессы восстановления изношенных деталей и эксплуатационных свойств работающего моторного масла под действием смазочной композиции.

Предмет исследований – закономерности процесса восстановления изношенных деталей и свойств моторного масла под действием смазочной композиции.

Методы исследований – исследования выполнялись теоретическими и экспериментальными методами.

Теоретические исследования нацелены на обоснование механизма переноса свойств ремонтно-восстановительного состава на свойства масла, оценку способности работающего моторного масла выполнять ремонтно-восстановительные функции, установление закономерностей процессов удаления примесей, обоснование состава и оценку критериальных характеристик применения РВС.

Проверка и подтверждение теоретических предпосылок осуществлялось в ходе проведения экспериментальных исследований. В лабораторных, стендовых и эксплуатационных условиях определены изменения физико-химических свойств моторных масел в процессе их работы с РВС. Разработан оптимальный состав ремонтно-восстановительного препарата, оптимизированы параметры его работы, разработан способ удаления из моторного масла примесей, препятствующих эффективной работе РВС и способ определения пригодности моторного масла к проведению ремонтно-восстановительных операций по щелочному числу работающего в двигателе масла.

Положения, выносимые на защиту:

- обоснование механизма переноса свойств ремонтно-восстановительного состава на свойства работающего моторного масла, обеспечивающего повышение эффективности восстановления изношенных деталей;

- теоретическое обоснование пригодности работающего моторного масла выполнять ремонтно-восстановительные функции;

- закономерности процесса повышения эффективности действия РВС за счет удаления примесей из работающего моторного масла и критериальные характеристики оценки процесса восстановления;

- обоснование состава смазочной композиции и определение оптимальных параметров процесса восстановления изношенных деталей двигателя и работающего моторного масла.

Степень достоверности и апробация результатов исследований – подтверждается высокой сходимостью теоретических предпосылок и закономерностей с результатами экспериментальных исследований, выполненных с использованием современной контрольно-измерительной и вычислительной техники; большим объемом проведенных физико-химических, люминесцентных, инфракрасных спектральных исследований, дисперсного анализа, электронной микроскопии проб моторных масел с РВС; стендовыми испытаниями масел с РВС в двигателе Д-240; проведенными эксплуатационными испытаниями смазочной композиции в дизельных двигателях аграрной техники.

Основные положения и результаты работы были доложены, обсуждены и одобрены на конференциях: «Naukova mysl informacyjnej» (Powieki, 2012); «Dynamika naukowych» (Badan, 2012); «Бъдещето въпроси от света на науката», (София, 2012); «Ремонт. Восстановление. Реновация» (Уфа, 2013); «Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика» (Санкт-Петербург, 2013); «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства» (Тамбов, 2013); «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники» (Саратов, 2013); «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве» (Москва, 2014).

Реализация результатов работы. По результатам теоретических и экспериментальных исследований разработана новая смазочная композиция и усовершенствован технологический процесс безразборного восстановления изношенных деталей двигателей тракторов и свойств работающего моторного масла, внедренный в ФГУП ПЗ «Пригородный» Тамбовского района, Тамбовской области.

Публикации по теме диссертации. По результатам выполненных теоретических и экспериментальных исследований опубликовано 22 печатные работы, в том числе 7 в периодических научных и научно-технических изданиях, рекомендованных ВАК, получено 3 патента на

изобретение (№ 2484462, 2013 г.; № 2507243, 2014 г.; № 2528421, 2014 г). Общий объем публикаций составил 12,6 печ. л., в том числе 6,2 печ. л. принадлежит лично соискателю.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 179 страницах машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, общих выводов, содержит 74 рисунка, 13 таблиц и 12 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы и изложены основные научные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса, цель и задачи исследований» проведен анализ видов износа деталей двигателя внутреннего сгорания и способов их восстановления. Выполнен анализ изменения свойств моторных масел и их влияние на процессы износа. Осуществлена оценка составов и характеристик добавок к маслам, обладающих ремонтно-восстановительными свойствами.

Технологии восстановления деталей относятся к разряду ресурсосберегающих, а наиболее перспективными среди известных способов восстановления, являются мало затратные безразборные методы ремонта с использованием присадок, трибопрепаратов и ремонтно-восстановительных составов, вносимых в моторные масла.

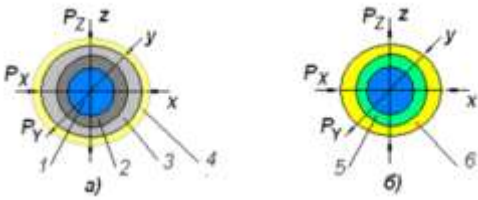
Проведя анализ взаимосвязи физико-химических показателей моторного масла между собой и техническим состоянием ДВС установлено, что исправность и надежность двигателя прямо пропорционально зависят от состояния моторного масла в процессе эксплуатации. Моторное масло, как и другие детали двигателя, изнашиваются и если в процессе ремонтно-восстановительных операций поверхности деталей восстанавливаются, то работающие масла не только не улучшают свои свойства от действия РВС, но и, в некоторых случаях, снижают эффективность восстановительных процессов.

Среди многообразия существующих трибопрепаратов и ремонтно-восстановительных составов, большинство обладает определенными свойствами позволяющими снижать износ деталей машин или способствовать организации на поверхностях трения защитных «пленок». При этом роль смазочного материала является второстепенной ограничивающейся выполнением функции носителя компонентов РВС к деталям. Некоторые ремонтно-восстановительные составы при их положительных свойствах содержат крупнодисперсные элементы, и основная их часть при работе в двигателях внутреннего сгорания оседает в масляных каналах и на фильтрах очистки масла.

Несмотря на постоянный интерес исследователей и разработчиков к проблеме повышения эффективности безразборных методов восстановления изношенных деталей и повышения эксплуатационных свойств РВС, большинство исследований носит разрозненный и частный характер, а глубина научного поиска ограничивается решением конкретных задач, имеющих косвенное отношение к реальным условиям эксплуатации техники и применения результатов в сельскохозяйственном производстве. Имеется определенное противоречие между существующими, частными, недостаточно эффективными методами безразборного восстановления изношенных деталей машин, низкими эксплуатационными свойствами применяемых РВС, их узкой функциональностью и высоким требованиями, предъявляемыми к показателям качества восстановления изношенных деталей ДВС и свойствам работающих моторных масел.

Во второй главе «Теоретические предпосылки повышения эксплуатационных свойств ремонтно-восстановительных составов» проведен анализ и обоснован механизм переноса свойств компонентов ремонтно-восстановительных составов на свойства масла. Дана теоретическая оценка способности работающего моторного масла выполнять ремонтно-восстановительные функции. Определены закономерности процесса удаления примесей и продуктов окислений, снижающих эффективность действия РВС в масле. Проведена оценка критерийных характеристик эффективности работы РВС.

В статье каждый твердофазный компонент компенсируется, по крайней мере, двумя слоями (рисунок 1) различного происхождения.



1 – компонент; 2, 3 – компенсирующие слои промежуточной среды; 4 – модифицируемая среда; 5, 6 – компенсирующие слои из материала модифицируемой среды

Рисунок 1 – Схема приповерхностных слоев компонента

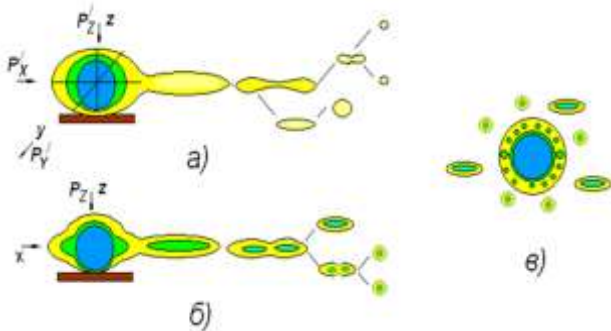
структуре приповерхностный с компонентом слой среды на весь ее объем.

При определенном уровне касательных напряжений происходит отделение ион-компенсирующего слоя с образованием объектов с ядрами на основе этого слоя. По-видимому, связи этих ядер с внешними их слоями находятся на уровне межмолекулярных и могут разрушаться за счет теплового движения. Время их «жизни» в первом приближении можно оценить в диапазоне $10^{-6} - 10^{-5}$ с.

Дальнейшая деформация компенсационных слоев связана с формированием плоского напряженного состояния, поскольку:

$$P_x = P_y \ll P_z; \sigma_x = \sigma_y \ll \sigma_z \quad (1)$$

При таком соотношении величина касательных напряжений определяется уровнем $\sigma_x = \sigma_y$ по отношению к σ_z или разницей $\sigma_2 = \sigma_3 \ll \sigma_1$. Вместе с тем, уровень $\sigma_2 = \sigma_3$ определяется сопротивлением среды в плоскости XY. Величина сопротивления будет зависеть от скорости приложения нагрузки по оси Z, температуры и др.



а – механизм переноса структурных состояний в объем и формирование объектов на базе первого компенсирующего слоя; б – механизм переноса структурных состояний в объем и формирования объектов на базе второго компенсирующего слоя; в – схема объемной компенсации РВС объектами из молекул моторного масла

Рисунок 2 – Формирование масляных молекулярных объектов под воздействием РВС и динамических процессов в масле

В случае синтеза компонентов РВС в отдельном процессе и последующем переносе их в другие среды происходит компенсация активной поверхности объекта промежуточными средами (рисунок 1, а), снижение активности и снижение достигаемого эффекта модифицирования.

При получении компонента непосредственно в модифицируемой среде состав компенсирующих слоев соответствует составу среды (рисунок 1, б), а структура и свойства этого приповерхностного объема изменены в соответствии со спецификой воздействия компонента. Для достижения необходимого эффекта требуется распространить измененный по

Использование изменяющихся напряженных состояний и различных скоростей нагружения вокруг объекта РВС, может реализовываться при встрече потока масла с компонентами – препятствиями, в случае кавитационных процессов, при дросселировании. Развитие представлений о переносе компенсирующих слоев, контактирующих с поверхностью объекта РВС, показано на рисунке 2.

Если упорядоченность большей части объема определяется объектами с ядрами на основе первого компенсационного слоя, а весь остальной объем масла будет иметь поляризацию второго слоя, то такое состояние можно назвать сверхрешеткой (СР) первого порядка.

Создание сверхрешеток указанных уровней связано с последовательным разведением (разбавлением) суспензии.

Моделируя процесс изменения дисперсного состава добавок к маслам, отметим возможность уменьшения дисперсного состава частиц металлов их растворением в некоторых специфических жидкостях. Замечено, что дисперсный состав основной массы частиц сосредоточенных в диапазоне 0,5 – 1 мкм может быть уменьшен до размеров 0,01 мкм и ниже. Взаимодействие с гидроксидом аммония, например структурированной добавки «Кластер» приводит к изменению вязкости среды, превращая ее из

легко текущей жидкости в легко подвижный гель, далее вносимый в рабочую среду (масло) и равномерно перемешиваемый. Эффективное перемешивание и равномерное распределение геля по всему объему масла обеспечивается кумулятивным движением в потоке при выходе из сопел центробежных очистителей масла, установленных во многих двигателях внутреннего сгорания. Вращение в поле центробежных сил ультрадисперсных частиц добавки практически не вызывает их осаждения на стенки корпуса центрифуг, вместе с тем нельзя отрицать факт того или иного уменьшения концентрации частиц добавки, растворенной в работающем масле, так как нельзя избежать уноса частиц присадки вместе с загрязнениями, удаляемыми центрифугированием.

В большинстве теорий восстановления изношенных поверхностей деталей машин под действием различного рода составов и присадок, находящихся в маслах, само масло, как правило, представляется носителем определенных элементов металлов и неметаллов к деталям. При этом состав масел и его свойства имеют второстепенное значение. Между тем нормальное функционирование двигателя обеспечивается только в том случае, когда показатели состояния масла соответствуют определенным требованиям. В нашем случае можно говорить о способности или пригодности масла выполнять одновременно две функции: «носителя» ремонтно-восстановительных компонентов присадок к трущимся поверхностям деталей и самого смазочного материала.

Работающее в двигателе моторное масло пригодно к использованию или обладает пригодностью, величина которой по определяемым показателям состояния равна:

$$P_i = \frac{x_i - x}{x_0 - x} \quad (2)$$

где P_i – пригодность масла в момент времени i по одному из показателей; i – дискретное время ($i = 1$ – момент первой операции контроля свойств масла, $i = 2$ – момент второй операции контроля и т. д.); x_0 – номинальное значение показателя (в момент времени 0); x_i – текущее значение показателя (в момент времени i); x – предельное значение.

При этом проводим контроль качества масла, по загрязненности и щелочному числу, экспресс-методами. Исходная пригодность $P_0 = 1$; при первом контроле – P_1 ; при втором контроле – P_2 ; при n -ом контроле – P_n .

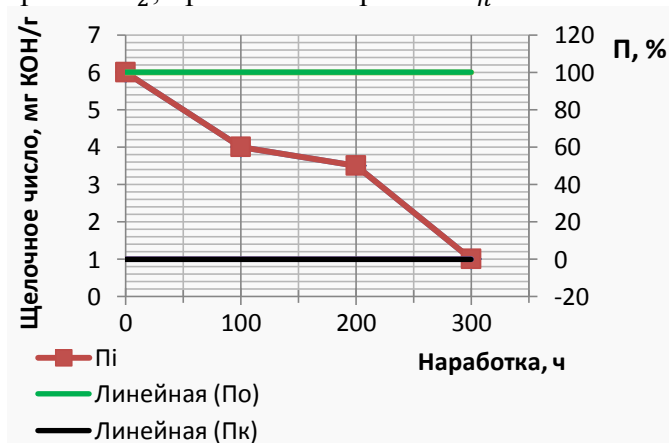


Рисунок 3 – Схема изменения пригодности масла

ремонтно-восстановительной операции и дальнейшего его использования в ДВС снизится с величины P'_1 до величины P_2 , которая будет равна:

$$P_2 = k_2 \cdot P'_1 \quad (4)$$

где k_2 – коэффициент снижения пригодности масла после второй наработки через период t_2 , когда срабатывает от 30 до 50 % основной массы антиокислительных, противоизносных, моюще-диспергирующих и др. присадок в работающем моторном масле. Очевидно, что k_2 стремится к нулю при $P'_1 \rightarrow 0$:

$$k_2 = \lim_{P'_1 \rightarrow 0} f(P'_1) \quad (5)$$

Удаление продуктов окислений, при этом, повышает эффективность работы остаточной

На рисунке 3 представлена схема прогнозируемого изменения пригодности масла в течение срока его службы.

Исходная пригодность масла в двигателе $P_0=1$ (или 100 %). При первом контроле через наработку t_1 масло в двигателе будет иметь пригодность P_1 , определяемую из выражения:

$$P_1 = k_1 \cdot P_0 \quad (3)$$

где k_1 – коэффициент снижения пригодности масла после первой наработки через период t_1 .

После наработки t_2 пригодность работающего моторного масла для проведения

базы присадок и, тем самым, пригодность работающего моторного масла с величины Π_2 до величины Π'_2 , которая будет равна:

$$\Pi'_2 = k_1 \cdot k_2 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \Pi_0 \quad (6)$$

При проведении анализа принято допущение, что за весь период наработки средняя скорость изменения свойств и пригодность работающего моторного масла одинакова и составляет:

$$V_c = \frac{\Pi_0 - \Pi_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} = \frac{\Pi_0 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \dots \cdot \beta_n \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n \cdot \Pi_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} = \frac{(1 - \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \dots \cdot \beta_n \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot \dots \cdot k_n) \cdot \Pi_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n} \quad (7)$$

где t_1, t_2, \dots, t_n – периоды наработки; β_n – коэффициент увеличения пригодности работающего моторного масла после удаления продуктов окислений и примесей через наработку t_n ; k_n – коэффициент снижения пригодности при n -ой наработке через период наработки t_n ; Π_n – величина пригодности.

При условии, что $t_1 = t_2 = t_n = t$ значение Δt можно равномерно распределять по периодам наработки t , которая должна быть уменьшена на величину, равную $\frac{\Delta t}{n}$, пригодность масла к восстановительному процессу после наработки t_n будет равна нулю, что обеспечивает выработку ресурса и эффективность проведения восстановительных операций.

Активная работа растворенных элементов добавки в полидисперсной системе загрязненного моторного масла может быть затруднена действием мельчайших частиц примесей дисперсного состава.

Тракторные центрифуги системы смазки, имеющие частоту вращения не более 5000 об/мин и относительно низкий фактор разделения, не превышающий 2000, не в состоянии удалить мелкодиспергированные частицы смол и асфальтенов.

Выдвигаемая гипотеза удаления из системы смазки продуктов окислений, снижающих эффективность действия ремонтно-восстановительного состава, базируется на создании многофункциональной смазочной композиции. В состав смазочной композиции входят элементы трибопрепарата, восстанавливающие изношенные поверхности деталей, и элементы коагулянта, способного укрупнить мелкодиспергированные частицы продуктов окислений, для их эффективного удаления из работающего моторного масла встроенной в систему смазки центрифугой.

Частица примесей или продуктов окислений, движущаяся в работающем моторном масле в поле центробежных сил, при любых условиях испытывает лобовое сопротивление, которое определяется по закону Ньютона:

$$P = C_x \cdot v^2 \cdot d^2 \cdot \gamma_f \quad (8)$$

где C_x – коэффициент лобового сопротивления; v – скорость движения частицы, м/с; d – диаметр частицы примесей, мкм; γ_f – плотность масла, кг/м³.

Коэффициент лобового сопротивления частицы примесей является функцией числа Рейнольдса и зависит от диаметра частицы и ее местоположения в масле. С учетом обозначенных условий необходимости и возможности укрупнения мелкодиспергированных частиц продуктов окислений, рассмотрим функцию $d(t)$ – диаметр частиц примесей в момент времени t , т.е.: $d(t): [0, T] \rightarrow [d_0, d_n]$. Функция $d(t)$ (рисунок 4) действует в интервале времени $[0, T]$, изменяясь от d_0 до d_n .

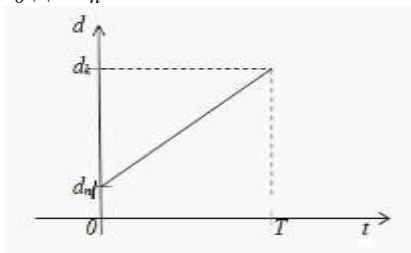


Рисунок 4 – Зависимость изменения диаметра частицы примесей d от времени T укрупнения

Допустимо считать, что функция $d(t)$ возрастает на всем интервале $[0, T]$, т.к. в результате коагуляции начальный диаметр частицы d_n увеличивается до конечного диаметра d_k в зависимости от времени центрифугирования t . В соответствии, с чем выражение 8 может быть записано как:

$$P = C_x \cdot v^2 \cdot \gamma_f \cdot d^2(t) \quad (9)$$

В общем виде можно предположить, что коагуляция частиц продуктов окислений позволяет увеличить их размер в 10 – 15 раз, тогда средний показатель кратности

увеличения фактора разделения можно принять равным $k_{c\phi}=10$, а выражение Соколова В. И. записать для наших условий:

$$F = 112g \cdot 10^{-5} \cdot r \cdot n \cdot k_{c\phi} \quad (10)$$

где r – радиус ротора центрифуги; n – частота вращения; g – ускорение свободного падения; $k_{c\phi}$ – коэффициент кратности.

Подставляя данные в выражение (10) можно убедиться, что укрупнение частиц примесей в работающем моторном масле разрабатываемым способом под действием многофункциональной смазочной композиции позволяет увеличить фактор разделения с 2000 до 20000, т.е. как в случаях очистки масла на ультра и супер центрифугах.

Система смазки тракторных двигателей оснащенных центрифугой очистки масла образует замкнутый контур, при котором масло из картера подается насосом в масляные каналы, центрифугу, ЦПП, после чего снова возвращается в картер. Очистка всего объема масла в ДВС зависит от скорости выделения загрязняющих примесей в роторе центрифуги. Зависимость концентрации загрязняющих примесей в роторе центрифуги от времени очистки выражается функцией:

$$x = f(t) \quad (11)$$

где t время действия системы очистки.

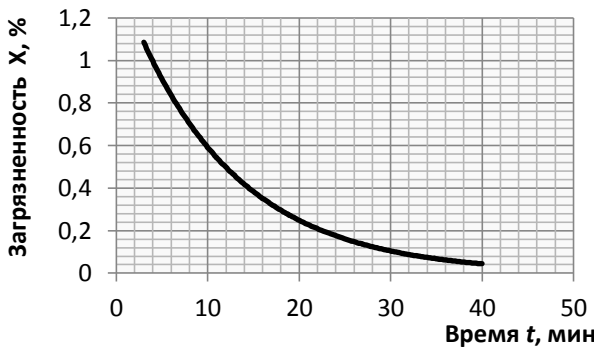


Рисунок 5 – Закономерность изменения концентрации примесей в масле в процессе его центрифугирования

На рисунке 5 показана закономерность изменения концентрации примесей в масле в процессе его центрифугирования.

Для нахождения функции f составим баланс загрязняющих примесей в картерном масле:

$$G_0 = \Delta g_1 + \Delta g_2 \quad (12)$$

где G_0 – количество примесей, поступивших в моторное масло за время его работы, г; Δg_1 – изменение количества примесей в масле, связанных с внесением ремонтно-восстановительного состава и образующихся при перекристаллизации агента за время центрифугирования Δt ; Δg_2 – количество загрязняющих примесей, удаленных центрифугой, г.

Изначальная концентрация примесей, при $t=0$: $x(0) = x_0$; $x_0 = \frac{G_0}{G}$. Используя данное начальное условие, получаем, что константа $c^\alpha = (x_0 + G_0) \cdot \alpha$, тогда зависимость концентрации примесей от времени их центрифугирования выражается:

$$x = (x_0 + G_0) \cdot \alpha \cdot \frac{1}{\alpha} e^{-\alpha t} - G_0$$

$$x = (x_0 + G_0) \cdot e^{-\alpha t} - G_0 \quad (13)$$

Так как $\frac{(x_0 + G_0)}{G_0} = \frac{(\frac{G_0}{G} + G_0)}{G_0} = \frac{1}{G} + 1$, то $\ln \frac{(x_0 + G_0)}{G_0} = \ln(\frac{1}{G} + 1)$, получим выражение для определения времени удаления из масла продуктов окислений, смол, снижающих эффективность действия РВС:

$$t = \frac{G}{\gamma \cdot Q \cdot \phi} \cdot \ln\left(\frac{1}{G} + 1\right) \cdot 60 \quad (14)$$

где G – количество масла в картере двигателя, л; γ – плотность примесей ($\gamma = 1 - 2$ г/см³); Q – объем ротора центрифуги, л; ϕ – коэффициент очистки (в зависимости от степени загрязненности масла $\phi=1 - 5$).

На основании полученных уравнений и зависимостей совершенствуется технологический процесс применения ремонтно-восстановительной смазочной композиции, проводится оптимизация времени удаления примесей в зависимости от исходной загрязненности масла до полного удаления продуктов окислений, снижающих ремонтно-восстановительный эффект.

Для оценки работоспособности смазочной композиции можно принять теорию выявления вероятности реализации гидродинамического режима смазывания, при котором трение минимально. Для анализа этого процесса, на первом этапе воспользуемся уравнением, учитывающим коэффициент толщины масляной пленки:

$$\lambda = \frac{2h_{min}}{S_1 + S_2} \quad (15)$$

где h_{min} – минимальная толщина гидродинамического слоя; S_1 и S_2 – среднеквадратические отклонения неровностей контактирующих поверхностей; 2 – может характеризовать увеличение толщины смазочного слоя под действием РВС. Для условий работы в двигателе внутреннего сгорания в парах трения «вкладыш – коленчатый вал» $h_{min} = 1 - 3$ мкм. В нашем случае зная характеристики обработки поверхностей, можно принять среднеквадратическое отклонение равное $1,11 Ra$ (Ra – параметр шероховатости поверхности).

Следующей стадией оценки смазочного материала с вносимой в него добавкой ремонтно-восстановительного состава, является сравнение температуры поверхности трения $T_{пт}$, с первой критической температурой смазочного материала (исходного масла М10Г₂к), характеризующей его разрушение и возникновение заедания:

$$T_{пт} = T_{кт} + T_{мт} \quad (16)$$

где $T_{кт}$ – средняя температура контурной поверхности трения, °С; $T_{мт}$ – мгновенное повышение температуры, °С.

Для расчета температуры модификации поверхности T_M принято известное уравнение:

$$T_M = \frac{E_M}{R \cdot \ln[B_n \cdot C^n \cdot H^z \cdot (v \cdot P_a)^y]} \quad (17)$$

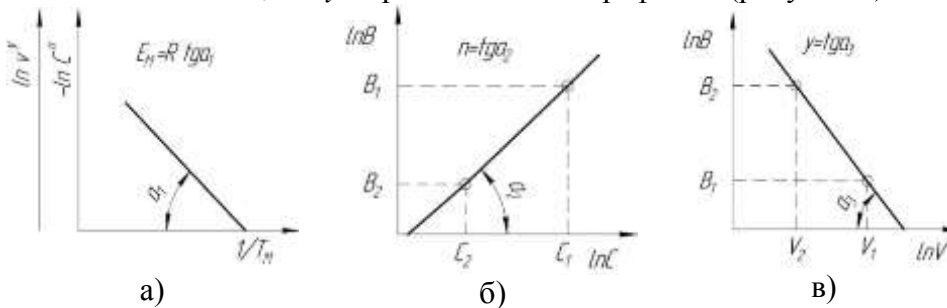
где E_M – наблюдаемая энергия активации процесса образования под действием добавки модифицированного слоя; n – наблюдаемый порядок процесса; C – концентрация компонентов в базовом масле (в нашем рассматриваемом случае); B_n , y – постоянные трибосопряжения; H – твердость по Бринеллю (в паре «вал-вкладыш»); P_a – номинальное давление в контакте; R – универсальная газовая постоянная.

Критерием разрушения модифицированного на поверхности трения слоя является реализация второй критической температуры, которая для рассматриваемого нами процесса, имеет вид:

$$T_{kp2} = \frac{E}{R \cdot (\delta - n \cdot \ln C)} \quad (18)$$

где E – суммарная энергия активации процесса реализации T_{kp2} ; R – универсальная газовая постоянная; n – порядок процесса; δ – постоянная трибосопряжения.

Значения E_M , n и y определяются по графикам (рисунок 6).



а – схема расчета E_M ; б – схема расчета n ; в – схема расчета y

Рисунок 6 – Графики для определения кинетических и термодинамических характеристик процесса граничной смазки

Для модифицированных порошков, как химически активного компонента смазочной композиции, верхний предел эффективности смазок можно определить по диаметру пятна износа на ЧШМТ (рисунок 7), оцененному при разных температурах экс-

перимента, и сравнить с данными, полученным и с использованием для расчета нагрузки сваривания для минеральных моторных масел. По диаметру пятна износа на ЧШМТ, также можно определить и температуру модификации T_m , начиная с которой, устанавливается невысокий коэффициент трения.

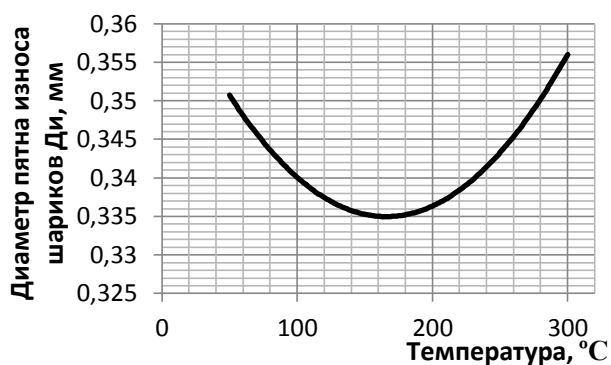


Рисунок 7 – Закономерность изменения диаметра пятна износа шариков ЧШМТ от температуры масла

Для масел с добавками зависимость изменения диаметра пятна износа $I_{Ди}$ от температуры T описывается уравнением:

$$I_{Ди} = \alpha T^3 - \beta T^2 - \delta T + \tau \quad (19)$$

где коэффициенты α , β , δ , τ – связанные с пригодностью (свойствами) моторного масла, концентрацией добавки, ее дисперсным составом и временем работы смазочной композиции, установленные экспериментально.

Как показывает предварительный анализ, на графике (рисунок 7) наблюдается степенная зависимость диаметра пятна износа шариков ЧШМТ от температуры масла с РВС, имеет место ярко выраженный минимумом $I_{Ди}$, на кото-

рый необходимо ориентироваться при проведении экспериментальных исследований.

Третья глава «Программа и методики экспериментальных исследований». Работа проводилась с использованием материально-технических и лабораторных баз ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбовского ГТУ, Липецкого ГТУ, Саратовского ГАУ им. Н. И. Вавилова, ГНУ ГОСНИТИ и в сотрудничестве с сельскохозяйственными организациями Тамбовской области.

Исследования физико-химических показателей работающих моторных масел с РВС осуществлялись в условиях аттестованной химической лаборатории ГНУ ВНИИТиН, оценка противоизносных и смазывающих свойств работающих моторных масел проводились в химической лаборатории ФГБНУ ВНИИТиН, ГНУ ГОСНИТИ и кафедре «Надежность и ремонт машин» Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова. Моделирование процессов и оценка функциональных свойств составов РВС производились в лаборатории ФГБНУ ВНИИТиН, на кафедре «Материалы и технологии» Тамбовского ГТУ, кафедре «Надежность и ремонт машин» Саратовского ГАУ им. Н.И. Вавилова. Электронно-микроскопические исследования РВС при разбавлении растворителями и коагулянтами проводились на кафедре «Материалы и технологии» Тамбовского ГТУ, люминесцентный и инфракрасный спектральный анализ на кафедре «Химии» Липецкого ГТУ, с использованием ГОСТированных методик. На рисунке 8 представлены фрагменты используемого оборудования.



а)



б)



в)



г)



д)



е)

а – фотометр «Флюорат-02 Панорама»; б – электронный микроскоп «ЭМВ-100А»; в – ИК-Фурье спектрометр «IRAffinity-1»; г – четырехшариковая машина трения; д – машина трения «Колодка-ролик»; е – трибометр «TRB-S-DE»

Рисунок 8 – Оборудование для проведения исследований

Стендово-эксплуатационные испытания добавок к работающим моторным маслам проводились на стендовом оборудовании лаборатории №8 ФГБНУ ВНИИТиН, тракторной технике ФГБНУ ВНИИТиН и тракторной технике, сельскохозяйственных предприятий Тамбовской области по ГОСТированным и специально разработанным методикам испытаний с мая по сентябрь 2012, 2013 гг.

Четвертая глава «Результаты экспериментальных исследований». Для исследований процессов изменения составов и свойств работающих моторных масел с РВС были выбраны товарное масло М10Г₂к, работающее М10Г₂к и трибопрепараты к маслам, улучшающие их противоизносные свойства, которые обладают, по заявкам производителей, ремонтно-восстановительным эффектом.

Основными исследуемыми характеристиками являлись: щелочное число, температура вспышки в открытом тигле, кинематическая вязкость, кислотное число, сульфатная зольность, содержание воды и механических примесей, содержание нерастворимого осадка, термоокислительная стабильность. В таблице 1 представлены результаты экспериментальных исследований по оценке изменения физико-химических показателей работавших в ДВС моторных масел с добавками РВС.

Таблица 1 – Результаты физико-химического анализа работавшего моторного масла М10Г₂к с добавками РВС

Показатели	Работающее М10Г ₂ к	Работающее М10Г ₂ к+2% «Сerpентин»	Работающее М10Г ₂ к+2% «Г»	Работающее М10Г ₂ к+2% «Бемит»	Работающее М10Г ₂ к+2% «Стрибойл»	Работающее М10Г ₂ к+2% «АРВО»	Работающее М10Г ₂ к+2% «Кластер»	Работающее М10Г ₂ к+2% «Metarizer»
Щелочное число, мг КОН/г	4,3	4,4	4,2	4,2	4,7	4,5	4,8	4,5
Кислотное число, мг КОН/г	1,6	1,6	1,8	1,7	1,3	1,4	1,4	1,6
Температура вспышки в открытом тигле, °С	203	200	195	198	202	200	195	198
Сульфатная зольность, %	0,9	1,1	0,8	0,9	0,9	0,8	0,82	0,9
Кинематическая вязкость, мм ² /с	9,5	9,2	9,6	9,4	9,3	9,5	9,5	9,5
Содержание механических примесей, %	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,8	0,8
Термоокислительная стабильность, мин	25	22	27	21	22	26	24	25

Анализируя данные, представленные в таблице 1, следует отметить, что значения щелочного числа при внесении ряда РВС незначительно увеличилось, кислотное число осталось практически неизменным, что говорит о содержании в работающих маслах продуктов окислений. Содержание механических примесей увеличивается с введением добавок, что свидетельствует о наличии в добавках «крупнодисперсных» порошков. На термоокислительную стабильность работающего моторного масла добавки РВС практически не влияют.

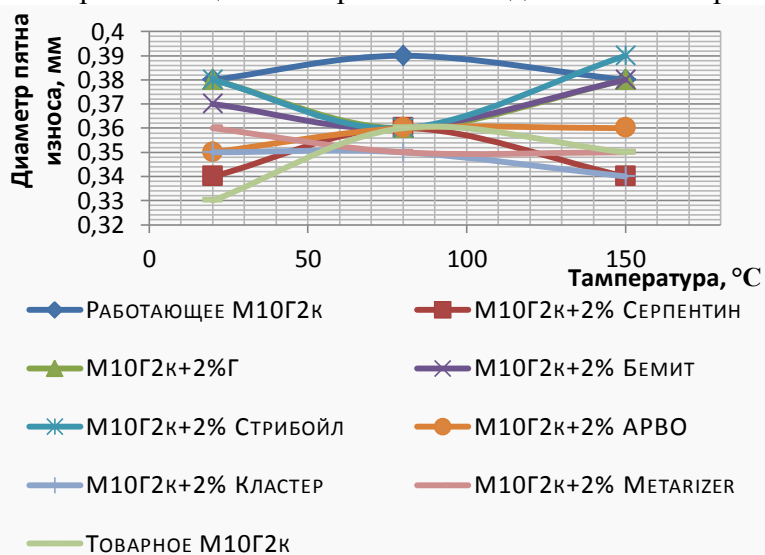


Рисунок 9 – Зависимость изменения диаметра пятна износа шариков ЧШМТ от температуры масла

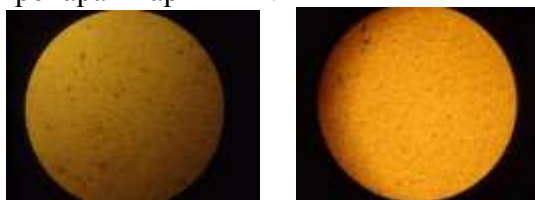
Противоизносные свойства добавок к маслам оценивались по диаметру пятна износа шариков на ЧШМТ ФГБНУ ВНИИТиН. Концентрация вносимых препаратов составляла 2 % от объема масла. Температура выбиралась максимально приближенной к температуре работы масла в узлах трения ДВС.

На рисунке 9 представлена зависимость изменения противоизносных свойств масел с известными РВС от температуры масла, определенная экспериментальным методом на ЧШМТ.

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что все исследуемые трибопрепараты обла-

дают определенными ремонтно-восстановительными свойствами.

Среди исследованных ремонтно-восстановительных составов, наилучшими физико-химическими и противоизносными свойствами обладают препараты «Кластер», «Серпентин» и препарат марки «Г».



а) б)

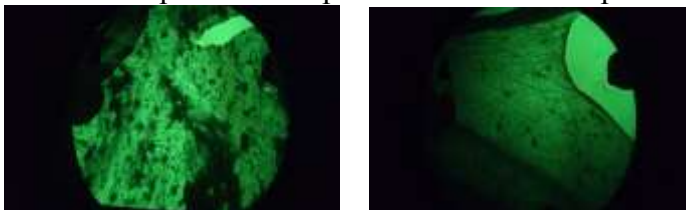
а – исходный состав; б – перемешанный с маслом М10Г₂к

Рисунок 10 – Дисперсный состав РВС

Для подтверждения теоретических предположений проводились исследования по оценке изменения состава добавки разбавлением.

При наблюдении под микроскопом, с кратностью увеличения в 140 раз установлено, что РВС «Кластер» имеет дисперсный состав включений 1 мкм и более (рисунок 10, а). При разбавлении РВС моторным маслом М10Г₂к, количество включений меняется (рисунок 10, б). В РВС «Кластер» вносился гидроксид аммония в концентрации 1, 2, 3, 5, 7, 10, 12

и 15 %, по отношению к массе композиции. На рисунке 11 представлены внешний вид пленок смазочной композиции «Кластер» до и после разбавления гидроксидом аммония, при увеличении в электронном микроскопе в 220 тыс. крат.



до разбавления

после разбавления

Рисунок 11 – Изменение дисперсного состава смазочной композиции

Анализируя рисунок 11, можно сделать вывод, что после разбавления дисперсный состав РВС уменьшается, изменяется его структура.

Проведенные исследования позволяют говорить о создании, на базе известного состава, новой смазочной композиции (патент № 2507243).

Установлено, что ни одна из анализируемых добавок не снижает окислительные процессы в работающих маслах, а в некоторых случаях выполняя ремонтно-восстановительные функции, даже их интенсифицирует. Накопление смол, продуктов окислений в работающем масле создает условия, когда присадки, присутствующие в маслах: моющее-диспергирующие, антиокислительные, противоизносные – практически не справляются со своими функциями, а эффективность их действия в какой-то степени заблокирована.

Для оценки процессов укрупнения мелкодиспергированных продуктов окислений в работающее моторное масло вносился диамид угольной кислоты, растворенной в гидроксиде аммония. Оптимальная концентрация внесения определялась опытным путем и варьировалась в интервале от 0,1 до 0,5 % от объема масла.



а)

б)

в)

а – исходное масло; б – масло, после внесения 0,1% диамида угольной кислоты; в – масло, после внесения 0,3% диамида угольной кислоты

Рисунок 12 – Характеристика процесса укрупнения продуктов окислений моторного масла

укрупнения менее выражен, при концентрации 0,3 % – наблюдается быстрое укрупнение частиц смол, асфальтенов с 1 мкм до 20 – 50 мкм. Увеличение концентрации более 0,3 % не приводит к существенным изменениям дисперсного состава примесей.

В результате исследований установлено, что при смешивании работающего моторного масла с диамидом угольной кислоты, наблюдается укрупнение частиц продуктов окислений с преобразованием их в конгломераты (рисунок 12).

При внесении 0,1 % диамида угольной кислоты в работающее моторное масло, процесс

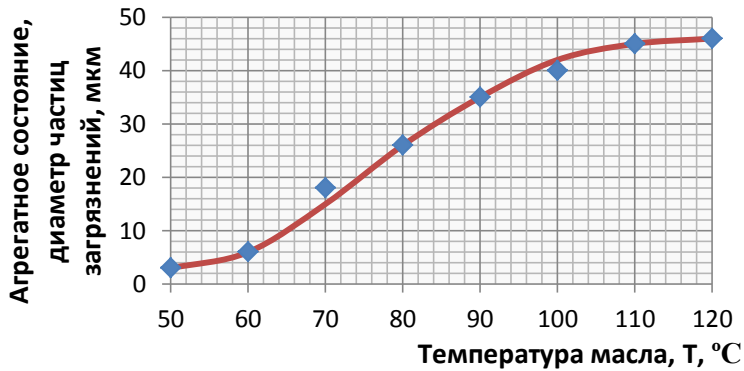
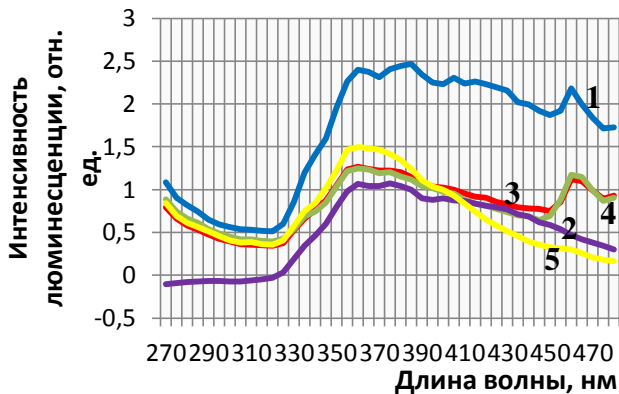


Рисунок 13 – Зависимость изменения коагулирующей способности частиц от температуры масла

происходит при температуре 70 – 100°C, далее процесс стабилизируется.

Как известно, при внесении в масло различных препаратов, изменяется его состав. Для оценки изменения моторного масла, с добавкой разрабатываемой РВС, проводился анализ содержания органических веществ в пробах масел.

Из представленных графиков люминесцентного анализа установлены изменения состава масла под действием добавок (рисунок 14).



1 (синяя линия) – М10Г2к; **2** (фиолетовая линия) – М10Г2к после 100ч наработки; **3** (красная линия) – отработавшее масло с разработанной смазочной композицией; **4** (зеленая линия) – отработавшее масло с добавкой 50%-ного раствора диамида угольной кислоты и гидроксида аммония; **5** (желтая линия) – отработавшее масло с добавкой известной смазочной композиции

Рисунок 14 – Люминесцентные спектры проб масел с добавками

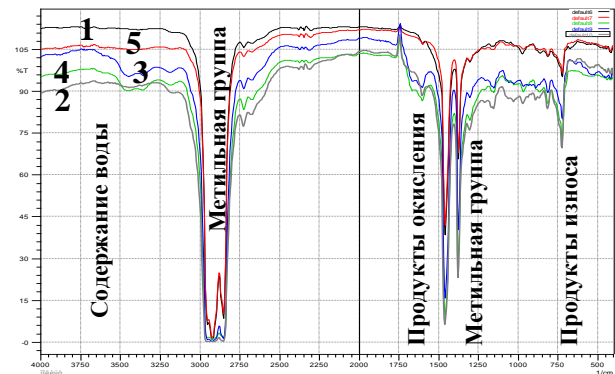
По результатам анализа ИК-спектров масла с добавками (рисунок 15) установлено, что содержание продуктов износа и механических примесей в различных пробах масла разное, присутствуют металлы, что свидетельствует о содержании ультрадисперсных порошков в составе добавки ультрадисперсного препарата, состоящего из порошка дисульфида молибдена и порошка сплава латуни и фосфора, содержание продуктов окислений и примесей в пробах масла после его очистки уменьшилось.

При проведении экспериментальных исследований по разработке способа удаления примесей установлено, что процесс изменения содержания примесей зависит от частоты вращения ротора центрифуги (рисунок 16), температуры нагрева и времени очистки (рисунок 17).

Процесс смешивания загрязненного моторного масла с диамидом угольной кислоты проводился при различных температурах масла (от 50° до 100 °С).

На рисунке 13 представлена зависимость изменения коагулирующей способности загрязненного моторного масла от температуры его нагрева при концентрации внесения 0,3 % диамида угольной кислоты.

Следует отметить что, агрегация примесей наиболее эффективно



1 (черная линия) – М10Г2к; **2** (бежевая линия) – М10Г2к после 100ч наработки; **3** (Синяя линия) – отработавшее масло с добавкой 50%-ного раствора диамида угольной кислоты и гидроксида аммония; **4** (зеленая линия) – отработавшее масло с добавкой известной смазочной композиции; **5** (красная линия) – отработавшее масло с разработанной смазочной композицией

Рисунок 15 – ИК-спектры проб масел с добавками

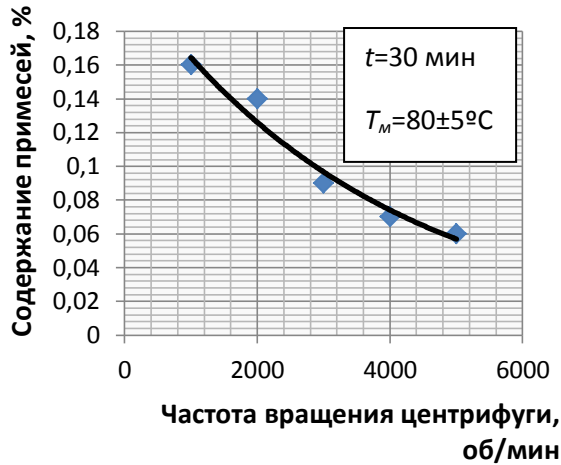


Рисунок 16 – Зависимость изменения содержания примесей в очищаемом масле от частоты вращения ротора центрифуги

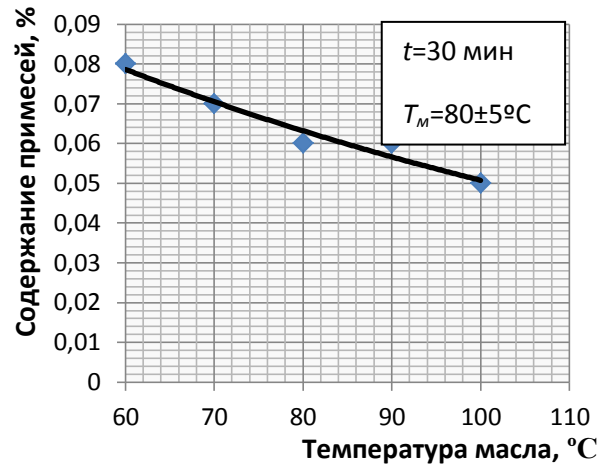


Рисунок 17 – Зависимость изменения содержания примесей в очищаемом масле от температуры при постоянных оборотах и времени очистки

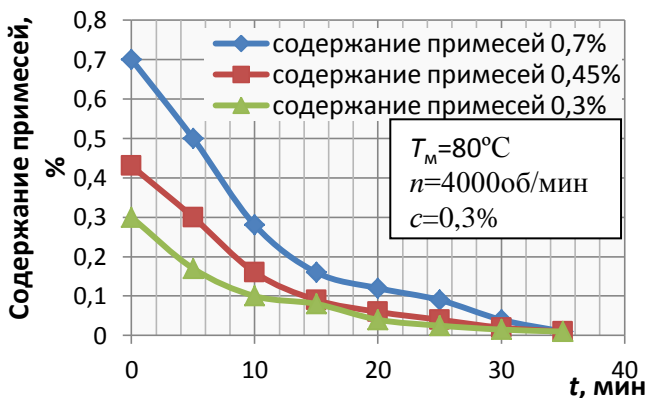


Рисунок 18 – Зависимость изменения содержания примесей в масле от времени центрифугирования

Анализируя полученные данные по оптимизации времени очистки (рисунок 18), кривые следует отметить, что наибольший эффект удаления примесей достигается при центрифугировании масла в течение 20 – 25 минут.

На основании данных исследований разработан способ удаления примесей из работающих моторных масел (положительное решение о выдаче патента на изобретение № 2528421 от 20.09.2014 г).

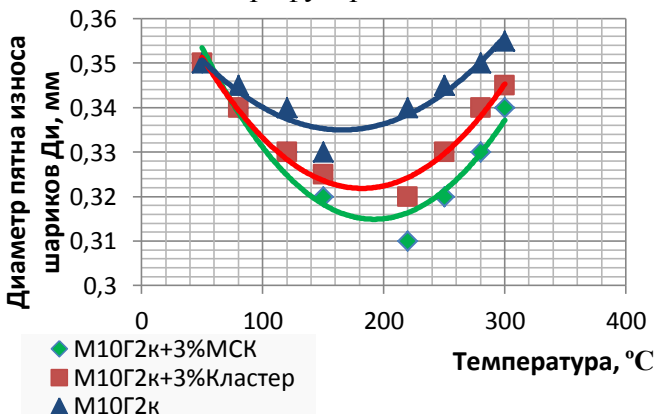


Рисунок 19 – Зависимость изменения диаметра пятна износа шариков ЧШМТ от температуры масла

Как известно, сопрягаемые поверхности ДВС наиболее часто работают в условиях граничной смазки. Моделируя данные условия в ЧШМТ (трения шарика о шарики в масле) установлено, что при добавлении разработанной смазочной композиции РВС в масло М10Г₂к противозносные свойства, увеличились практически в два раза, при температуре 150 – 250 °С (рисунок 19). Свойства работающего моторного масла изменяются по-другому (рисунок 20).

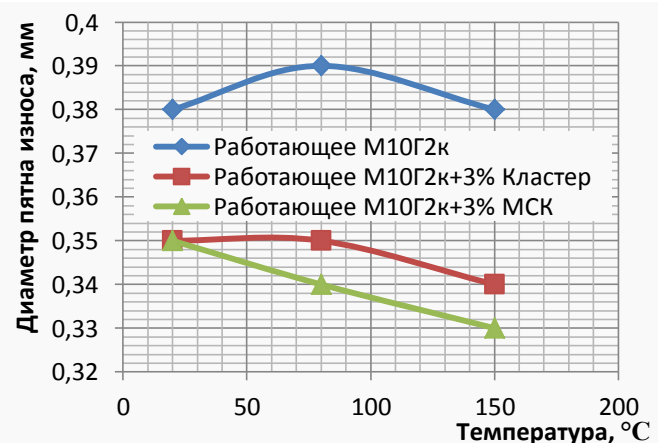
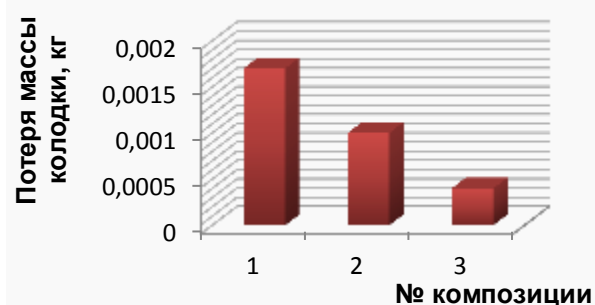


Рисунок 20 – Зависимость изменения диаметра пятна износа шариков ЧШМТ от температуры работающего моторного масла

Из рисунка 20 видно, что наиболее высокими противоизносными свойствами обладает масло, модифицированное смазочной композицией, после удаления из него продуктов окислений и примесей.

Можно констатировать факт, что при повышенных температурах смазочное масло с разработанной многофункциональной смазочной композицией (МСК) будет обладать даже более высокими эксплуатационными свойствами, чем товарные масла.



1 – работавшее 100 ч масло М10Г₂к; 2 – работавшее масло с добавкой «Кластер»; 3 – работавшее масло с разработанной смазочной композицией

Рисунок 21 – Характер износа по потери массы колодок

РВС, дополнительно оценивались по изменению коэффициента трения, исследования проводилась в лаборатории ГНУ ГОСНИТИ на трибометре TRB-S-DE. Анализируя полученные результаты установлено, что у пробы работавшего масла после внесения смазочной композиции и удаления примесей коэффициент трения выше, чем у товарного масла М10Г₂к.

Таблица 2 – Результаты взвешивания и микрометража деталей двигателя Д-240 до начала проведения второго этапа испытаний и после

№ п/п	Результаты до испытаний		Результаты после испытаний	
	Вкладыш, г	Шейка коленчатого вала, мм	Вкладыш, г	Шейка коленчатого вала, мм
Шатунные				
1	98,5896	68,23	98,5897	68,23
	98,7854		98,7856	
2	98,5632	68,24	98,5635	68,24
	98,4587		98,4589	
3	98,3654	68,24	98,3658	68,24
	98,4588		98,4590	
4	98,9124	68,23	98,9127	68,23
	98,7524		98,7526	
Коренные				
1	91,2154	75,23	91,2155	75,23
	91,1857		91,1858	
2	91,1354	75,22	91,1357	75,22
	91,2087		91,2089	
3	91,1852	75,24	91,1853	75,24
	91,1691		91,1692	
4	91,2414	75,22	91,2415	75,22
	91,1485		91,1486	

Независимая оценка противоизносных свойств масел и смазочных композиций проведенная на кафедре «Надежность и ремонт машин» СГАУ им. Н. И. Вавилова на машине трения «Колодка-ролик» (рисунок 21), показала, что минимальные значения потери массы колодок получены в процессе испытаний масел с добавкой разработанной смазочной композиции, которые в два раза превосходят показатели испытаний масла с добавкой известного РВС.

Противоизносные свойства работающих моторных масел, модифицированных

Анализируя данные таблицы 2, в первую очередь следует обратить внимание на то, что за период наработки параметры износа коленчатого вала остались практически неизменными. Это, прежде всего, положительно характеризует компонентные составы сравниваемых РВС, их высокие противоизносные свойства.

В результате взвешивания вкладышей (таблица 2) установлено, что вес коренных вкладышей увеличился в среднем на 0,0003 г, а шатунных на 0,0004 г, что подтверждает факт новообразований на поверхностях трения. К тому же, как показал визуальный анализ вкладышей, после разборки двигателя и промывки их в дизельном топливе, на всей рабочей поверхности трения имеется своего рода «блестящая пленка латунно-серебристого цвета» (рисунок 22).

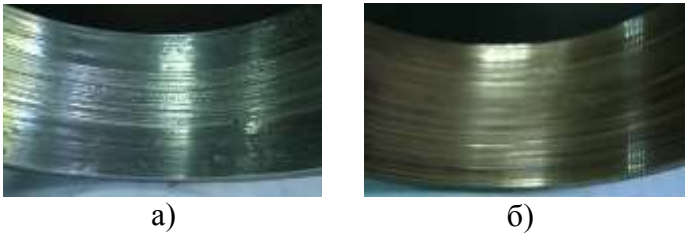


Рисунок 22 – Вкладыш до (а) и после (б) испытаний смазочной композиции

наработки в двигателе Д-240.

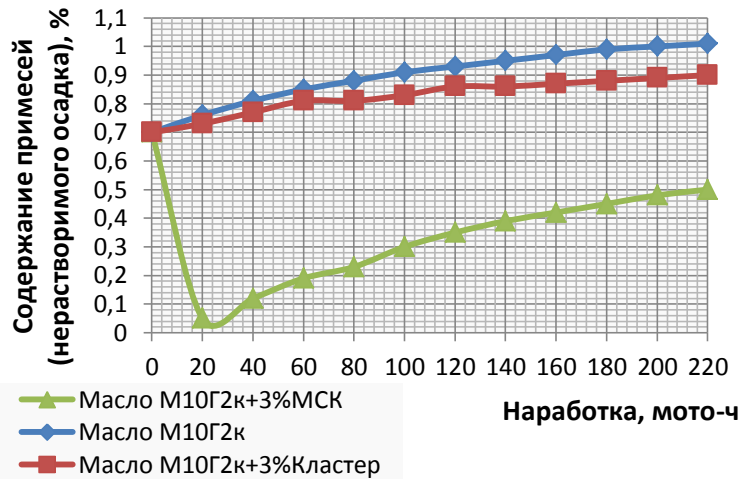


Рисунок 23 – Зависимость изменения содержания примесей (нерастворимого осадка) в масле от наработки двигателя Д-240

нию щелочного и кислотного чисел масла (рисунок 24), отмечается менее активная динамика снижения щелочного числа моторного масла после внесения МСК и удаления примесей, по сравнению с показателями снижения при использовании РВС «Кластер».

Эксплуатационные испытания разработанной смазочной композиции проводились в 2012 – 2013 гг. в СХПК ПЗ «Пригородный» Тамбовского района Тамбовской области в тракторах марки МТЗ.

До и после внесения многофункциональной смазочной композиции, а также через каждые 20 часов работы тракторов из картера двигателей отбиралось 50 мл масла для проведения лабораторного физико-химического анализа и оценки его остаточного ресурса.

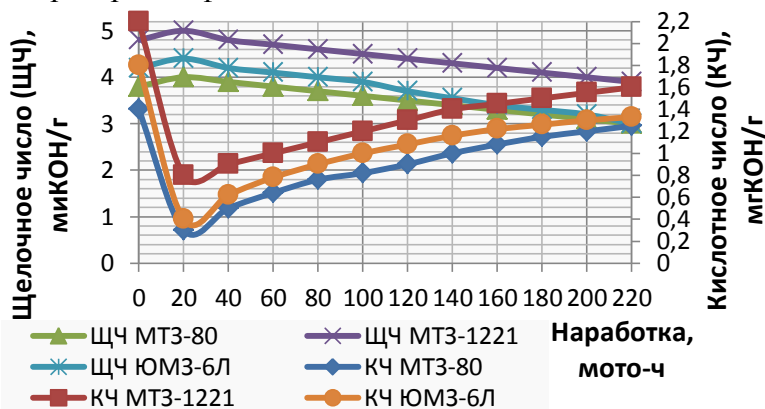


Рисунок 24 – Зависимость изменения физико-химических показателей моторных масел от наработки после внесения смазочной композиции в двигателе Д-240

На протяжении всех этапов сравнительных стендовых испытаний РВС, проводился анализ изменения щелочного и кислотного числа работающего с добавками масла, а также анализ содержания нерастворимого осадка. На рисунке 23 представлены зависимости накопления примесей в работающем моторном масле, под действием препаратов «Кластер» и МСК от

Рассматривая процессы, происходящие в работающем моторном масле, после внесения в него МСК (кривая «Масло М10Г₂к + 3 % МСК»), установлено, что после внесения препарата и очистки масла, под его действием, содержание примесей (нерастворимого осадка) снижается в 7 раз. Дальнейшие испытания показали, что через 200 часов работы (а в общей сложности 300 часов) моторное масло имеет высокие эксплуатационные свойства по загрязненности, способное в динамике проработать еще более 100 часов.

Рассматривая полученные в ходе испытаний данные по изменению

щелочного и кислотного чисел масла (рисунок 24), отмечается менее активная динамика снижения щелочного числа моторного масла после внесения МСК и удаления примесей, по сравнению с показателями снижения при использовании РВС «Кластер».

Эксплуатационные испытания разработанной смазочной композиции проводились в 2012 – 2013 гг. в СХПК ПЗ «Пригородный» Тамбовского района Тамбовской области в тракторах марки МТЗ.

До и после внесения многофункциональной смазочной композиции, а также через каждые 20 часов работы тракторов из картера двигателей отбиралось 50 мл масла для проведения лабораторного физико-химического анализа и оценки его остаточного ресурса.

Анализируя данные представленные на рисунке 24 очевидно, что у всех масел после внесения смазочной композиции незначительно вырастает показатель щелочного числа, а кислотного резко уменьшился, что говорит о способности МСК увеличивать ресурс моторного масла, удаления из него продуктов окислений.

Также отмечено, что ремонтно-восстановительный эффект (рисунок 25) стал проявляться только после 100 – 150 часов работы тракторов с МСК.

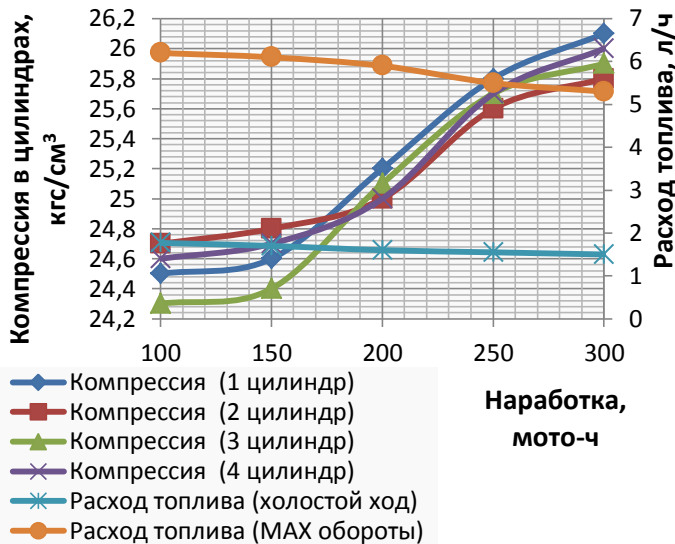
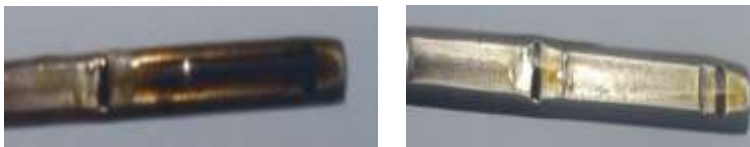


Рисунок 25 – Зависимость изменения показателей ДВС трактора МТЗ-80 от наработки под действием МСК



а)

б)

Рисунок 26 – Внешний вид масла щупе до (а) и после (б) обработки загрязненного моторного масла МСК

Внешний вид масла щупе до (а) и после (б) обработки загрязненного моторного масла МСК. Годовой экономический эффект от внедрения МСК в качестве ремонтно-восстановительной композиции изношенных деталей двигателя и свойств работающего моторного масла, по сравнению с традиционными методами ремонта, составляет 59085 рублей на один трактор.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ состояния вопроса изнашивания сельскохозяйственной техники показал, что основное количество отказов вызвано износом рабочих поверхностей трения двигателей внутреннего сгорания (43 %), среди которых 85 % восстанавливают при износе более 0,3 мм. Технологии восстановления изношенных деталей двигателей относятся к разряду ресурсосберегающих. Наиболее эффективными, среди них, являются мало затратные безразборные методы ремонта с использованием РВС. Однако большинство РВС имеют недостаточные эксплуатационные свойства для использования в двигателях тракторов.

2. Возможность повышения эксплуатационных свойств РВС базируется на создании и обосновании механизма переноса свойств компонентов РВС на свойства масла. Установлено, что в масляной системе с твердофазными компонентами, которыми являются частицы РВС в работающем моторном масле, необходима реализация кавитационных процессов при дросселировании смеси масла с РВС и разбавление РВС, позволяющих изменить параметры процесса восстановления.

3. Пригодность работающего масла выполнять ремонтно-восстановительные функции подчиняется закономерностям, описывающим скорость изменения примесей в масле, в зависимости от времени, и запас эксплуатационных свойств, определяемым щелочным числом масла. Оценка эффективности удаления примесей из масла проводится с учетом показателя увеличения кратности фактора разделения. Изменение противоизносных свойств моторного масла зависит от температуры смазочного материала и коэффициентов, связанных с пригодностью

Данный факт говорит о том, что для ремонтно-восстановительной операции требуется определенное время для того, чтобы РВС начал эффективно действовать в сопряженных деталях.

При использовании моторного масла с многофункциональной смазочной композицией у двигателей тракторов расход топлива снизился на 5 – 7 %, повысилась компрессия в цилиндрах на 10 – 15 %. Также подтверждено, что многофункциональная смазочная композиция позволяет увеличить ресурс работающего моторного масла в 1,5 раза. На рисунке 26 представлены фотографии щупа с моторным маслом до и после внесения смазочной композиции.

В пятой главе «Расчет экономической эффективности от внедрения смазочной композиции» проведена оценка экономической эффективности внедрения усовершенствованного технологического процесса безразборного восстановления изношенных

(способностью выполнять ремонтно-восстановительные функции) моторного масла, концентрацией добавки, ее дисперсным составом и временем работы смазочной композиции.

4. Экспериментальные исследования подтвердили перспективность теории разбавления РВС гидроксидом аммония для повышения эффективности восстановления изношенных деталей ДВС. Дисперсный состав частиц РВС изменяется с 5 – 10 мкм до 0,1 мкм. Оптимальная концентрация вносимого гидроксида аммония составляет 2 – 3 %. Установлено, что при внесении 0,3 % диамида угольной кислоты в разогретое до температуры 80 ± 5 °С работающее моторное масло, дисперсный состав продуктов окислений и примесей увеличивается с 1 мкм до 20 – 30 мкм. В результате исследований разработан оптимальный состав смазочной композиции (МСК), содержащая минеральное масло и порошкообразный наполнитель, состоящий из смеси наноразмерных порошков дисульфида молибдена и сплава порошков латуни и фосфора, с соотношением компонентов, в мас. %: 55:30:15, разбавленных в минеральном масле, отличающаяся тем, что в композицию добавляют 15 % раствора диамида угольной кислоты в 10 % растворе гидроксида аммония, в соотношении 50:50 мас. %, разбавленных в 84,7 % минерального масла (Пат. РФ № 2507243).

5. В результате электронной микроскопии, люминесцентного и инфракрасного спектрального анализа проб масел и смазочной композиции установлено изменение состава масла после его разбавления и центрифугирования с МСК. Оптимальными параметрами процесса удаления продуктов окислений из работающего моторного масла под действием смазочной композиции являются: частота вращения ротора тракторной центрифуги $n = 4000$ об/мин, температура моторного масла 80 ± 5 °С, время удаления примесей $t = 25$ минут. Разработан способ удаления примесей из работающего моторного масла (Пат. РФ № 2528421).

6. В результате сравнительных стендовых испытаний установлено, что внесение разработанной смазочной композиции в работающее в двигателе Д-240 моторное масло, изношенные поверхности восстанавливаются на 30 % эффективнее по сравнению с известным РВС, а эксплуатационные характеристики работающего моторного масла увеличиваются на 40 %.

7. На основании эксплуатационных испытаний установлено, что пригодность масла выполнять ремонтно-восстановительные функции может быть определена на основании экспресс анализа их загрязнений (примесей) и щелочного числа работающего моторного масла (Пат. РФ № 2484462). Использование МСК в двигателях тракторов МТЗ позволяет снизить расход топлива на 5 – 7 % и увеличить компрессию в цилиндрах на 10 – 15 %. Противоизносные свойства работающего моторного масла повышаются на 30 – 40 %. Годовой экономический эффект от внедрения МСК в качестве ремонтно-восстановительной композиции изношенных деталей двигателя и свойств работающего моторного масла, по сравнению с традиционными методами ремонта, составляет 59085 рублей на один трактор.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

В изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Попов С. Ю. Определение содержания антиокислительной присадки в работающем моторном масле [Текст] / Остриков В. В., Бусин И. В., Попов С. Ю. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – №1. – с. 25-26.

2. Попов С. Ю. Анализ термостабильности присадок в моторном масле [Текст] / Остриков В. В., Бусин И. В., Попов С. Ю. // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – №1. – с. 23-25.

3. Попов С. Ю. Исследование характеристик масел при обогащении их добавками [Текст] / Остриков В. В., Бусин И. В., Попов С. Ю., Зимин А. Г. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2012. – №2. – с. 26-27.

4. Попов С. Ю. Расширение функциональных возможностей добавок к моторным маслам [Текст] / Остриков В. В., Зимин А. Г., Попов С. Ю., Сафонов В. В., Сафонов К. В. // Техника в сельском хозяйстве. – 2012. – №2. – с. 32-33

5. Попов С. Ю. Теоретический анализ критериальных характеристик работоспособности моторного масла при восстановлении его свойств [Текст] / Остриков В. В., Попов С. Ю., Бусин И. В., Забродский И. А. // Научное обозрение. – 2013. – №10. – с. 134-137.

6. Попов С. Ю. Теоретический анализ пригодности работающего моторного масла к ремонтно-восстановительным операциям под действием многофункциональных добавок [Текст] / Остриков В. В., Попов С. Ю., Зимин А. Г., Забродский И. А. // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – №4. – с. 42-44.

7. Попов С. Ю. Многофункциональная добавка к моторным маслам [Текст] / Остриков В. В., Зимин А. Г., Попов С. Ю., Сафонов В. В. // Двигателестроение. – 2014. – №2 (256). – с. 32-35.

Патенты РФ:

8. Пат. 2484462 Российская Федерация, МПК G01N33/28. Способ определения щелочного числа моторных масел / Остриков В. В., Тупотилов Н. Н., Корнев А. Ю., Забродская А. В., Бусин И. В., Попов С. Ю.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии – 2012123336/15; заявл. 05.06.2012; опубл. 10.06.2013; Бюл. 16.

9. Пат. 2507243 Российская Федерация, МПК C10M125/00. Смазочная композиция / Остриков В. В., Сафонов В. В., Попов С. Ю., Сафонов К. В., Зимин А. Г.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии – 2013101358/04; заявл. 10.01.2013; опубл. 20.02.2014; Бюл. 5.

10. Пат. 2528421 Российская Федерация МПК C10M175/02. Способ очистки моторного масла от продуктов старения и загрязнений / Остриков В. В., Попов С. Ю., Зимин А. Г.; заявитель и патентообладатель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии – 2013130794/04; заявл. 04.07.2013; опубл. 20.09.2014; Бюл. 26.

Публикации в сборниках научных трудов и материалах конференций:

11. Попов С. Ю. Теоретические аспекты удаления продуктов старения из работающих моторных масел [Текст] / Остриков В. В., Бусин И. В., Попов С. Ю. // Materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «NAUKOWA MYŚL INFORMACYJNEJ POWIEKI – 2012» – с.8-15.

12. Попов С. Ю. Модель структурно-энергетического состояния смазочного масла с присадками [Текст] / Остриков В. В., Шелохвостов В. П., Попов С. Ю. // Materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji «DYNAMIKA NAUKOWYCH BADAN – 2012» – с. 32-36.

13. Попов С. Ю. Теоретические аспекты анализа влияния наноструктурных компонентов на масляную среду [Текст] / Остриков В. В., Шелохвостов В. П., Попов С. Ю. // Материалы за VIII международна научна практична конференция «Бъдещето въпроси от света на науката 2012», 17-25 декабря, 2012. – Том 38. – Физика Физическа култура и спорт. – София. – с. 13-20.

14. Попов С. Ю. Критерии эффективности очистки моторных масел от продуктов старения и его работоспособности [Текст] / Остриков В. В., Бусин И. В., Попов С. Ю., Забродский И. А. // Материалы за VIII международна научна практична конференция «Бъдещето въпроси от света на науката 2012», 17-25 декабря, 2012. – Том 39. – Технологии. – София. – с.89-98.

15. Попов С. Ю. Восстановление свойств добавок к моторным маслам [Текст] / Зимин А. Г., Попов С. Ю. // IV Всероссийская научно-практическая конференция «Ремонт. Восстановление. Реновация», 19-21 марта 2013. – Уфа. – с. 62-65.

16. Попов С. Ю. Расширение функциональных возможностей ремонтно-восстановительного состава [Текст] / Остриков В. В., Попов С. Ю., Сафонов В. В., Сафонов К. В. // 15 Международная научно-практическая конференция «Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика», 16-19 апреля, 2013. – Том 2. – Санкт-Петербург. – с. 214-218.

17. Попов С. Ю. Использование присадок и трибопрепаратов для увеличения сроков службы масел и повышения эффективности работы деталей машин [Текст] / Остриков В. В.,

Зимин А. Г., Попов С. Ю. // Сборник научных докладов XVII Международной научно - практической конференции «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства», 24-25 сентября, 2013. – Тамбов. – с.219-223.

18. Попов С. Ю. Повышение эффективности действия добавок к маслам [Текст] / Остриков В. В., Зимин А. Г., Попов С. Ю., Сафонов В. В. // Материалы Международного научно - технического семинара им. В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации авто-тракторной техники», выпуск 26. – Саратов. – ООО «Буква», 2013. – с. 157-162.

19. Попов С. Ю. Исследование очистки отработанных синтетических моторных масел специфическими растворителями [Текст] / Остриков В. В., Тупотилов Н. Н., Попов С. Ю. // Наука в центральной России. – 2013. – №5. – с. 27-30.

20. Попов С. Ю. Повышение эффективности действия ремонтно-восстановительных составов [Текст] / Остриков В. В., Зимин А. Г., Попов С. Ю. // Наука в центральной России. – 2013. – №5. – с. 30-36.

21. Попов С. Ю. Теоретическая оценка пригодности работающего моторного масла к проведению ремонтно-восстановительных операций [Текст] / Остриков В. В., Зимин А. Г., Попов С. Ю., Забродский И. А. // Наука в центральной России. – 2013. – №5. – с. 36-43.

22. Попов С. Ю. Теоретический анализ структурирования моторного масла многофункциональной добавкой [Текст] / Остриков В. В., Шелохвостов В. П., Попов С. Ю., Сафонов В. В. // Наука в центральной России. – 2014. – №1 (7). – с. 42-52.

23. Попов С. Ю. Теоретическая оценка противоизносных свойств многофункциональной смазочной композиции [Текст] / Остриков В. В., Попов С. Ю., Зимин А. Г. // Наука в центральной России. – 2014. – №2 (8). – с. 42-48.

24. Попов С. Ю. Многофункциональная наноструктурированная добавка к работающим моторным маслам [Текст] / Остриков В. В., Попов С. Ю., Сафонов В. В. // ТРУДЫ 9-й Международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». – Часть 5. – «Инфокоммуникационные технологии и нанотехнологии», 21–22 мая 2014. – Москва. – ГНУ ВИЭСХ. – с. 186-191.

25. Попов С. Ю. Закономерности процесса удаления продуктов старения из работающего моторного масла в поле центробежных сил [Текст] / Остриков В. В., Попов С. Ю., Сафонов В. В. // Материалы Международного научно-технического семинара имени В. В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники», выпуск 27. – Саратов. – ООО «Буква», 2014. – с.142-148.

Подписано в печать _____ Формат 60x84/16

Объем 1,0 п. л. Тираж 100 экз.

392022, г. Тамбов, пер. Новорубежный, д. 28

ФГБНУ ВНИИТиН

