

На правах рукописи



Кошелев Александр Викторович

**РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ОЧИСТКИ
СИСТЕМЫ СМАЗКИ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЙ
СОСТАВОМ НА ОСНОВЕ ОТРАБОТАННОГО МОТОРНОГО
МАСЛА**

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного
комплекса

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2025

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

Научный руководитель:

Остриков Валерий Васильевич доктор технических наук, профессор.

Официальные оппоненты:

Балабанов Виктор Иванович, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», кафедра организации и технологий гидромелиоративных и строительных работ, заведующий кафедрой;

Курбаков Иван Иванович, кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н.П. Огарева», кафедра мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин имени профессора А.И. Лещанкина, доцент.

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина».

Защита состоится 03 июля 2025 г. в 13 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 35.2.008.01, созданного на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ), по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинженерного факультета (корпус № 3), аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ и на сайте www.vsau.ru («Диссертационные советы» – «Защиты» – «35.2.008.01»), а также по ссылке: [https:// ds.vsau.ru/?p=12364](https://ds.vsau.ru/?p=12364).

Автореферат разослан 15 мая 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Афоничев Дмитрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Срок службы сельскохозяйственной техники во многом зависит от своевременного проведения операции технического обслуживания и ремонта.

В настоящее время в силу объективных и субъективных причин касающихся, прежде всего, слаборазвитой базы и приборного обеспечения для выполнения операций технического обслуживания, ограниченных финансовых возможностей основной массы сельскохозяйственных предприятий и некоторых других факторов, перечень регламентированных работ по обслуживанию и диагностике двигателей тракторов сужен до замены отработавшего свой срок моторного масла и масляных фильтров.

Во время работы двигателя, в масле накапливаются продукты его старения, сгорания топлива, разложения углеводородной основы масла. Одна часть из них удаляется встроенными в систему смазки средствами очистки, другая осаждается в виде смолистых соединений в масляных каналах, на днище картера. Данные загрязнения и отложения возможно удалить, проводя операцию промывки системы смазки после слива отработанного моторного масла специальными промывочными маслами или технологиями и техническими средствами, предназначенными для выполнения данных работ.

Промывка системы смазки, как показывает практика эксплуатации тракторов, позволяет продлить срок службы ДВС до ремонта на 20-30%.

Особенно актуальным выполнение операции промывки системы смазки становится для машин с высоким износом, большим сроком службы, при использовании топлив и масел с отклонениями от требований стандартов.

Несмотря на достаточно большое количество промышленно выпускаемых промывочных масел и жидкостей, они не нашли широкого применения в АПК при обслуживании двигателей сельскохозяйственных машин из-за своей высокой цены, а в некоторых случаях и недостаточной моющей способности при удалении загрязнений и отложений из системы смазки дизельных двигателей машин.

Решить все вышеперечисленные проблемы возможно разработкой новых подходов, предполагающих в первую очередь создание ресурсосберегающих технологий получения промывочных масел непосредственно в условиях предприятий АПК.

Одним из таких подходов и направлений может быть решение задачи использования отработанных моторных масел в качестве базовых масел, выбор и исследование компонентов добавок, повышающих моющие свойства масла.

До настоящего времени задача использования отработанных масел в качестве основы являлась практически не разрешаемой, так как отсутствовали доступные, простые, малозатратные и эффективные способы очистки отработанных масел от смол, продуктов окисления, адаптированные к условиям предприятий АПК.

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» в рамках государственного задания № 075-01200-22-00 «Новые методы и средства рационального использования топлив, смазочных материалов и альтернативных источников энергии, оборудование и материалы для противокоррозионной защиты техники (FGSG-2022-0010)».

Степень разработанности темы. Вопросами повышения надежности техники и разработкой системы технического обслуживания машин занимались ученые: Авдотькин Ф.Н., Андронов А.М., Волков Д.П., Зорин В.А., Крамаренко Г.В., Крившин А.П., Кузнецов Е.С., Мартисов Ю.Л., Проников А.С., Саньков В.М., Турсунов А.А., Шейнин А.М., Ленский Л.А. и другие. Активную работу в этом направлении вел «Всероссийский

научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка» (ГОСНИТИ).

Проблемам продления сроков службы изношенной техники, восстановления деталей машин, совершенствования технологий и технических средств очистки работающих и отработанных масел посветили свои многочисленные труды ученые: Григорьев М.А., Кадырметов А.М., Венцель С.Р., Лысыков Г.П., Фукс И.Г., Картошкин А.П., Рыбаков К.В., Стрельцов В.В., Сафонов В.В., Уханов А.П., Быстрицкая А.П., Лялякин В.П., Остриков В.В.

До настоящего времени отсутствовали технологии получения составов промывочных масел на базе отработанных масел. В литературных источниках практически отсутствует информация о закономерностях изменения свойств промывочных масел, возможности их повторного использования.

Объект исследования: технологические и динамические процессы, происходящие в масле и в системе смазки дизельного двигателя при удалении из него загрязнений, при приготовлении состава промывочного масла и в процессе его применения.

Предмет исследования: закономерности изменения свойств промывочного масла и характеристик дизельного двигателя в процессе удаления загрязнений из системы смазки.

Цель исследования: повышение эффективности использования масел в дизельных двигателях сельскохозяйственных машин.

Задачи исследования:

- оценить целесообразность промывки системы смазки дизельных двигателей сельскохозяйственных машин при использовании современных моторных масел с повышенными моющими свойствами;

- изучить процессы, происходящие при удалении из отработанных моторных масел загрязнений для их использования в качестве основы промывочного масла;

- обосновать рациональный состав промывочного масла, схему и параметры процесса смешивания основы с добавками, определить показатель эффективности промывки;

- провести экспериментальные исследования изменения свойств моторного масла в процессе эксплуатации двигателя, эксплуатационных свойств разработанного состава промывочного масла.

Научная новизна работы:

- предложен способ очистки отработанных минеральных масел посредством использования коагулянтов, отличающийся тем, что отстаившуюся верхнюю часть масла декантируют в отдельную емкость, нагревают до 60-70 °С, после чего вносят N-метилпирролидон в количестве 10-20 об.% к объему очищаемого масла, полученную смесь перемешивают 5-10 минут и отстаивают 8-10 часов;

- установлена дифференциальная функция восстановления эффективности дизельного двигателя, отличающаяся эмпирическим определением компрессии и изменения цвета промывочного масла;

- обоснован состав промывочного масла на базе очищенного отработанного моторного масла с моющими добавками, отличающийся тем, что промывочное масло дополнительно содержит гидроксид аммония, карбамид, изопропиловый спирт, 3-гидрокси-3-карбоксивентандиовую кислоту при следующем соотношении компонентов масс. %: диметилсульфоксид 1-3, дизельное топливо 1-3, изопропилат калия 1-3, изопропиловый спирт 1-3, гидроксид аммония 1-3, карбамид 0,5-1, 3-гидрокси-3-карбоксивентандиовая кислота 0,5-1, очищенное отработанное минеральное моторное масло до 100;

- экспериментально установлены зависимости изменения содержания нерастворимого осадка в составе промывочного масла в зависимости от времени осаждения загрязнений и концентрации реагента (раствора карбамида в гидроксиде аммония), отличающиеся учетом свойств разработанного промывочного масла.

Теоретическую значимость работы представляют аналитические зависимости, позволяющие обосновать эффективные процессы получения из отработанного моторного масла аналоги базового масла, определить рациональный состав промывочного масла и параметры процесса его получения (перемешивания), установить показатели эффективности моющего свойства масла.

Практическая значимость работы. Применение разработанного состава промывочного масла на основе очищенного отработанного моторного масла с добавками позволяет снизить затраты на приобретение дорогостоящих промывочных масел, продлить срок службы работающего, свежезаправленного моторного масла, снизить затраты на техническое обслуживание, эффективно решать вопросы ресурсосбережения и экологические проблемы в целом. Предложенный способ очистки отработанных минеральных масел позволяет получать промывочные составы и эффективно использовать отработанные минеральные масла.

Методология и методы исследований. Теоретические и экспериментальные исследования включали в себя: моделирование на объектах, приближенных к реальным условиям, стендовые испытания на специально разработанном оборудовании и эксплуатационные в условиях сельскохозяйственного производства, лабораторные исследования. Оценка физико-химических характеристик масел проводилась по известным методикам ГОСТ и экспресс-методами контроля ФГБНУ ВНИИТиН.

Положения, выносимые на защиту:

- способ очистки отработанных минеральных масел посредством использования коагулянтов, позволяющий получать основу для приготовления промывочного масла;
- дифференциальная функция восстановления эффективности дизельного двигателя, позволяющая оценить эффективность дизельного двигателя по его компрессии;
- состав промывочного масла на базе очищенного отработанного моторного масла с моющими добавками, позволяющий продлить срок службы моторного масла;
- зависимости изменения содержания нерастворимого осадка в составе промывочного масла в зависимости от времени осаждения загрязнений и концентрации реагента (раствора карбамида в гидроксиде аммония), позволяющие обосновать возможность повторного использования промывочного масла.

Степень достоверности и апробация результатов исследования. Достоверность результатов подтверждается сходимостью теоретических предположений с результатами, полученными в ходе экспериментальных исследований по разработке способа получения основы промывочного масла и состава с учетом действия моющих добавок, результатами моделирования процессов удаления загрязнений из системы смазки ДВС.

Разработанный ресурсосберегающий технологический процесс получения промывочных масел на базе отработанных моторных масел и разработанное оборудование для реализации процесса получения промывочных масел в условиях АПК апробированы и используются в сельскохозяйственных предприятиях Тамбовской области: ФГПУ ПЗ «Пригородный» Тамбовского округа и СХПК «Борец» Сампурского округа, и получили высокую оценку у специалистов инженерно-технической службы хозяйств (приложения Г, Д).

Основные положения и результаты доложены, обсуждены и одобрены на международных и всероссийских конференциях: Международной научно-технической конференции (Саратов, 2022 г.); Всероссийской научно-практической конференции

молодых исследователей (Тамбов, 2023 г.); Международной научно-практической конференции (Тамбов, 2021г.).

Личный вклад соискателя заключается в определении цели и задач исследования, анализе состояния вопроса, разработке и внедрении технологического процесса приготовления промывочного масла на основе отработанного очищенного моторного масла в производство, выборе методов исследований, анализе полученных результатов, формулировке выводов, выполненных лично автором; в проведении теоретических и экспериментальных исследований, разработке методики производственных испытаний, выполненных при участии автора; подготовке научных публикаций по теме диссертации.

Публикации. По результатам проведенных исследований опубликовано 18 научных работ, в том числе 10 статей – в журналах, включенных в перечень ВАК, получено 2 патента на изобретения: «Промывочное масло» RU 2805073 C1 (приложение Д), «Способ очистки отработанных моторных минеральных масел» RU 2818564 C1 (приложение Г). Результаты проведенных исследований отражены в одной монографии.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, заключения, приложений и списка используемой литературы, который включает 150 наименований. Работа изложена на 181 странице машинописного текста и содержит 67 рисунков, 15 таблиц, 5 приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, обозначена степень ее разработанности, определены цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы исследований, положения выносимые на защиту, степень достоверности и апробацию результатов, отражены личный вклад соискателя, количество публикаций по теме диссертации, структура и объем работы.

В первом разделе «Обзор, обобщение результатов исследований и практики загрязненности и очистки системы смазки промывочными маслами» представлен анализ состояния вопроса. Анализ причин образования загрязнений на деталях двигателей показал, что в процессе работы двигателей тракторов под действием высоких температур и нагрузок, утяжеленного фракционного состава применяемых топлив, степени износа деталей ДВС, в моторном масле и в системе смазки образуются загрязнения и отложения, снижающие эксплуатационные характеристики двигателя.

Известные составы товарных промывочных масел, рассчитанные для использования в бензиновых двигателях автомобилей, обладают недостаточными моющими свойствами для смыва смолистых отложений, образующихся в системе смазки дизельных двигателей. Установлено, что известные способы и оборудование для удаления загрязнений из системы смазки двигателей не нашли широкого применения в АПК из-за относительной сложности реализации и высоких затрат.

В известных источниках отсутствуют результаты исследований по использованию отработанных масел для промывки двигателей тракторов и восстановления их свойств для повторного использования.

Таким образом, на основе комплексного анализа, имеющегося практического и теоретического опыта ученых, необходима разработка нового подхода для очистки систем смазки двигателей тракторов с использованием ресурсосберегающих, малозатратных технологий применения отработанных масел в качестве основы, разработка нового состава промывочного масла и технологии восстановления загрязненного масла для его повторного использования.

Во втором разделе «Теоретическая оценка процесса получения промывочного масла на основе отработанного моторного масла и анализ эффективности мойки способности» представлены предпосылки разработки способа очистки и использования отработанного масла для промывки системы смазки двигателей тракторов от мелкодисперсных загрязнений. Укрупнение загрязнений зависит от остаточного содержания в отработанном масле диспергирующе-стабилизирующих присадок (ДСП), тормозящих процесс коагуляции мелкодиспергированных примесей. Косвенным показателем остаточного содержания таких присадок является щелочное число масла.

На основании данного предположения можно представить зависимость укрупнения загрязнений от остаточного содержания щелочного числа (рисунок 1), что позволяет оценивать процесс в баллах.

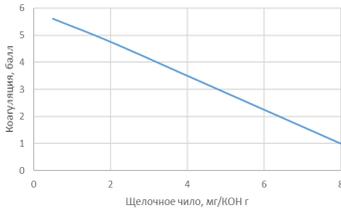


Рисунок 1 - Зависимость укрупнения частиц загрязнений (коагуляции) от остаточного значения щелочного числа в отработанном моторном масле

радиус частиц, $U(r)$ – энергия взаимодействия и k – постоянная Больцмана.

Доля столкновений, приводящих к элементарным актам коагуляции, оказывается равна $\alpha=1/W$.

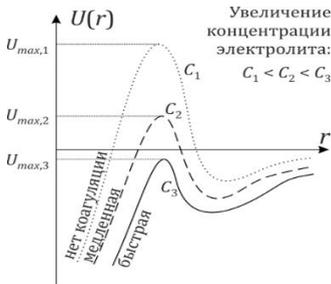


Рисунок 2 - Потенциал взаимодействия и увеличения скорости коагуляции

Далее путем физико-математического анализа получено уравнение:

$$\frac{h}{V_e} \frac{dV_e}{dh} = h \frac{\pi z^2 e^2}{8\epsilon(kT)^2 \kappa \gamma^2} \exp(\kappa h) \frac{8\epsilon(kT)^2 \kappa \gamma^2}{\pi z^2 e^2} (-\kappa) \exp(-\kappa h) = -\kappa h. \quad (5)$$

Из комплекса полученных уравнений получим: $\kappa h = 2$. Изменение щелочного числа отражается на электростатический потенциал раствора. Тогда концентрация, остающаяся прежней, но при предыдущем значении потенциала недостаточна для коагуляции, при

На основании ранее известных исследований принимаем граничные значения показателей щелочного числа и времени осаждения частиц загрязнений.

При этом происходит изменение электростатических свойств среды, что подтверждает теория Дерягина-Ландау-Фервея-Овербека (ДЛФО) и устанавливает связь между потенциалом взаимодействия и скоростью коагуляции, которая уменьшается из-за взаимного отталкивания частиц на коэффициент:

$$W = 2a \int_{2a}^{\infty} e^{U(r)/(kT)} \frac{dr}{r^2}, \quad (1)$$

где r – расстояние между центрами частиц, a – радиус частиц, $U(r)$ – энергия взаимодействия и k – постоянная Больцмана.

Потенциал взаимодействия с пиком U_{max} может быть оценен как:

$$W = e^{U_{max}/(kT)} \quad (2)$$

Пороговая концентрация C_3 является предметом многочисленных исследований и для наших условий может быть представлен как:

$$C_3 \sim A^{-2} (ze)^{-m}, \quad (3)$$

где A – константа Гамакера, z – валентность противоионов, e – элементарный заряд.

Таким образом в модели взаимодействия одинаковых электрических слоев двух частиц, уравнение (3) имеет вид:

$$C_3 \sim A^{-2} (ze)^{-6} \tanh^4 \frac{ze\psi}{4kT}. \quad (4)$$

новом значении электростатического потенциала электролита, увеличившемся вследствие снижения щелочного числа, становится достаточной для наступления коагуляции. На этапе теоретического анализа принимается простейшая схема процесса (рисунок 3). Отработанное загрязненное моторное масло сливается из картера двигателя в емкость, проводится его нагрев с последующим внесением коагулянтов, реагентов или их смесей, показавших наилучший результат в ходе исследований. На предварительном этапе исследований одним из наиболее перспективных реагентов можно считать *N*-метилперролидон.

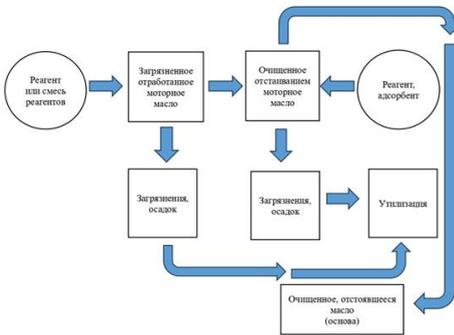


Рисунок 3 - Принципиальная схема процесса коагуляции и способа очистки отработанного масла

масла (основы) с мощными добавками. При этом предусматривается устройство для подачи и забора с использованием насоса, геометрические и мощностные характеристики устройства могут различаться при выполнении или сохранении условия баланса жидкости, равномерности распределения добавок в масле. Описание перемешивания жидкости с добавками в баке может проводиться с использованием различных подходов. Существенным в них является то, что в объеме жидкости или на границе (стенка бака) возникает поток, представляющий собой струю. При протекании смеси по трубопроводу она

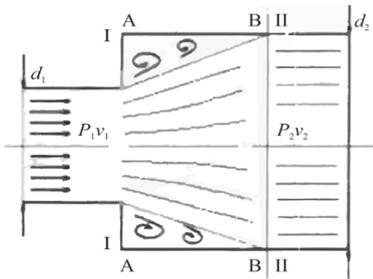


Рисунок 4 - Схема тока жидкости и действующих сил в резервуаре (баке)

жидкости в рассматриваемом объеме равна:

$$m = \rho Q \Delta t, \quad (8)$$

Однако его концентрация в известных способах очистки составляет 70 – 80% от объема масла, что безусловно не рационально и требует проведения экспериментальных исследований. На этапе практической оценки можно предполагать, что двух – трехступенчатая очистка различными реагентами позволит значительно снизить концентрацию *N* – метилперролидона. Применительно к процессу приготовления промывочного масла, представляет интерес решение задачи, связанной с гидродинамикой перемешивания

испытывает различные виды сопротивления. Расширение потока вызывает завихрения. Для описания механизма движения жидкости в рамках принятого нами подхода рассмотрим изменение импульса силы:

$$m \Delta v = P \Delta t, \quad (6)$$

где P – равнодействующая всех внешних сил давления, приложенных к объему жидкости ААВВ (Рисунок 4).

Для силы давления справедливо:

$$P = \omega_2 (p_1 - p_2), \quad (7)$$

где ω_2 – площадь поперечного сечения II-II, в скобках присутствует разность давлений. Масса

где Δt – отрезок времени, за который частицы жидкости проходят путь от сечения I-I до сечения II-II, Q – объемный расход потока, ρ – плотность жидкости. Поскольку $Q = \omega_2 v_2$, получаем:

$$\frac{p_1 - p_2}{\gamma} = \frac{v_2(v_2 - v_1)}{g}, \quad (9)$$

где g – ускорение свободного падения, $\gamma = \rho g$. Физический смысл величины $|v_2 - v_1|$ – потеря скорости при движении жидкости от сечения I-I к II-II.

Уравнение непрерывности имеет вид: $v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2$.

Вводя коэффициент местных потерь $\xi = (1 - d_1^2/d_2^2)^2$, теорема Борда о внезапном расширении и потери напора на вихреобразование имеет вид:

$$\Delta h = \xi \frac{v_1^2}{2g}. \quad (10)$$

При определенном соотношении констант, характеризующих жидкость, можно получить достаточно большие углы раствора затопленной струи, влияющие на эффективность перемешивания.

Оценим происходит ли эффективное перемешивание жидкости вне конуса турбулентности. Для оценки обратимся к числу Рейнольдса и предположим, что оно соответствует ламинарному течению. Возьмем $Re = 1000$. С учетом того, какую оценку Re мы получили можно утверждать, что это достаточно реалистичное предположение. Получаем:

$$1000 = Re = \frac{u_0 \cdot l}{\nu}, \quad (11)$$

где l – характерный размер области.

Анализируя полученные в работе предварительные расчеты можно утверждать, что масло (основа) в баке полностью перемешивается с добавками в течение 0,5 часа.

Известны критерии эффективности очистки от загрязнений деталей ДВС. К ним относится, в первую очередь, чистота поверхностей головки блока цилиндров, зеркала цилиндров, поршней и других деталей ЦПГ. В реальных условиях эксплуатации при проведении операции промывки системы смазки и очистки деталей данные показатели малопримодны и практически не применяются, т.к. требуют разборки двигателя.

Одними из наиболее простых и принятых в условиях сельскохозяйственного производства являются такие показатели эффективности промывки системы смазки как изменение цвета промывочного масла и компрессии в двигателе. Чем больше времени масло (промывочное) циркулирует по системе смазки, тем оно становится темнее. Данный процесс имеет ограничения по времени. В определенный период времени процесс изменения цвета прекращается, масло приобретает черный цвет.

Практически аналогичный вид имеет зависимость изменения среднего значения компрессии в цилиндрах двигателя, до определенного времени компрессия в цилиндрах изменяется незначительно. Далее следует рост и стабилизация на одном уровне (рисунок 5).

Анализируя представленные данные, просматривается взаимосвязь критериев оценки качества промывки системы смазки (рисунок 6).

Зависимость имеет характер гиперболы с вертикальной асимптотой цвета масла. Аппроксимируем данные трехпараметрической гиперболической зависимостью:

$$E = \frac{a}{c_0 - c} + b. \quad (12)$$

Используя метод наименьших квадратов «каноническая», функция примет вид:

$$F = \sum_{i=1}^N [E(C_i) - E_i]^2 = \sum_{i=1}^N \left[\frac{a}{c_0 - c_i} + b - E_i \right]^2, \quad (13)$$

где, C_i , E_i – данные измерений, в нашем случае $N=4$.



Рисунок 5 - Зависимость изменения компрессии в цилиндрах двигателя от времени промывки системы смазки



Рисунок 6 - Взаимосвязь показателей компрессии и изменения цвета промывочного масла

Приравнявая к нулю частные производные получаем:

$$\frac{\partial F}{\partial a} = 0 \quad \frac{\partial F}{\partial c_0} = 0 \quad \frac{\partial F}{\partial b} = 0. \quad (14)$$

Получим систему из трех уравнений относительно a , b и c_0 . Аналитически оно полностью не решается. Тогда для b можно получить выражение:

$$b = \frac{1}{N} \left[\sum E_i - a \sum \frac{1}{c_0 - c_i} \right]. \quad (15)$$

Как результирующую, получим дифференциальную функцию восстановления эффективности ДВС.

В третьем разделе «Методики экспериментальных исследований» приведены разработанные методики проведения экспериментальных исследований. На предварительном этапе разработки ресурсосберегающей технологии приготовления и использования промывочного масла на базе отработанного моторного масла проводились сравнительные исследования по оценке моющих свойств моторного масла М-10ДМ.

Исследования проводились в двигателях двух тракторов марки МТЗ-82. Испытания продолжались до достижения 250 часов наработки. Через каждые 10 часов работы двигателей отбирались пробы масла и оценивалось изменение основных характеристик.

Рассмотрение процесса формирования загрязнений проводилось методом моделирования. В специально изготовленные металлические емкости заправлялось загрязненное моторное масло и нагревалось в течение 8 часов до получения осадка в виде мазеподобной субстанции толщиной около 2 мм.

Для определения возможности использования очищенного отработанного моторного масла в качестве базового масла проводились исследования по разработке способа очистки. Выбор реагентов для коагуляции загрязнений проводился экспериментально. Рассматривались добавки моноэтаноламина и изопропанола, карбамида и гидроксида аммония с добавлением *N*-метилперролидона. Под микроскопом оценивался процесс укрупнения примесей в зависимости от концентрации реагентов и температуры.

Анализ процесса коагуляции также рассматривался методом капельной пробы на фильтровальной бумаге. Масло очищенное наиболее близко к товарному аналогу И-20А смешивалось с моющими добавками: дизельным топливом, диметилсульфоксидом в концентрации 1-5 масс. %. Моющую способность оценивали на специально изготовленном устройстве (рисунок 7). Устройство состоит из полый трубки, внутри имеются металлические пластины. С обеих сторон установлены съемные крышки.

Анализ моющей способности проводили методом определения содержания нерастворимого осадка в масле после промывки, изменению цвета по шкале цветности. Моделирование моющей способности масла проводили также в специально

изготовленном устройстве (рисунок 8), имитирующем каналы системы смазки ДВС и состоящего из: бака – резервуара 1, нагревательного элемента 2, насоса НШ 3, электродвигателя 4, трубопровода 5, манометра 6, системы кранов 7, шлангов 8. .



Рисунок 7 - Устройство для предварительного анализа моющих свойств масла с добавками

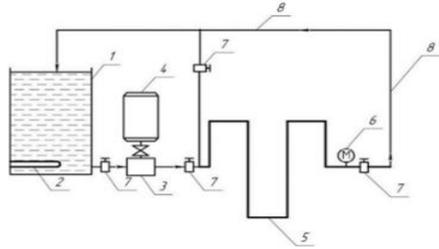


Рисунок 8 - Устройство, моделирующее процесс движения промывочного масла по системе смазки

Оценку противоизносных свойств составов промывочных масел проводили на машинах трения КТ-2 и СМЦ-2 (рисунки 9, 10).



Рисунок 9 - Машина трения КТ-2



Рисунок 10 - Машина трения СМЦ-2

Определение элементного состава продуктов износа в маслах проводилось на атомно-адсорбционном спектрометре МГА-915М (рисунок 11).



Рисунок 11 - Атомно-адсорбционный спектрометр МГА-915 М

Производственные испытания проводились в двух сельскохозяйственных предприятиях Тамбовской области на тракторах МТЗ-82. С помощью эндоскопа оценивалась загрязненность деталей двигателя до и после промывки. Компрессия в цилиндрах оценивалась с трехкратной повторяемостью компрессометром КИ-28125. Промывка проводилась при частоте вращения коленчатого вала двигателя 1600 об/мин в течение 40

минут. Через каждые 10 минут отбиралась проба масла для анализа в лаборатории и на фильтровальной бумаге. На основании всего комплекса исследований составлялись акт и протокол испытаний. После окончания промывки системы смазки масло сливалось и

проводилась его очистка с использованием карбамида растворенного в гидроксиде аммония. Изменение цвета масла с черного до желто-красного принималось как эффективное воздействие, позволяющее повторно использовать данное масло

В четвертом разделе «**Результаты экспериментальных исследований**» получено подтверждение актуальности выполнения операции промывки системы смазки после слива отработанного моторного масла.

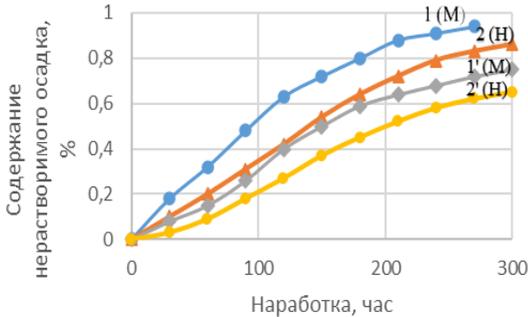


Рисунок 12 - Изменение содержания механических примесей (М) и нерастворимого осадка (Н) в масле от наработки в тракторах: 1,2 – без промывки системы смазки; 1', 2' – с промывкой системы смазки перед заменой моторного масла

Содержание нерастворимого осадка в масле трактора (1) к 240 часам составило 0,7%, а у трактора (2) - 0,58%. Вязкость масла и щелочное число изменялись практически с одинаковой закономерностью. При этом щелочное число у масла, где не проводилась операция промывки системы смазки, к 250 часам наработки достигло значения 2,7 мг КОН/г, а у масла, работавшего в системе смазки после проведенной промывки, составило 4 мг КОН/г и оставалось работоспособным до 300 часов наработки, что позволяет говорить о возможности продления срока службы масла и косвенно о более надежной работе двигателя.

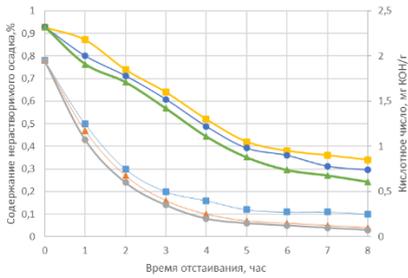
В результате исследований по оценке снижения массы масла и образования отложений под действием температуры установлено, что масса товарного масла по мере нагрева снизилась с 17 до 8г за 8 часов нагрева. Еще более низкие показатели снижения массы масла при нагреве отмечались у масел, проработавших в ДВС 125 и 500 часов.

В результате моделирования процесса образования и удаления отложений, образующихся при нагреве масла, установлено, что толщина слоя осадка в металлическом стакане изменилась значительно при промывке емкости, также происходило изменение щелочного и кислотного числа масла, его цвета.

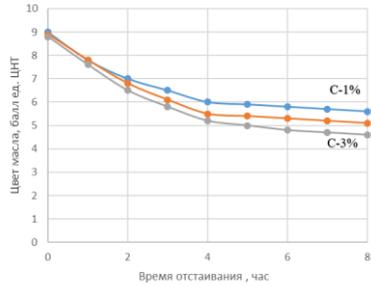
При проведении исследований по определению характеристик и параметров процесса получения основы промывочного масла из отработанного моторного масла проводился анализ действия различных реагентов, обеспечивающих процесс коагуляции мелкодиспергированных частиц загрязнений и смол.

Установлены зависимости снижения содержания нерастворимого осадка, кислотного числа и изменения цвета масла от концентрации внесения реагента - карбамида растворенного в гидроксиде аммония (рисунки 13, 14).

Установлено, что содержание механических примесей и в первом, и во втором тракторе изменилось в соответствии с известной закономерностью. Однако в наблюдаемом тракторе (1), где не производилась операция промывки системы смазки, к 240 часам наработки содержание нерастворимого осадка приблизилось к браковочным значениям. В двигателе трактора (2) содержание механических примесей к 240 часам наработки не превышало 0,8% и масло продолжало работать до 300 часов.



НО -нерастворимый осадок; К.ч. – кислотное число; С – концентрация карбамида
Рисунок 13 - Зависимость изменения содержания нерастворимого осадка и кислотного числа масла от концентрации карбамида и времени отстаивания



С – концентрация карбамида
Рисунок 14 - Зависимость изменения цвета масла от времени отстаивания и

Далее рассматривалось действие таких присадок как моноэтаноламин и изопропанол при концентрации в масле 1-3%. На рисунках 15, 16 показаны зависимости изменения содержания нерастворимого осадка и цвета масла от времени отстаивания.

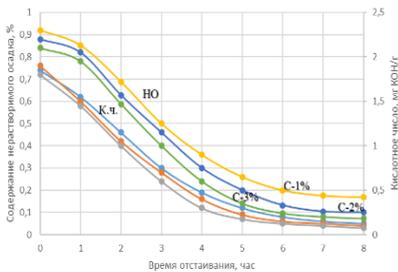


Рисунок 15 - Зависимость изменения содержания нерастворимого осадка (НО) и кислотного числа (К.ч.) от концентрации моноэтаноламина и изопропанола от времени отстаивания масла

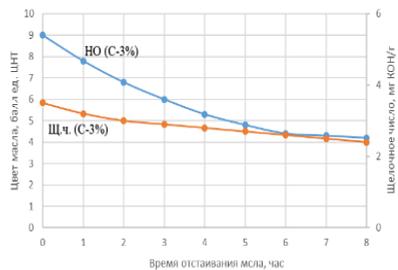


Рисунок 16 - Зависимость изменения цвета масла и щелочного числа от времени отстаивания при концентрации реагентов 3% масс. в масле

Определены преимущества по сравнению с использованием вышеперечисленных реагентов – карбамида растворенного в гидроксиде аммония. При этом установлено, что внесение раствора снижает вязкость масла на 1-2% и температуру вспышки масла на 5-10° С.

При проведении дальнейших исследований принята схема (в соответствии с ранее рассмотренными опытами) двухступенчатой очистки. На первой ступени масло очищается до определенного уровня с использованием изопропанола и далее масло подвергается воздействию *N*-метилперолидона.

В таблице представлены результаты физико-химического анализа масла до и после очистки на разработанном оборудовании.

Таблица 1 - Результаты физико-химического анализа масла

Показатели	Значение	
	Исходное масло	Масло после очистки
Вязкость кинематическая при 100°C, мм ² /с	11,0	9,8
Содержание мех.примесей, %	0,64	отсут.
Содержание нерастворимого осадка, %	0,56	0,001
Температура вспышки, °С	218	200
Цвет, балл ед. ЦНТ	8	3,5

На основании полученных данных разработана принципиальная схема технологического процесса очистки отработанных моторных масел и получения на их основе промывочных масел (рисунок 17), изготовлена установка для реализации процесса в условиях предприятия АПК (рисунок 18), получен патент на изобретение «Способ очистки отработанных моторных масел № 2818564».

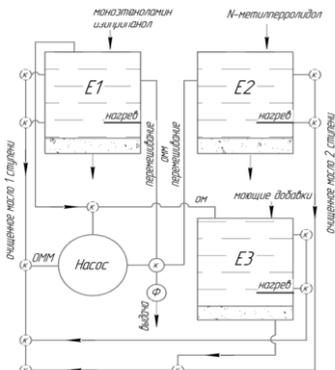


Рисунок 17 - Принципиальная схема технологического процесса очистки отработанных масел и получения промывочных масел



Рисунок 18 - Общий вид установки для очистки отработанных масел от загрязнений и получения на их основе масел для промывки ДВС

Промывочное масло по сравнению с моторными маслами, как правило, имеет более высокие моющие свойства, обеспечиваемые действием моющих добавок и присадок.

Проведенными исследованиями установлено, что внесение в масло таких добавок как дизельное топливо, ДМСО и изопропилат калия позволяет улучшить моющие свойства основы (очищенного отработанного моторного масла). В процессе моделирования удаления загрязнений с поверхности металлических пластин подтверждена достаточная моющая способность состава композиции. Рациональной концентрацией внесения добавок определено: 3 масс % дизельного топлива, 3 масс % ДМСО, 3 масс % изопропилата калия. Получены рациональные характеристики смешивания основы с добавками, подтверждающие теоретическое обоснование параметра. На рисунке 19 представлена зависимость изменения времени перемешивания масла с добавками от давления в системе.

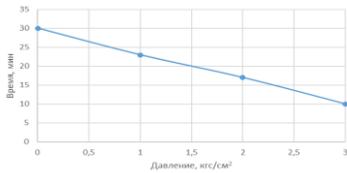


Рисунок 19 - Зависимость изменения времени перемешивания от давления жидкости

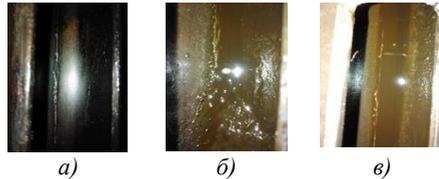


Рисунок 20 - Изменение загрязненности пластин в зависимости от времени промывки

Моделирование процесса промывки, близкое к системе смазки ДВС (за счет изгибов маслопровода, их длинны), показало на состоятельность предлагаемых решений (рисунок 20 а, б, в). Рациональным временем промывки по результатам исследований следует считать 25-30 минут при давлении в системе 2-3 кг/см².

Таблица 2 - Изменение диаметра пятна износа при испытании моторного очищенного отработанного масла от вида добавок

Показатели	Очищенное М-10ДМ с добавкой диметилсульфоксида	Очищенное масло М-10ДМ + изопропилат калия	Очищенное масло М-10ДМ + диз.топливо	Товарное промывочное масло «Лукойл»
Ø пятна износа 70Н/мм	0,20	0,23	0,30	0,32

Таблица 3 – Результаты сравнительных испытаний составов помывочных масел

Показатели	Экспериментальный состав промывочного масла	Товарное промывочное масло «Лукойл»
Момент трения, Н·м	2,9	4,0
Температура ролика, °С	90	135

Как известно, загрязнениями в маслах являются такие элементы как железо, алюминий и другие. В результате исследований элементного состава масла определено изменение их содержания (таблица 4).

Таблица 4 – Содержание продуктов износа и загрязнений в маслах

Номер пробы	Наименование образца	Железо		Алюминий	
		мг/л	ppm	мг/л	ppm
№1	М-10ДМ (свежее)	0,83	0,91	1,39	1,53
№2	Отработавшее масло М-10ДМ 250 м/ч	54,2	59,08	5,8	6,3
№3	Состав промывочного масла до промывки	1,1	1,19	1,89	2,06
№4	Состав промывочного масла после промывки	26,2	28,82	4,07	4,48
№5	Заправленное масло (с промывкой системы смазки)	35,1	38,2	4,7	5,1

Содержание железа в пробе №1 соответствует нормативному значению. В отработанном масле эти показатели увеличиваются до указанных в таблице значений. Проба №3 – количество определяемых элементов в экспериментальном составе промывочного масла. Проба №4 – содержание определяемых элементов в составе промывочного масла после промывки. В ходе исследований получены зависимости изменения содержания железа от наработки.



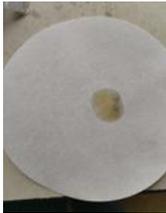
Рисунок 21 - Прогрев двигателя, слив отработанного масла



Рисунок 22 - Состояние стакана ротора

В результате сравнительных производственных испытаний разработанного состава промывочного масла в двигателях тракторов МТЗ-82, работавших в СХПК ПЗ «Пригородный» Тамбовского округа Тамбовской области (рисунок 21), получены данные и зависимости подтверждающие высокую эффективность очистки системы смазки от загрязнений на основании

анализа содержания нерастворимого осадка (рисунок 24) и зависимости изменения цвета масла от времени промывки.



а)

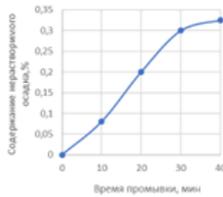


б)

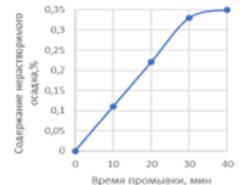
а - экспериментальный состав промывочного масла; б - промывочное масло «Лукойл»
Рисунок 23 - Хроматограммы масляных пятен

Вместе с представленными выше данными проводился контроль загрязненности с помощью эндоскопа, оценивалось изменение цвета масла по пятну на фильтровальной бумаге, измерялась компрессия в цилиндрах двигателя до начала и в конце реализации процесса промывки системы смазки.

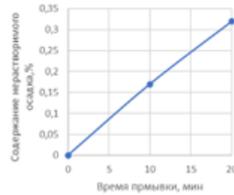
Важной составляющей технологического процесса промывки системы смазки является его высокая затратность еще и потому, что промывочное масло является по сути одноразовым. После промывки системы смазки промывочные масла утилизируются из-за



а)



б)



в)

а – трактор №1 (экспериментальный состав); б – трактор №2 (экспериментальный состав); в – трактор №3 (товарное масло «Лукойл»
Рисунок 24 - Зависимость изменения содержания нерастворимого осадка в масле от времени промывки

их загрязненности. В работе ставилась задача анализа возможности повторного использования промывочного масла. Для этих целей масло после промывки сливалось. В него добавлялись те же реагенты, что и после очистки отработанного масла, но в меньшей концентрации (1-2 масс %). При этом установлено, что для упрощения способа очистки промывочного масла достаточно обойтись использованием 3-х % раствора карбамида в гидроксиде аммония. Исследованиям по очистке работавшего промывочного масла подвергался как экспериментальный состав промывочного масла, так и товарное промывочное масло после операции промывки системы смазки ДВС трактора МТЗ-82. Следует отметить, что предлагаемый процесс восстановления позволяет вернуть масло в исходное состояние (как экспериментальное, так и товарное промывочное масло).

В пятом разделе «Оценка экономического эффекта от использования состава промывочного масла на основе отработанного очищенного моторного масла» определена экономическая целесообразность применения разработанного состава. Обобщенный экономический эффект использования промывочных масел на основе отработанных моторных масел составит 767899 руб. в год на парк из 72 единиц техники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В результате анализа состояния вопроса установлено, что в процессе работы двигателей тракторов в моторных маслах накапливается значительное количество (до 3%) примесей, смол, которые снижают эксплуатационные характеристики двигателя, его мощность, надежность систем, уменьшают срок службы свежезаправленного моторного масла на 15 – 20%. Товарные промывочные масла обладают ограниченными моющими свойствами и высокой стоимостью приобретения для их использования в ДВС тракторов. Существующие методы и оборудование для промывки систем смазки двигателей практически не используются в АПК, а ресурсосберегающие технологии не применяются.

2. Теоретически обоснован способ очистки отработавших моторных масел до состояния базовых масел посредством внесения коагулирующих добавок, разработана упрощенная малозатратная схема удаления загрязнений из ОММ.

Обоснованы параметры процесса смешивания очищенного масла с добавками. Получены уравнения движения жидкости и компонентов при смешивании. Определены рациональные параметры оборудования. Определены показатели эффективности промывки системы смазки, актуальные для условий АПК, такие как компрессия в цилиндрах и цвет масла.

3. Разработан способ очистки отработанного масла с использованием реагентов: моноэтаноламина 3%, изопропанола 3%, *N*-метилперролидона 10% с последующим отстаиванием в течение 8 часов. Разработан рациональный состав промывочного масла, включающий 3 масс. % дизельного топлива, 3 масс. % диметилсульфоксида, 3 масс. % изопропилата калия. Установлено, что предложенный состав позволяет удалить до 90% загрязнений с поверхности металла.

4. Производственные испытания разработанного состава промывочного масла подтвердили его высокие характеристики: увеличение компрессии в цилиндрах двигателя на 3-5%, снижение содержания загрязнений в системе смазки в 1,5-2 раза. Предложен технологический процесс восстановления отработанных промывочных масел для их повторного использования, включающий внесение 1 масс. % моноэтаноламина в 2 масс. % гидроксида аммония с последующим нагревом до 80 °С и отстаиванием.

5. Экономический эффект от внедрения ресурсосберегающей технологии очистки систем смазки ДВС формируется за счет снижения затрат на моторное масло и ремонт техники и составляет 767899 рублей в год на парк из 72 единиц техники.

6. Результаты диссертационной работы внедрены в производство и используются в сельскохозяйственных предприятиях Тамбовской области (приложения Е, Ж). Полученные результаты позволяют рекомендовать применение разработанного состава промывочного масла на основе отработанного очищенного моторного масла с добавками (патент РФ № 2805073) для промывки дизельных двигателей сельскохозяйственных машин, что позволяет восстановить эффективность ДВС и продлить срок службы работающего масла.

7. Перспективы дальнейшей разработки темы: изучение процесса восстановления свойств использованного промывочного масла с целью его повторного применения, а также возможности использования новых добавок для повышения свойств состава.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

Статьи в журналах, включенных в перечень ВАК

1. Атомно-абсорбционный метод контроля элементов износа моторных масел в различных условиях применения / В.К. Нагдаев, В.В. Остриков, А.В. Кошелев, Д.Н. Жерновников // Наука в центральной России. - 2023. - № 2 (62). - С. 127-134.

2. Остриков В.В. Изменение характеристик моторных масел в двигателях зерноуборочных комбайнов в период эксплуатации и межсезонного хранения / В.В. Остриков, А.В. Кошелев, В.С. Вязинкин // Наука в центральной России. - 2023. - № 2 (62). - С. 106-114.

3. Изменение характеристик моторных масел в двигателях зерноуборочных комбайнов / В.В. Остриков, В.С. Вязинкин, А.В. Кошелев, А.В. Забродская // Наука в центральной России. - 2022. - № 3 (57). - С. 70-75.

4. Остриков В.В. Метод очистки промывочных масел с целью повторного использования в двигателях сельскохозяйственной техники / В.В. Остриков, А.В. Кошелев, А.В. Забродская // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. - 2023. - Т. 16. - № 4 (79). - С. 102-109.

5. Оценка влияния качества дизельного топлива и характеристик моторного масла на изменение его свойств в ДВС и срок службы / В.В. Остриков, В.К. Нагдаев, А.В. Забродская, А.В. Кошелев // Наука в центральной России. - 2020. - № 2 (44). - С. 99-104.

6. Кошелев А.В. Очистка системы смазки двигателей тракторов / А.В. Кошелев // Наука в центральной России. - 2022. - № 2 (56). - С. 142-147.

7. Промывка системы смазки двигателей тракторов и ее влияние на техническое состояние машины и срок службы свежезаправленного моторного масла / А.В. Кошелев, А.В. Забродская, В.С. Вязинкин, Р.М.М.А Раззак. // Наука в центральной России. - 2024. - № 3 (69). - С. 131-140.

8. Промывка системы смазки двигателей тракторов составом на основе отработанного моторного масла / В.В. Остриков, А.В. Кошелев, А.В. Забродская, В.В. Сафонов // Научная жизнь. - 2021. - Т. 16. - № 8 (120). - С. 1095-1105.

9. Результаты исследований по оценке изменения свойств моторного масла без и с использованием операции промывки системы смазки двигателя трактора / А.В. Кошелев, В.В. Остриков, А.В. Забродская, В.С. Вязинкин // Наука в центральной России. - 2023. - № 5 (65). - С. 96-103.

10. Теоретические аспекты оценки эффективности промывки системы смазки ДВС от загрязнений / В.В. Остриков, М.В. Вигдорович, Д.Н. Жерновников, А.В. Кошелев // Наука в центральной России. - 2020. - № 4 (46). - С. 84-89.

Монография

11. Технологии использования отработанных масел в предприятиях АПК (исследования и практика): монография / В.В. Остриков, А.В. Кошелев, М.В. Вигдорович, В.К. Нагдаев, В.С. Вязинкин, А.В. Забродская. - Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2024. - 328 с.

Патенты

12. Патент на изобретение RU 2818564 С1. МПК С10М 175/02 (2006.01). Способ очистки отработанных моторных минеральных масел / Остриков В.В., Кошелев А.В., Вязинкин В.С., Нагдаев В.К., Забродская А.В., Жерновников Д.Н., Вигдорович М.В.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. - №2023122544; заявлено 29.08.2023; опубликовано 02.05.2024. Бюл. № 13.

13. Патент на изобретение RU 2805073 С1. МПК С10М 169/04 (2006.01) С10М 141/08 (2006.01). Промывочное масло / Остриков В.В., Кошелев А.В., Вязинкин В.С., Забродская А.В., Нагдаев В.К., Жерновников Д.Н., Вигдорович М.В.; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН. - №2023104336; заявлено 22.02.2023; опубликовано 11.10.2023. Бюл. № 29.

Статьи в материалах научных конференций

14. Анализ изменения свойств моторных масел в период уборочных работ и вынужденного простоя зерноуборочных комбайнов / В.В. Остриков, Д.Н. Жерновников, В.С. Вязинкин, А.В. Кошелев, В.К. Нагдаев, А.В. Забродская, В.В. Сафонов // В сборнике: Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники. материалы XXXV Международной научно-технической конференции имени В.В. Михайлова. - Саратов, 2022. - С. 186-192.

15. Оценка диспергирующе-стабилизирующих свойств моторного масла / В.В. Остриков, М.В. Вигдорович, В.К. Нагдаев, В.С. Вязинкин, А.В. Забродская, А.В. Кошелев, Д.Н. Жерновников // В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции. - Тамбов, 2021. - С. 135-139.

16. Теоретический анализ процесса удаления загрязнений из системы смазки двигателей внутреннего сгорания / В.В. Остриков, Д.Н. Жерновников, М.В. Вигдорович, В.С. Вязинкин, А.В. Забродская, А.В. Кошелев // В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции. - Тамбов, 2021. - С. 132-135.

17. О расчете работоспособности смазочного материала / М.В. Вигдорович, В.В. Остриков, А.В. Кошелев, В.К. Нагдаев // В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции. Тамбов, 2021. С. 130-132.

18. Koshelev A.V. To the development of the flushing oil composition for diesel engines of tractors / A.V. Koshelev, V.V. Ostrikov, M.N. Makeeva // В сборнике: The World of Science without Borders. Proceedings of the 10th all-russian scientific and practical conference (with international participation) for young researchers. - Тамбов, 2023. - С. 66-69.

Просим принять участие в работе диссертационного совета 35.2.008.01 или выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, ученому секретарю Афоничеву Д.Н. Телефон: +7(473)224-39-39, e-mail: ct@agroeng.vsau.ru.

Подписано в печать 28.04.2025 г. Формат 60x84 1/16. Бумага кн.-журн.

П.л. 1,0. Тираж 100 экз.

392022 г. Тамбов пер. Новорубежный 28, ФГБНУ ВНИИТиН