

*На правах рукописи*



**КОРНЕВ Алексей Юрьевич**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ  
РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОТОРНЫХ  
ТОПЛИВ И МАСЕЛ В УСЛОВИЯХ  
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

**Тамбов – 2026**

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

**Научный консультант:** доктор технических наук, профессор  
**Остриков Валерий Васильевич.**

**Официальные оппоненты:** **Балабанов Виктор Иванович,**  
доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», и.о. заведующего кафедрой сельскохозяйственного строительства.

**Рыблов Михаил Владимирович,**  
доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный аграрный университет», профессор кафедры «Технический сервис машин».

**Шемякин Александр Владимирович,**  
доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», профессор кафедры «Организация транспортных процессов и безопасность жизнедеятельности».

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина».

Защита состоится 24 сентября 2026 г. в 10 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](http://www.vsau.ru) («Информация о деятельности диссертационных советов» – «Защиты» – «35.2.008.01»), а также по ссылке: <http://ds.vsau.ru/?p=13491>.

Автореферат разослан 24 июля 2026 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Афоничев Дмитрий Николаевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Указами Президента Российской Федерации главными целями развития сельского хозяйства определены обеспечение продовольственной безопасности и утверждение России в качестве мирового лидера по производству и поставке продуктов питания высокой глубины переработки. Осуществление поставленных задач требует высокой механизации труда и наращивания количества сельскохозяйственной техники. Следствием этого является неуклонный рост потребления нефтепродуктов, так как на их базе сегодня работает вся сельскохозяйственная техника, обеспечивается ее необходимый рабочий ресурс, проводится ее обслуживание. От качества этих продуктов зависит работоспособность, долговечность, окупаемость оборудования, спецтехники и прочих технических элементов, широко используемых во всех отраслях АПК. Наряду с этим одними из приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в России утверждены энергоэффективность, энергосбережение и рациональное природопользование, а перечень критических технологий включает технологии новых и возобновляемых источников энергии, энергоэффективного производства и преобразования энергии на органическом топливе, мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения. В этой связи совместное развитие АПК и ТЭК должно быть направлено на удовлетворение потребностей сельского хозяйства во всех видах топлива и энергии при планомерном проведении целенаправленной энергосберегающей и экологической политики. Таким образом, повышение эффективности производственных процессов в АПК включает вопросы ресурсосбережения, повышения топливной экономичности, обеспечения экологической чистоты продукции и среды обитания человека. Насущная необходимость в совершенствовании известных и поиске новых методов сохранения и повышения качества нефтепродуктов, регенерации и утилизации отходов их использования является одной из актуальных научных проблем, решение которой повысит эффективность использования топлив и смазочных материалов в АПК.

Диссертационная работа выполнена в рамках научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» по Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период, раздел «Механизация, электрификация и автоматизация сельскохозяйственного производства», подразделы «Теория и принципы развития процессов энергообеспечения, энергоресурсосбережения и возобновляемых источников энергии» и «Технологии и автоматизированные средства технического сервиса, восстановления и повышения надежности техники, создание и применение нанотехнологий, поликомпозиционных и наноматериалов» (регистрационные номера НИОКТР: 09.03.07, 09.04.07, 01201050939, 01201050940, 114120870187, АААА-А15-115121510140-8, АААА-А16-116120510026-7, АААА-А17-117111420133-7, АААА-А19-119062190012-0, 122042600125-3, 125122214842-2).

**Степень разработанности темы.** Вопросам контроля качества нефтепродуктов, анализа изменений свойств топлив и смазочных материалов в процессе транспортировки, хранения и использования большое внимание уделялось в работах Н.И. Итинской, А.В. Кузнецова, Н.И. Черножукова, В.М. Школьниковой, Г.П. Лышко, В.И. Цыпцина, Е.И. Алаторцева, Ю.А. Гурьянова, Б.В. Скворцова,

Н.Г. Морозова, И.Г. Голубева, В.П. Коваленко, В.В. Острикова, С.А. Нагорнова, В.В. Лебедева, В.В. Сафонов, А.Л. Хохлова и многих других.

Методы и средства очистки и повышения качества нефтепродуктов разрабатывали Э.И. Удлер, В.С. Богданов, Н.П. Бутов, Е.А. Улюкина, В.Г. Мурамович, Е.Р. Магарил, М.А. Григорьев, А.С. Меджибовский, К.В. Рыбаков, Г.Ф. Большаков, В.П. Коваленко, Г.А. Ленивцев, В.В. Остриков, В.И. Балабанов, А.П. Картошкин и др.

Исследованиями по снижению токсичности автотракторных двигателей, использованию моторных топлив на основе возобновляемого сырья в сельскохозяйственной технике занимались В.Г. Систер, В.А. Лиханов, В.А. Марков, С.Н. Деянин, В.Г. Семенов, В.Ф. Федоренко, С.А. Нагорнов, Е.А. Улюкина, И.Г. Голубев, М.Н. Болотина, А.П. Уханов, А.Л. Хохлов, М.В. Рыблов, А.В. Шемякин и др.

Проблемам получения смазочных материалов и технических жидкостей, утилизации и регенерации отработанных масел в свое время уделили внимание Г.И. Сорокин, П.И. Шашкин, И.В. Брай, В.В. Вайншток, И.Г. Фукс, М.В. Осипов, Г.А. Ленивцев, А.Р. Хафизов, Н.Р. Сайфуллин, В.В. Григорьев, Н.К. Черножуков, А.А. Джамалов, В.И. Балабанов, В.В. Сафонов, С.М. Гайдар, В.В. Остриков и др.

Активную работу по указанным направлениям вели Всероссийский ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства, Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации машинно-тракторного парка, Всероссийский научно-исследовательский институт по переработке нефти, Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве, 25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России, Пензенский государственный аграрный университет, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева, Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина и др.

Большой объем научных исследований посвящен разработке методов и средств очистки нефтепродуктов, прежде всего минеральных моторных масел от механических примесей и воды методом сепарирования, совершенствованию конструкции центрифуг и фильтровального оборудования, однако недостаточно разработаны вопросы очистки современных синтетических смазочных материалов, содержащих высокощелочные диспергирующе-стабилизирующие присадки, мало внимания уделяется вопросам удаления из топлив и масел смол, продуктов окисления, изменения эксплуатационных свойств топлив после физико-химической обработки. Много внимания уделяется эффективности отдельных методов воздействия на нефтепродукты – электромагнитное поле, внесение присадок или добавок и т.п., но практически отсутствуют работы, освещающие эффекты от комплексного воздействия на нефтепродукты, сочетающего различные по своей природе методы обработки. Исследования, касающиеся применения альтернативных топлив, обычно сосредоточены на определении параметров работы ДВС и слабо отражают вопросы эффективности и условий получения добавок на основе возобновляемого сырья. В работах по использованию отработанных нефтепродуктов большое внимание уделяется сложным процессам их регенерации на предприятиях нефтепереработки, либо простейшей очистке и использованию в качестве топлива, консервационных материалов, но мало затрагивается

тема глубокой очистки с получением основы для вторичных масел и смазок и технологий их приготовления в условиях предприятий АПК.

К настоящему времени сложилось **противоречие** – с одной стороны, использование нефтепродуктов при производстве сельскохозяйственной продукции постоянно растет, как и растут издержки, возникающие из-за срывов агросроков, поломок, простоев, внеплановых ремонтов сельскохозяйственной техники, вызванных несоответствием нефтепродуктов нормативным требованиям. С другой стороны, отсутствуют методы и средства контроля качества и рационального использования масел и смазок, их утилизации, а курс на экологизацию производств диктует необходимость в снижении вредных выбросов сельскохозяйственной техники и переработку отработанных нефтепродуктов. Это формирует необходимость решения комплексной **проблемы** рационального и эффективного использования топлив, масел, смазок и технических жидкостей в условиях АПК.

**Научная гипотеза** заключается в том, что раскрытие скрытых резервов повышения эффективности использования моторных топлив и масел в условиях предприятий АПК может быть реализовано путем разработки и внедрения новых методов, способов, приемов и средств, позволяющих контролировать и улучшать качество моторных топлив и смазочных материалов, перерабатывать отходы их применения, снижая затраты на нефтепродукты, ремонт и эксплуатацию техники, а также уменьшая негативное воздействие на окружающую среду.

**Объектом исследования** являются процессы, происходящие в моторных топливах и маслах при их использовании и переработке во вторичные продукты.

**Предмет исследования** – закономерности изменения свойств моторных топлив, масел и смазочных композиций при их получении, хранении и использовании в условиях АПК.

**Цель работы:** повышение эффективности использования моторных топлив и масел в условиях АПК за счет совершенствования технологий и технических средств контроля качества, восстановления и улучшения свойств нефтепродуктов, переработки отходов от их использования во вторичные масла и смазки, а также применения биодобавок из возобновляемого растительного сырья.

**Задачи исследований:**

1. Оценить фактическое изменение качества топлив и смазочных материалов, используемых на предприятиях АПК, обосновать основные принципы организации оперативного контроля качества и разработать усовершенствованные средства экспресс-анализа нефтепродуктов.

2. Установить закономерности изменения показателей качества дизельного топлива от параметров и режимов физико-химической обработки.

3. Обосновать новые методы и разработать технологический процесс восстановления и повышения эксплуатационных свойств дизельных топлив, их смазывающих и низкотемпературных характеристик.

4. Обосновать параметры и разработать технологический процесс получения моторного топлива с улучшенными экологическими и эксплуатационными свойствами.

5. Определить рациональные режимы синтеза биодобавок к моторным топливам на основе возобновляемого растительного сырья.

6. Обосновать метод получения основы масел и смазок за счет глубокой очистки отработанных синтетических и минеральных масел от загрязнений, ис-

следовать закономерности изменения физико-химических показателей восстанавливаемых масел и смазок.

7. Установить рациональные параметры и разработать технологические процессы получения вторичных масел и пластичных смазок из отходов использования нефтепродуктов и возобновляемого растительного сырья.

8. Провести стендовые и производственные испытания вторичных масел, смазок, присадок, пленкообразующих добавок к маслам и топливам.

**Научную новизну** диссертационной работы представляют:

1) методы экспресс-анализа качества моторных топлив и масел, отличающиеся конструкцией блока поджига и регистрации температуры устройства для измерения температуры вспышки, составом смеси растворителей, концентрацией и порядком приготовления индикатора;

2) способы очистки дизельных топлив, отличающиеся используемыми реагентами и тем, что их смесь с топливом подается в модульный статический смеситель-активатор, где подвергается многофакторному воздействию;

3) зависимости изменения показателей качества дизельных топлив от параметров и режимов физико-химической обработки, отличающиеся учетом вида и концентрации реагентов, давления и продолжительности обработки;

4) закономерности процесса получения биодобавок к нефтепродуктам на основе возобновляемого растительного сырья, отличающиеся учетом изменения кинетики массопереноса реагентов в начале реакции и после накопления продуктов;

5) рациональные характеристики и схемы технологических процессов получения биодобавок на основе возобновляемого сырья и их внесения в нефтепродукты, отличающиеся применением операций физико-химической обработки сырья и компонентов на основе вихревого эффекта;

6) закономерности процессов коагуляции загрязняющих нефтепродукты смол и примесей, их удаления в поле центробежных сил, очистки отработанных минеральных и синтетических масел, отличающиеся использованием коагулянтов, выбор которых осуществляется в зависимости от исходного состава и характеристик нефтепродуктов;

7) составы вторичных смазочных композиций, полученные путем переработки отработанных масел с использованием операций создания дисперсионной среды, отличающиеся глубокой очисткой масляной основы и применением присадок и добавок на основе возобновляемого растительного сырья;

8) результаты экспериментальных исследований эксплуатационных и экологических показателей работы дизельных двигателей на модифицированных моторных топливах с улучшенными характеристиками, и показателей работы узлов сельскохозяйственной техники при использовании вторичных смазочных материалов.

**Теоретическую значимость** диссертационной работы представляют аналитические зависимости, позволяющие обосновать способы коагуляции загрязняющих нефтепродукты смол и примесей, параметры их удаления в поле центробежных сил; аналитические зависимости для определения скорости химической реакции при получении добавок к нефтепродуктам на основе возобновляемого растительного сырья; уравнения, связывающие вязкость с загрязненностью нефтепродуктов и остаточным содержанием присадок, скорость осаждения частиц дисперсной фазы с их размерами и физико-химическими характеристиками нефтепродуктов.

**Практическая значимость** диссертационной работы заключается в разработке принципов организации оперативного контроля качества и новых методов экспресс-анализа показателей нефтепродуктов, позволяющих оценивать их фактическое состояние в полевых условиях; технологий обработки светлых нефтепродуктов, позволяющих восстановить их качество и улучшить эксплуатационные и экологические свойства в условиях АПК; ресурсосберегающих способов очистки отработанных синтетических и минеральных масел, технологий получения на их основе гидравлических, трансмиссионных масел и пластичных смазок в условиях сельскохозяйственных предприятий, инновационных технологий получения на базе возобновляемого сырья присадок и добавок к нефтепродуктам, и технических средств для их реализации. Применение разработанных технологий и технических средств позволяет снизить затраты на приобретение нефтепродуктов и техническое обслуживание сельскохозяйственной техники, эффективно решать вопросы ресурсосбережения, снизить отрицательное экологическое воздействие на окружающую среду. Разработанные технические и технологические решения защищены патентами Российской Федерации на изобретения.

**Методология и методы исследования.** Теоретические исследования базировались на положениях и законах термодинамики, гидродинамики, химической кинетики, коллоидной химии, химотологии. Экспериментальные исследования проводились с использованием классических и частных методик, теории планирования экспериментов с применением методов математической статистики и включали лабораторное определение физико-химических показателей нефтепродуктов и их смесей на основе современных стандартных методов, модельные испытания на специально разработанном стендовом оборудовании, полевые испытания в реальных условиях эксплуатации. В процессе исследований и испытаний применялись современное лабораторное оборудование и инструменты. Полученные результаты обрабатывались средствами вычислительной техники с применением компьютерных программ: Microsoft Excel, STATISTICA, HyperChem 7, NetChrom, MathCad. Образцы разработанного оборудования и технических средств изготавливались на экспериментальном производстве ФГБНУ ВНИИТиН.

**Положения, выносимые на защиту:**

- 1) методы экспресс-анализа качества моторных топлив и масел, позволяющие оценивать их фактическое состояние при хранении и применении в условиях АПК;
- 2) способы очистки дизельных топлив, позволяющие улучшать их эксплуатационные свойства;
- 3) зависимости изменения показателей качества дизельных топлив от параметров и режимов физико-химической обработки, позволяющие обосновать режимы технологического процесса очистки дизельных топлив;
- 4) закономерности процесса получения биодобавок к нефтепродуктам на основе возобновляемого растительного сырья;
- 5) рациональные характеристики и схемы технологических процессов получения биодобавок на основе возобновляемого сырья и их внесения в нефтепродукты, позволяющие модифицировать моторные топлива и смазочные материалы;
- 6) закономерности процессов коагуляции загрязняющих нефтепродукты смол и примесей, их удаления в поле центробежных сил, очистки отработанных минеральных и синтетических масел, позволяющие получить глубоко очищенную масляную основу для вторичных продуктов;

7) составы вторичных смазочных композиций, полученные путем переработки отработанных масел с использованием операций создания дисперсионной среды, позволяющие повторно использовать отработанные нефтепродукты;

8) результаты экспериментальных исследований эксплуатационных и экологических показателей работы дизельных двигателей на модифицированных моторных топливах с улучшенными характеристиками, и показателей работы узлов сельскохозяйственной техники при использовании вторичных смазочных материалов, позволяющие оценить эффективность предложенных технологий.

**Степень достоверности и апробация результатов исследований.** Достоверность результатов подтверждается методологической базой исследований, применением общих научных методов и приемов планирования и выполнения экспериментальных исследований, проведением лабораторных, стендовых и полевых испытаний с применением сертифицированных средств измерения, системного анализа решаемых задач, использованием современных средств вычислительной техники, результатами внедрения в производство. Полученные результаты не противоречат фактам, известным из специальной литературы.

Результаты исследований внедрены и использованы в МУП Пассажи́рских перевозок, ООО «Транс Ойл», ООО «СХПК Степь», ОАО «Никольское», ЗАО «АгроГард», ФГУП ПЗ «Пригородный», ООО ТД «Акцент Агро», ООО «МИПП ЭнергоОйл», ООО «КИЦЭМ», ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ», ООО «НИЦ «ТЕАС-МО», АО РТП «Некрасовское» и др.

Результаты диссертационной работы применяются при ведении научной и образовательной деятельности в ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет им. Г.Р. Державина», ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», РГП «Западно-Казахстанский аграрно-технический университет им. Жанги́р хана», ООО «Чистая Энергия».

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались в период с 2009 года по 2025 год на международных (38 докладов) и всероссийских (2 доклада) научных конференциях.

Результаты научных исследований отмечены медалями Девятнадцатой агропромышленной выставки «ВоронежАгро» (2014 г.), XXIII и XXVII Российской агропромышленной выставки «Золотая осень» (2021, 2025 гг.), благодарственным письмом Правительства Тамбовской Области.

**Личный вклад** автора заключается в обосновании актуальности темы, постановке цели и задач исследования, проведении анализа литературных и патентных материалов, теоретическом обосновании способов коагуляции загрязняющих нефтепродукты смол и примесей, связи скорости и времени осаждения частиц загрязнений с их размерами и физико-химическими характеристиками нефтепродуктов, выявлении зависимостей изменения показателей качества дизельных топлив и растительно-но сырья от параметров и режимов физико-химической обработки, определении методик и разработке программы экспериментальных исследований, проведении лабораторных экспериментов и стендовых испытаний, обработке и анализе полученных результатов, выполненных лично автором; обосновании интенсификации процесса получения биодобавок к нефтепродуктам на основе возоб-

новляемого растительного сырья, подготовке технических требований, разработке и испытании образцов технологического оборудования, проведении полевых испытаний образцов экспериментальных композиций топлив и масел, выполненных при участии автора; формулировке выводов и рекомендаций, внедрении результатов работы, подготовке научных публикаций по теме диссертации.

**Публикации.** По результатам проведенных исследований в рамках тематики диссертации опубликовано 180 работ, в том числе 75 научных статей в журналах, включенных в перечень ВАК (70 статей – в изданиях категорий К-1 и К-2), 67 статей в других научных журналах и сборниках материалов конференций, четыре монографии и два учебных пособия, 16 отчетов о выполнении НИР. Получено 16 патентов Российской Федерации на изобретения.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 6 разделов, заключения, списка литературы из 568 наименований и четырех приложений, изложена на 428 страницах машинописного текста, содержит 143 рисунка и 75 таблиц.

### **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность работы, изложена степень разработанности темы исследований, научная гипотеза, цель и задачи исследований, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы исследований, степень достоверности и апробация результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

**В первом разделе «Анализ проблем использования топливно-смазочных материалов в АПК»** рассмотрено современное состояние вопросов использования топлив и смазочных материалов в сельскохозяйственном производстве, несоответствия их качества требованиям нормативно-технической документации, отражена взаимосвязь качества нефтепродуктов с техническим состоянием машин. Дан анализ существующих подходов, технологий и технических средств контроля, сохранения и повышения качества нефтепродуктов, переработки и утилизации отработанных нефтепродуктов в условиях предприятий АПК. Предполагаемые пути решения комплексной проблемы рационального и эффективного использования топлив, масел, смазок и технических жидкостей в условиях АПК включают разработку новых методов и средств экспресс-контроля качества нефтепродуктов, технологий и технических средств обработки и очистки топлив и масел, позволяющих получить базовое масло или топливо, эксплуатационные свойства которых повышаются за счет присадок и добавок в том числе на основе возобновляемого сырья.

**Во втором разделе «Теоретические предпосылки разработки и совершенствования методов улучшения качества нефтепродуктов, применяемых в АПК»** с позиции термодинамики и физической химии изложены причины ухудшения качества топлив и смазочных материалов при хранении и использовании. Показано, что ухудшение качества топлив и увеличение его потерь от испарения напрямую зависит от взаимосвязанных процессов испарения, окисления и осадкообразования, которые приводят к изменению фракционного, химического и фазового состава топлив. В работающих моторных маслах на изменение качества влияет попадание загрязняющих веществ, окисление масляной основы, срабатывание присадок, поэтому для адекватной оценки их состояния необходим контроль вязкости, загрязняющих примесей и воды, содержания топлива, щелочного и кислотного числа.

Из представления о нефтепродуктах как коллоидных системах вытекает, что на состояние дисперсной фазы помимо размера и количества частиц непосредственное влияние оказывает вязкость, соотношение плотностей нефтепродукта и частиц дисперсной фазы, которые в свою очередь зависят от температуры:

$$v_{oc} < \frac{2 \cdot r_{\text{ч}}^2 \cdot g}{9 \cdot \nu_{\text{нп}0} \cdot e^{-\kappa \Delta T}} \cdot \left[ \frac{\rho_{\text{ч}0}(1 + \beta_{\text{нп}} \Delta T)}{\rho_{\text{нп}0}(1 + \beta_{\text{ч}} \Delta T)} - 1 \right], \quad (1)$$

$$r_{\text{ч}} < 3 \cdot \sqrt{\frac{v_{oc} \cdot \nu_{\text{нп}0} \cdot e^{-\kappa \Delta T}}{2 \cdot g} \cdot \left[ \frac{\rho_{\text{нп}0}(1 + \beta_{\text{ч}} \Delta T)}{\rho_{\text{ч}0}(1 + \beta_{\text{нп}} \Delta T)} - 1 \right]}, \quad (2)$$

$$\tau_{oc} < \frac{9 \cdot H \cdot \nu_{\text{нп}0} \cdot e^{-\kappa \Delta T} \cdot \rho_{\text{нп}0}}{2 \cdot r_{\text{ч}}^2 \cdot g \cdot (1 + \beta_{\text{нп}} \Delta T) \cdot \left[ \frac{\rho_{\text{ч}0}(1 + \beta_{\text{нп}} \Delta T)}{\rho_{\text{нп}0}(1 + \beta_{\text{ч}} \Delta T)} - 1 \right]}, \quad (3)$$

где  $m_{\text{ч}}$  – масса частицы дисперсной фазы, кг;  $r_{\text{ч}}$  – радиус частицы, мкм;  $v_{oc}$  – скорость осаждения, м/с;  $V_{\text{ч}}$  – объем частицы дисперсной фазы, м<sup>3</sup>;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;  $\mu_{\text{нп}}$  – динамическая вязкость нефтепродукта, кг/м·с;  $\rho_{\text{ч}}$ ,  $\rho_{\text{нп}}$  – плотность частицы и нефтепродукта соответственно, кг/м<sup>3</sup>;  $\nu_{\text{нп}}$  – кинематическая вязкость масляной основы, м<sup>2</sup>/с,  $\nu$ ,  $\nu_0$ ,  $\rho$ ,  $\rho_0$  – соответственно вязкости и плотности нефтепродукта при температурах  $T$  и  $T_0$ ,  $\kappa$ ,  $\beta$  – коэффициенты термовязкограммы (крутизны вискограммы) и объемного расширения соответственно, определяемые экспериментально для не очень большого интервала температур  $\Delta T = T - T_0$ .

В зависимости от того, что представляют собой дисперсная фаза (загрязнения или присадки) необходимо либо избавляться от них путем ускорения осаждения, либо равномерно распределить по всему объему дисперсионной среды не допуская выпадения в осадок. Укрупнение частиц и повышение скорости их осаждения, можно провести при помощи веществ, нарушающих агрегативную устойчивость дисперсных систем (коагулянтов) и центрифугирования, а диспергирование – при помощи специальных устройств.

Для практического применения при разработке методов коагуляционной очистки нефтепродуктов основной интерес представляет быстрая коагуляция ( $E_{\text{к}} = 0$  и  $P = 1$ ) константа скорости которой зависит определяется выражением:

$$k_{\text{БК}} = P8\pi RD \cdot e^{-\frac{E_{\text{к}}}{K_{\text{Б}}T}} = \frac{8K_{\text{Б}}T}{3\eta}, \quad (4)$$

где  $P$  – стерический множитель, учитывающий благоприятное расположение частиц при столкновении,  $E_{\text{к}}$  – энергетический барьер коагуляции, Дж;  $R$  – расстояние между частицами при их наибольшем сближении (принято равным удвоенному среднему радиусу частиц), м;  $D$  – средний коэффициент диффузии, м<sup>2</sup>/с;  $T$  – температура, К;  $K_{\text{Б}}$  – константа Больцмана, Дж/К;  $\eta$  – динамическая вязкость дисперсионной среды, Па·с

Таким образом, для кинетических закономерностей быстрой коагуляции важны вязкостно-температурные характеристики нефтепродуктов, размеры и изменение во времени количественного содержания частиц загрязнений.

Теоретический анализ механизма синтеза алкиловых эфиров, биодобавок к нефтепродуктам на основе возобновляемого сырья, показал, что на начальной стадии он протекает преимущественно в объеме спиртовой фазы в результате диффузии в нее компонента из жировой (масляной) фазы (рисунок 1).

По мере накопления в объеме продуктов реакции контроль смещается в кинетическую область, где для увеличения скорости реакции необходимо применять катализаторы и обеспечивать оптимальные значения температуры и давления. Следовательно, кинетику процесса в начале реакции контролирует массопередача реагентов через диффузионный пограничный слой, тогда суммарный коэффициент скорости элементарного процесса можно представить как:

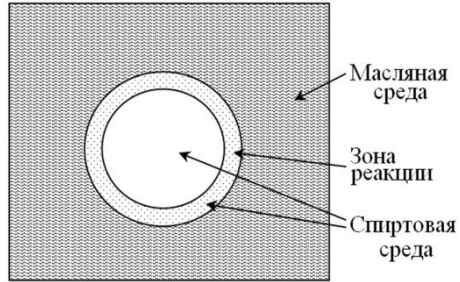


Рисунок 1 – Схема реакции в гетерогенной системе масло-спирт

$$k_i^* = \frac{k_i \cdot \beta_i}{k_i + \beta_i} S, \quad (5)$$

где  $S$  – общая площадь поверхности раздела фаз,  $m^2$ ;  $k_i$  – истинная константа скорости химической реакции на поверхности капли дисперсной фазы,  $s^{-1}$ ;  $\beta_i$  – коэффициент массоотдачи к этой поверхности.

Теория обновления поверхности допускает, что решающую роль в массопереносе распределяемого вещества играет не общая поверхность контакта фаз, а вновь образованная поверхность, поэтому ускорение вихревого движения на границе раздела фаз системы «жиры-спирт», в которой сосредоточено основное сопротивление переносу массы реагентов реакции, приведет к интенсификации процесса массопередачи в локальной зоне. Положив, что в системе «жиры-спирт» поток можно представить в виде гомогенных турбулентных вихрей, взаимодействие которых приводит к некоторой диссипации энергии вихрей  $G$ , обусловленной значительной динамической вязкостью  $\mu$  жиров по сравнению с вязкостью спирта, теоретическое значение коэффициента массоотдачи можно выразить:

$$\beta = 2 \sqrt{\frac{D}{\pi k_\tau k_w}} \sqrt{\frac{G}{\mu}} = k \sqrt{D} \sqrt{\frac{G}{\mu}}, \quad (6)$$

где величина коэффициента  $k$  обычно изменяется в пределах  $k = 0,2 \dots 0,56$ .

Интенсификация процесса в диффузионной области может быть достигнута главным образом повышением турбулентности взаимодействующих фаз, в результате которого происходит уменьшение диффузионного сопротивления и непрерывное обновление межфазной поверхности. Для этих целей целесообразно использовать акустические колебания, инициирующие кавитацию в обрабатываемой смеси и обеспечивающие прирост коэффициента массоотдачи  $\Delta\beta$  за счет акустического воздействия на поверхность раздела фаз.

Общие удельные энергозатраты МТА пропорциональны теплотворной способности применяемого топлива и его удельному расходу. При этом на удельный расход топлива оказывают влияние как теплота сгорания (состав топлива), так и параметры внешней среды (поступающего воздуха для топливовоздушной смеси):

$$E_0 = \theta \cdot Q_n = \frac{K_m \cdot g_e}{360 \cdot \eta_T} \cdot \left( 1 + \frac{T_x \cdot G_{Tx} + T_0 \cdot G_{T0}}{T_p \cdot G_{Tp}} \right) \cdot Q_n, \quad (7)$$

$$g_{ex} = g_e \cdot \left[ 1 - \left( \frac{T_0}{T_{0x}} - 1 \right) \cdot 0,22 \right] \cdot \left[ 1 - \left( \frac{T_s}{T_{sx}} - 1 \right) \cdot 0,11 \right] \cdot \left[ 1 - \left( \frac{p_0}{p_{0x}} - 1 \right) \cdot 0,09 \right] \cdot \frac{Q_n}{Q_{nx}}, \quad (8)$$

где  $E_0$  – общие удельные энергозатраты, МДж/га,  $\theta$  – удельный расход топлива на гектар, кг/га,  $K_m$  – удельное тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН/м,  $\eta_T$  – тяговый КПД трактора,  $T_x$ ,  $T_0$ ,  $T_p$ , и  $G_{Tx}$ ,  $G_{T0}$ ,  $G_{Tp}$  – время движения на холостом ходу, время остановок с работающим двигателем, чистое рабочее время, ч и часовой расход топлива на холостом ходу, при остановках с работающим двигателем и рабочем режиме, кг/ч соответственно.  $T_0$ ,  $T_{0x}$ ,  $p_0$ ,  $p_{0x}$  – соответственно стандартные и действительные температуры, °С и барометрические давления, МПа;  $T_s$ ,  $T_{sx}$  – спецификационная и действительная температуры в ресивере, °С;  $Q_n$ ,  $Q_{nx}$  – соответственно стандартная и действительная низшая удельная теплота сгорания топлива, МДж/кг.

Анализ показателей работы дизельного двигателя и энергозатрат МТА при использовании смесового топлива с возобновляемым компонентом указывает на некоторое снижение мощности и возрастание расхода моторного топлива, пропорциональное содержанию биодобавки, однако, при этом значительно снижается содержание CO, CO<sub>2</sub>, несгоревших углеводородов и дымность выхлопных газов. Основной причиной отклонений является различие в соотношениях углерода, водорода и кислорода в молекулах дизельного топлива и биодобавки, что способствует более эффективному сгоранию топлива и снижению вредных выбросов, однако уменьшает теплоту сгорания по сравнению с чистым дизельным топливом. Чтобы при использовании смесовых топлив показатели работы ДВС и МТА как можно меньше отличались от таковых при работе на чистом минеральном дизельном топливе без дополнительной настройки и доработки, следует улучшить условия и качество смесеобразования, например за счет кавитационной обработки смесового топлива при приготовлении.

**В третьем разделе «Методические аспекты проведения исследований»** представлена программа, общая и частные методики проведения лабораторных исследований, стендовых и полевых испытаний, включающие:

- определение физико-химических характеристик топлив и масел в соответствии с требованиями ГОСТ;
- определение функциональных групп углеводородов и углеводородного состава нефтепродуктов методами ИК-спектроскопии и хроматографии;
- определение дисперсного состава примесей и загрязнений нефтепродуктов на анализаторе ФС-151, методом динамического рассеяния света на спектрометре Photocor Complex;
- определение защитных и противокоррозионных свойств нефтепродуктов том числе с помощью электрохимического измерительного комплекса Solatron, их смазывающей способности на четырехшариковой машине трения КТ-2;
- определение параметров импульсно-кавитационного ультразвукового воздействия на моторное топливо, процесс синтеза биодобавок из возобновляемого сырья с помощью лабораторных ультразвуковых диспергаторов и специального стендового оборудования;

– синтез присадок и добавок к нефтепродуктам путем оксидирования, полимеризации, эпоксидирования, амидирования, этерификации и переэтерификации жирового сырья;

– определение параметров коагуляции и интенсификации очистки от загрязнений моторных топлив и отработанных масел, повышению их эксплуатационных характеристик;

– стендовую и полевую оценку работы дизеля и топливной аппаратуры на модифицированном и альтернативном топливе;

– сравнительные стендовые и производственные испытания гидравлических, трансмиссионных масел, пластичных смазок и их аналогов на базе глубоко очищенных отработанных масел.

**В четвертом разделе «Анализ результатов экспериментальных исследований»** представлены результаты экспериментальных исследований, на основе которых разработаны новые методы контроля качества нефтепродуктов, восстановления и улучшения качества дизельного топлива, очистки отработанных масел с созданием на их основе вторичных продуктов. В частности, приведены результаты мониторинга состояния качества и свойств нефтепродуктов, используемых в сельскохозяйственном производстве. Показано, что от 7 до 25 % из отобранных проб нефтепродуктов имеют несоответствия по одному или нескольким показателям качества (загрязненность механическими примесями, смолами и водой вследствие несоблюдения условий транспортировки и хранения), порядка 10 % резервуаров – нарушения герметичности, а более 50 % резервуаров не полностью укомплектованы необходимым оборудованием, дыхательными клапанами.

Результаты исследований изменения содержания смол и примесей в дизельном топливе под действием коагулянтов показали, что добавление серной кислоты значительно снижает содержание фактических смол (ФС) в топливе, но сильно повышает его кислотность, а растворы щелочи и карбамида ее понижают (рисунок 2).

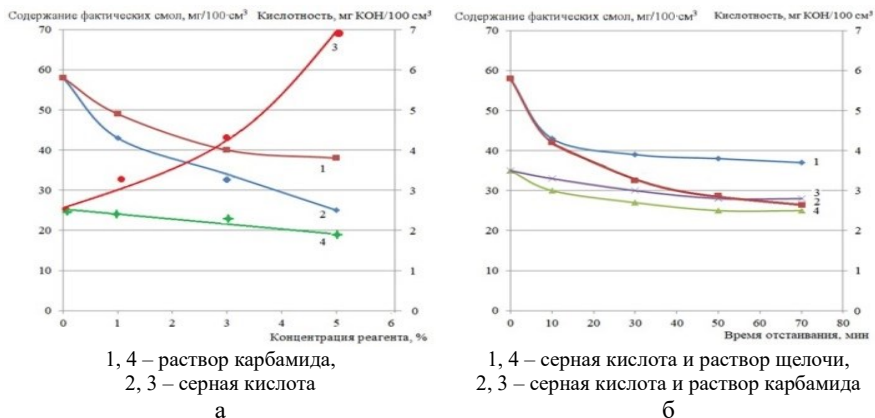


Рисунок 2 – Зависимость изменения содержания фактических смол (1, 2) и кислотности топлива (3, 4) от концентрации вносимого реагента (а) и от времени отстаивания при нейтрализации (б)

Насыщенный водный раствора карбамида (до 2 % от количества топлива) в большинстве случаев показывает хороший коагулирующий эффект при температуре 90 – 100 °С. Его также можно использовать в комбинации с концентрированной серной кислотой (до 5 % от количества дизельного топлива).

При интенсификации очистки дизельного топлива центрифугированием за 35 – 45 минут при частоте вращения ротора реактивной центрифуги 8000 об/мин и давлении в системе 8 – 10 кгс/см<sup>2</sup> снижается содержание механических примесей с 1 до 0,1 % и дисперсным составом до 0,5 – 1 мкм. При последовательном внесении по 0,2 % серной кислоты и водного раствора карбамида с последующим центрифугированием в течение 30 – 40 мин удалось снизить содержание ФС на 54 – 59 % в зависимости от образца топлива при температуре 80 °С (рисунок 3). Однако

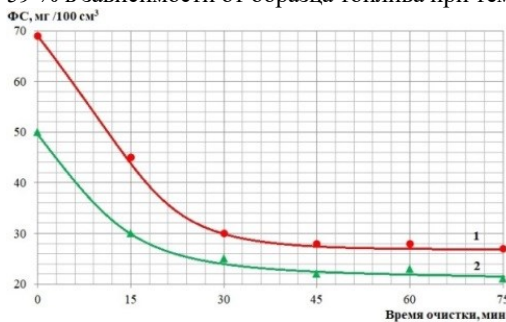


Рисунок 3 – Зависимость изменения содержания фактических смол (ФС) в образцах топлив (1, 2) от времени центрифугирования с предварительным последовательным внесением коагулянтов

разработанный способ очистки практически не влияет на фракционный и углеводородный состав, количество серосодержащих соединений топлива, а предусмотренный способ нагрева выше температуры вспышки накладывает свои ограничения на аппаратное оформление процесса, поэтому с целью совершенствования процесса очистки дизельного топлива были проведены дальнейшие исследования по определению влияния импульсно-пульсационного, ультразвукового и механохимического воздействия на состав и свойства дизельного топлива.

На основании результатов проведенных экспериментов и полученных регрессионных математических моделей зависимости изменения показателей качества топлива от параметров механохимического воздействия, определены параметры комплексной обработки нефтепродуктов на примере модельного дизельного топлива. Установлено, что при концентрации реагента, водно-спиртового раствора гидроперита, 3 – 5 % и времени обработки в статическом смесителе-активаторе 15 – 30 минут при давлении на входе 5 – 6 кгс/см<sup>2</sup> обеспечивается улучшение качества обрабатываемого дизельного топлива – снижается содержание смолистых соединений, общей и меркаптановой серы, изменяется фракционный состав, уменьшается коксумность 10 % остатка и т.п. (рисунок 4).

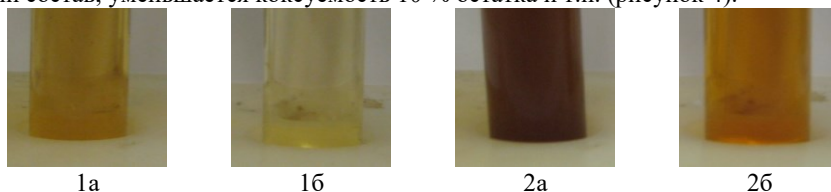
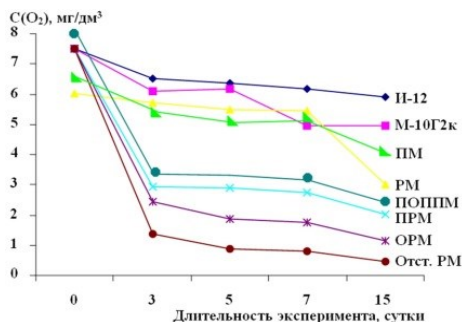


Рисунок 4 – Внешний вид образцов топлива до (а) и после (б) обработки

Вместе с тем, далеко не все показатели качества нефтепродуктов можно существенно изменить с помощью очистки и обработки, поэтому далее проводился поиск соединений, которые могут улучшать смазывающую способность, противоизносные и противокоррозионные свойства нефтепродуктов, цетановое число, экологические и низкотемпературные характеристики дизельных топлив,. Доступным и возобновляемым сырьем для их получения в условиях АПК являются некондиционные растительные масла, отходы масложировых производств. Наиболее простыми по реализации производными можно считать продукты окислирования и полимеризации растительных масел, обладающие существенными вязкостными и смазывающими свойствами (таблица 1). Кроме того, установлено, что биоразлагаемость растительных масел и продуктов на их основе гораздо лучше, чем минеральных масел без присадок (И-12) или с присадками (М10-Г<sub>2</sub>к) (рисунок 5).

Таблица 1 – Физико-химические характеристики продуктов, полученных из рапсового масла при нагреве в течение 12 часов

Температура, °С	Показатели			
	Кинематическая вязкость при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с	Температура застывания, °С	Кислотное число, мгКОН/г	Диаметр пятна износа, мм
Рапсовое масло				
–	8,3	– 20	24,6	0,27
150	10,1	– 14	23,2	0,26
200	13,2	– 13	20,1	0,21
250	317,7	– 5	3,4	0,19
300	500,0	0	3,0	0,19
Подсолнечное масло				
–	7,7	– 16	2,0	0,26
150	9,2	– 15	2,1	0,25
200	13,8	– 14	2,2	0,24
250	15,4	– 7	2,8	0,22
300	320	0	2,1	0,22



РМ – рапсовое масло; ПМ – подсолнечное масло; ПРМ – полимеризованное рапсовое масло; ОРМ – окислированное рапсовое масло; Отст. РМ – отстой рапсового масла; ПОПМ – продукты полимеризации отходов получения подсолнечного масла

Рисунок 5 – Зависимость содержания растворенного кислорода в воде, загрязненной маслами и продуктами их переработки

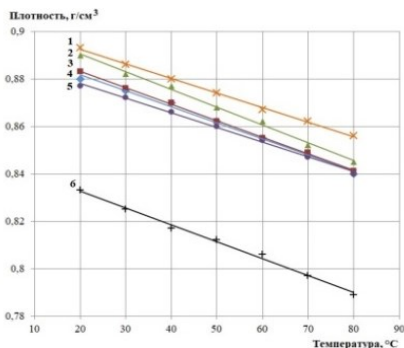
Более сложным (с точки зрения реализации) является получение из жирового сырья продуктов этерификации и перэтерификации, которые в чистом виде ис-

пользуются как моторное топливо, а также служат добавками, улучшающими экологические свойства дизельных топлив. На примере различных масел проведено уточнение параметров традиционной синтеза для достижения выхода сложных эфиров более 90 %: концентрация спирта 20 – 25 %; концентрация катализатора 1 – 2 %; температура – 55 – 60 °С, время – 50 – 60 минут. Установлено, что использование ультразвуковых колебаний позволяет сократить время реакции и снизить количество исходных реагентов. Рациональные значения параметров синтеза для достижения заданного значения вязкости получаемого продукта и количества глицериновой фазы составляют: время синтеза 40 – 112 сек, концентрация спирта 15 – 23 %, концентрация катализатора 0,8 – 1,6 %.

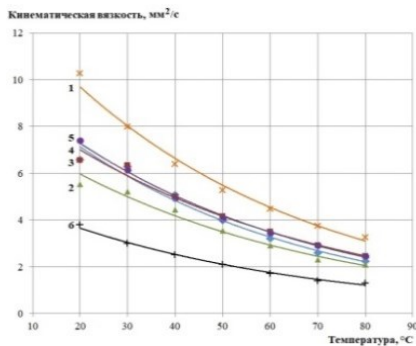
Проведенные исследования показали недостатки традиционной технологии переэтерификации – с жировым сырьем, имеющим высокое содержание свободных жирных кислот, трудно провести синтез в одну стадию из-за их омыления гомогенным щелочным катализатором. Для решения этой проблемы исследовали последовательное применение кислотного и основного катализаторов для ускорения стадий этерификации и переэтерификации. Установлено, что в качестве гомогенного катализатора этерификации предпочтительна серная кислота. Оптимальным условием этой стадии, обеспечивающей снижение кислотного числа и подготовку сырья для проведения стадии трансэтерификации, является температура  $60 \pm 3$  °С, время реакции 50 – 60 мин, концентрация серной кислоты 0,5 – 3 % в зависимости от исходного кислотного числа сырья. Таким образом, для получения компонента смесового топлива из жирового сырья с повышенным кислотным числом синтез предлагается проводить в две последовательных стадии – этерификации свободных жирных кислот с кислотным катализатором и переэтерификации триацилглицеридов с щелочным катализатором.

Помимо продуктов окислирования и полимеризации, алкиловых эфиров из некондиционного возобновляемого жирового сырья были получены и исследованы амиды и алкильные производные сложных эфиров, предположительно способных влиять на смазывающие свойства нефтепродуктов. Условия синтеза: температура взаимодействия с этаноламином 120 – 130 °С, с триэтаноламином 160 – 180 °С, время протекания реакции при перемешивании – 3 часа.

Результаты исследований физико-химических свойств синтезированных соединений показали корреляцию между жирнокислотным составом и физико-химическими характеристиками биодобавок. Плотность, вязкость (рисунок 6) и низкотемпературные свойства зависят от соотношения средне- и длинноцепочечных радикалов жирных кислот, а также от степени их неопределенности. Наличие двойных связей с одной стороны, улучшает низкотемпературные свойства биодобавок, а с другой – снижает антиокислительную стабильность. Наиболее предпочтительным является присутствие в добавке радикалов кислот с одной двойной связью. Увеличить окислительную стабильность и цетановое число могут предельные радикалы небольшой длины, но они ухудшают низкотемпературные свойства топлив. Так как не все параметры алкиловых эфиров соответствуют требованиям, предъявляемым к товарному дизельному топливу, то для использования их в дизеле без изменения его регулировки применяются смеси нефтяного топлива и синтезированных биодобавок, с помощью которых можно скорректировать состав и свойства некондиционного топлива, скомпенсировав отклоняющиеся значения.



а

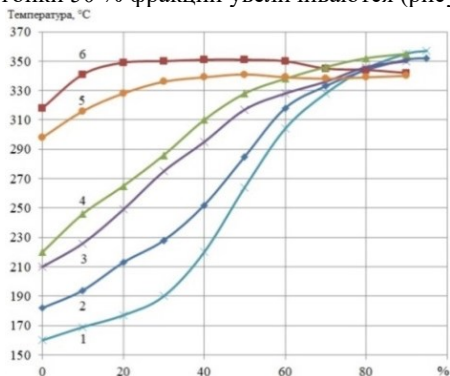


б

1 – рыжик; 2 – лен; 3 – рапс; 4 – подсолнечник; 5 – редька; 6 – нефтяное дизельное топливо

Рисунок 6 – Зависимость плотности (а) и вязкости (б) образцов биодобавок к дизельному топливу (метиловых эфиров) из жирового сырья от температуры

На примере фракционного состава видно, что с увеличением содержания высокомолекулярных эфиров в смеси температуры начала кипения, а также перегонки 50 % фракции увеличиваются (рисунок 7).



1 – нефтяное дизельное топливо;  
2 – смешанное топливо с 10 % биодобавки;  
3 – смешанное топливо с 20 % биодобавки;  
4 – смешанное топливо с 50 % биодобавки;  
5 – смешанное топливо с 80 % биодобавки;  
6 – индивидуальная биодобавка

Рисунок 7 – Кривые перегонки нефтяного дизельного топлива с различным содержанием биодобавки на основе масла рыжика

Лабораторные исследования по приготовлению смешанного топлива закономерно показали, что при добавлении в дизельное топливо без нагрева более 20 % биодобавки, содержащей большое количество эфиров предельных кислот (на основе твердого жира), топливо становилось мутным, часть компонента выпадала в осадок, который растворялся при повышении температуры до 40 °C.

Для биодобавок, содержащих большее количество непредельных соединений (независимо от изначального кислотного числа сырья) не обнаружено расслоения или выпадения осадка при содержании биодобавки до 50 % и более. Однако наличие непредельных соединений снижает стабильность такого топлива при хранении. Проверка смешанных топлив, содержащих 7 % метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) рыжикового и рапсового масел со сроком хранения более двух месяцев, показала, что они не соответствуют требованиям ГОСТ по показателям

телло «Окислительная стабильность» – количество осадка превышает допустимые значения в 3 и 7,7 раза соответственно (таблица 2). Установлено, что концентрация 0,1 % масс. присадки Агидол-1 позволяет довести смесевые дизельные топлива с содержанием 7 % МЭЖК до требований ГОСТ 32511 по этому показателю.

Таблица 2 – Результаты испытаний смесевых топлив, содержащих 7 % МЭЖК рыжикового и рапсового масел, на соответствие требованиям ГОСТ

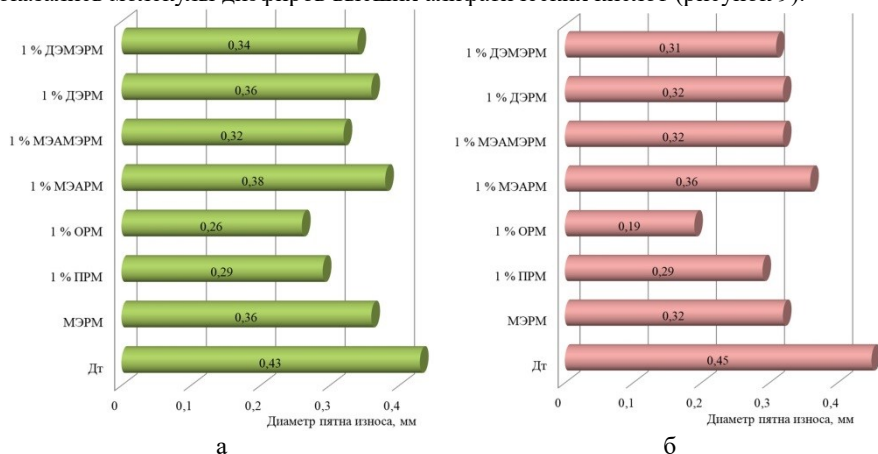
Показатели	Фактическое значение для смесевого топлива		Норма по ГОСТ 32511 (зимнее)
	из рыжикового масла	из рапсового масла	
Плотность при 15°C, кг/м <sup>3</sup>	818,8	818,5	820 – 845
Кинематическая вязкость при 40°C, мм <sup>2</sup> /с	1,66	1,67	1,5 – 4,0
Йодное число, г йода на 100 г топлива	10,6	7,6	–
Предельная температура фильтруемости, °С, не выше	Минус 60	Минус 54	от минус 20 до минус 38
Фракционный состав:			
– при 250 °С перегоняется, % об.	72,99	73,33	< 65
– при 350 °С перегоняется, % об.	> 97,7	> 97,8	≥ 85
– 95 % об. перегоняется при темп., °С	319,0	314,3	≤ 360
Цетановое число	44,4	45,7	49,0
Коксуемость 10 %-го остатка, % масс.	0,22	0,06	≤ 0,3
Окислительная стабильность, г/м <sup>3</sup>	71	193	≤ 25
Диаметр пятна износа при 60°C, мкм	341	404	≤ 460

Основываясь на полученных данных можно заключить, что для обеспечения нормальной работы дизельного двигателя без его модификаций и дополнительной регулировки на чистых МЭЖК или смесевом топливе с содержанием МЭЖК более 7 % необходимо приблизить характеристики такого топлива к параметрам, нормируемым для дизельного топлива. Установлено, что этого можно достичь кавитационной обработкой смесевого топлива, которая также влияет на его показатели аналогично дизельному топливу – снижается вязкость, плотность, температуры вспышки, застывания (таблица 3).

Таблица 3 – Физико-химические характеристики моторных топлив

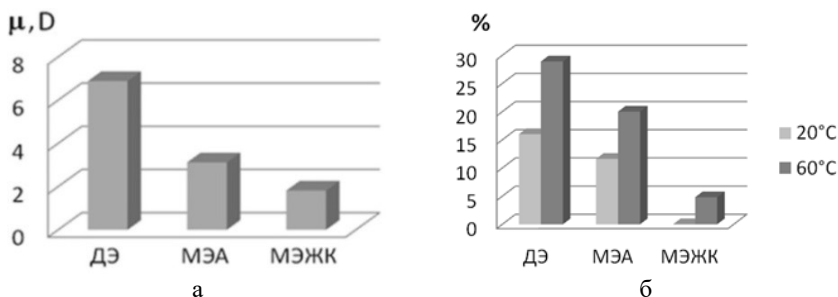
Моторное топливо	Плотность, при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	Вязкость, при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	Кислотное число, мг КОН/г	Температура, °С			Цетановое число
				вспышки	помутнения	застывания	
Дизельное топливо (ДТ)	859	4,8	0,06	70	– 5	– 10	48
ДТ обработанное	844	3,6	0,06	66	– 6	– 12	49
Метилвый эфир рапсового масла (МЭРМ)	882	6,5	0,5	161	– 15	– 19	53
Смесевое топливо (СТ) 20 % МЭРМ	863	5,4	0,5	101	– 6	– 10	49
СТ 20 % МЭРМ обработанное	855	4,0	0,5	88	– 7	– 11	50

Все синтезированные соединения улучшают смазывающие свойства дизельного топлива и могут быть использованы в качестве противоизносных присадок, однако эффективность взаимодействия полученных соединений с металлической поверхностью заметно отличается (рисунок 8). Сопоставление равновесной геометрии и дипольных моментов органических молекул синтезированных соединений и их смазывающими свойствами показали корреляцию между полярностью молекул и степенью улучшения смазывающей способностью. Наиболее полярными оказались молекулы диэфиров высших алифатических кислот (рисунок 9).



МЭАРМ – моноэтаноламиды на основе рыжикового масла; МЭАМЭРМ – моноэтаноламиды на основе метиловых эфиров рыжикового масла (МЭРМ); ДЭРМ – диэфиры высших алифатических кислот рыжикового масла и триэтаноламина; ДЭМЭРМ – диэфиры высших алифатических кислот и триэтаноламина, синтезированные из МЭРМ; ОРМ – оксидированное и ПРМ – полимеризованное рыжиковое масло

Рисунок 8 – Изменение смазывающей способности дизельного топлива после добавления 1 % синтезированных биодобавок при 20 °С (а) и 60 °С (б)



ДЭ – диэфиры высших алифатических кислот и триэтаноламина, МЭА – моноэтаноламиды высших алифатических кислот, МЭЖК – метиловые эфиры жирных кислот

Рисунок 9 – Дипольные моменты молекул (а) синтезированных соединений и их улучшение смазывающей способности дизельного топлива (б)

На основании результатов исследований по улучшению низкотемпературных свойств дизельных топлив можно констатировать, что соединения, синтезированные на основе возобновляемого некондиционного сырья, не показали достаточный уровень снижения температуры замерзания по сравнению со специализированными присадками, однако отмеченный эффект является полезным дополнением наряду с хорошими противозносными свойствами. Промышленно выпускаемые депрессорные присадки показывают приблизительно равный результат, поэтому их выбор будет зависеть от доступности для сельскохозяйственного производителя.

Результаты исследований защитных свойств синтезированных добавок к дизельному топливу показали, что по результатам электрохимических исследований (рисунок 10), водные композиции на основе метиловых эфиров обеспечивают в хлоридном растворе более высокую защитную эффективность (93 – 99 %), чем композиции на основе дизельного топлива (72 – 95 %). Противокоррозионные свойства композиций топлив с водой снижаются с ростом ее концентрации. Аналогичные данные получены по ускоренным гравиметрическим коррозионным испытаниям в 0,5 М растворе NaCl (защитная эффективность композиций с биодобавкой составила 69,9 – 80,9 % против 59,4 – 62,2 % для дизельного топлива) и в термовлагокамере Г-4 (99,0 – 99,4 % против 24,7 – 21,7 % соответственно).

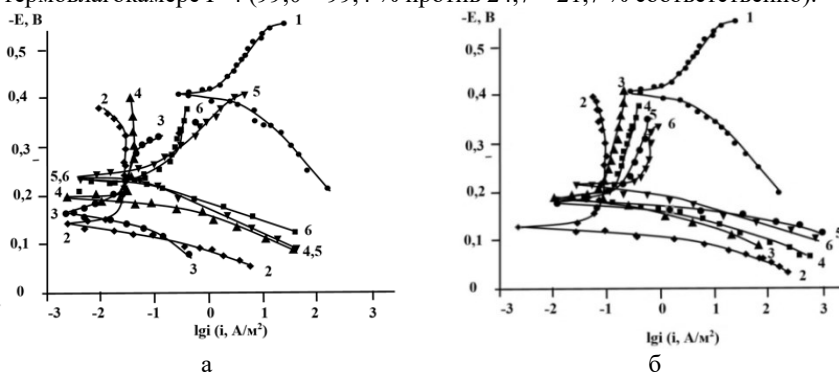


Рисунок 10 – Поляризационные кривые, измеренные в 0,5 М растворе NaCl на стальном электроде без покрытия – 1, с покрытиями биодобавкой (а) и дизельным топливом (б) – 2 и их обводненными композициями с H<sub>2</sub>O: 3 – 5 масс. %; 4 – 10 масс. %; 5 – 15 масс. %; 6 – 20 масс. %

По результатам сравнительных моторных испытаний очищенного обработанного дизельного топлива на тормозном стенде КИ–5543 ГОСНИТИ с дизелем Д-240 в течение 100 часов не обнаружено какого-либо негативного влияния процесса обработки на дизельное топливо, моторное масло или работу двигателя. Удельный эффективный расход топлива для очищенного и обработанного топлива оказался в среднем на 3,7 % ниже, чем у необработанного топлива, в зависимости от нагрузки и оборотов.

Анализ результатов сравнительных моторных испытаний дизельных топлив, модифицированных биодобавками, на тормозном стенде показал, что с ростом концентрации биодобавки происходит улучшение показателей токсичности обрабо-

тавших газов по сравнению с исходным дизельным топливом (рисунок 11). Наименьшее снижение наблюдаемых показателей отмечено у смесового топлива МТ № 2, наибольшее – у МТ № 5 в зависимости от режима работы. При этом наибольшее возрастание значений удельного эффективного расхода топлива отмечалось у необработанного топлива МТ № 4 – в среднем на 6,6 % (рисунок 12). Наиболее близкие значения наблюдались у образцов МТ № 1 и МТ № 3 – разница составила в среднем 1,0 %.

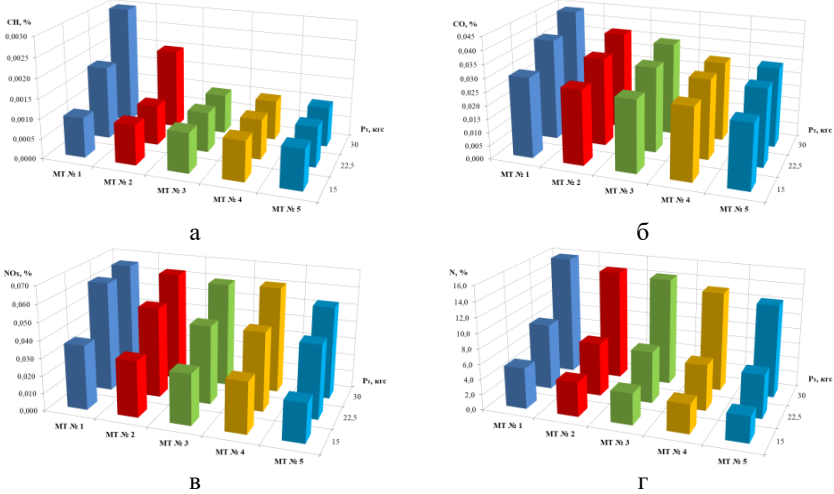
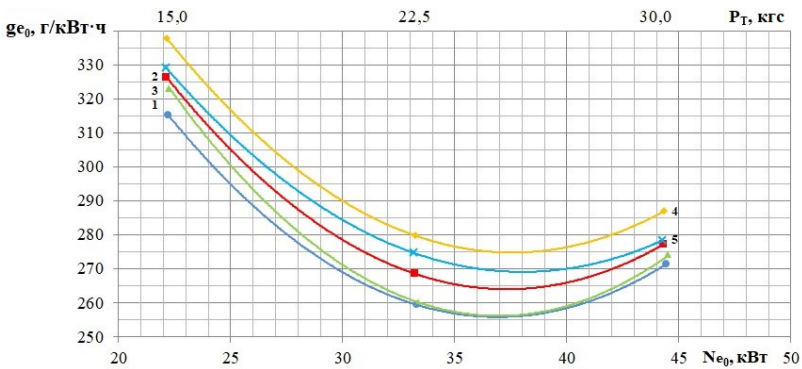


Рисунок 11 – Средние значения несгоревших углеводородов СН (а), оксида углерода (II) СО (б), оксидов азота NO<sub>x</sub> (в), дымности N (г) дизеля Д-240, работающего на различных видах топлива при 2000 об/мин



МТ № 1 – базовое 100 % дизельное топливо (БДТ); МТ № 2 – 80 % БДТ и 20 % метиловых эфиров рыжикового масла (МЭРыжМ); МТ № 3 – 80 % ДТ и 20 % МЭРыжМ, обработанные; МТ № 4 – 60 % ДТ и 40 % МЭРыжМ; МТ № 5 – 60 % ДТ и 40 % МЭРыжМ, обработанные

Рисунок 12 – Зависимость удельного эффективного расход топлива  $g_{e0}$  от эффективной мощности  $N_{e0}$  двигателя Д-240 при 2000 об/мин

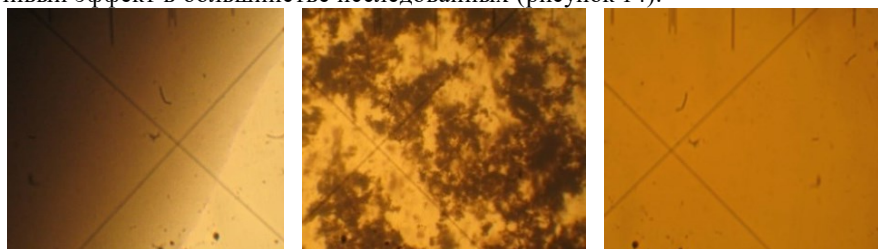
Таким образом, обработка дизельного смесового топлива в смесителе-активаторе позволяет не только лучше перемешать компоненты смесового топлива, но и улучшить значения физико-химических показателей, приблизив их к нефтяному дизельному топливу. Рациональным можно считать состав смесового топлива, содержащий 80 % дизельного топлива и 20 % биодобавки, смешанных при помощи смесителя-активатора. Он обеспечивает заметное улучшение экологических показателей дизельного двигателя при незначительном ухудшении топливной экономичности и эффективной мощности по сравнению со смесовыми топливами с большим содержанием биодобавки, для которых топливная экономичность и эффективная мощность снижаются сильнее, хоть и при более высоких экологических показателях работы двигателя.

Исследования по совершенствованию способов очистки отработанных масел и получения из них основы для вторичных продуктов показали, что если для минеральных масел наибольшую эффективность в качестве коагулянта продуктов старения имеет карбамид, то для качественной очистки отработанных синтетических масел (ОСМ) и их смесей от загрязнений, удерживаемых в мелкодиспергированном состоянии моющее-диспергирующими присадками, его действия не достаточно даже в присутствии других реагентов – активаторов коагуляции (рисунок 13).



Рисунок 13 – Эффективность действия смесей коагулянтов в маслах

Дальнейший поиск показал, что применение смесей алифатических спиртов (неионогенный ПАВ) и аминокспиртов (ионогенный ПАВ) дает устойчивый эффект в большинстве исследованных (рисунок 14).



а) загрязненное масло      б) загрязненное масло после введения реагентов и нагрева      в) очищенное масло

Рисунок 14 – Микрофотографии коагуляционных процессов в ОСМ

Аминосспирты (моноэтаноламин) являются электролитами (слабые основания), способными оказывать дестабилизирующее действие на моющее-диспергирующие

присадки ОСМ, однако их действие как ПАВ не столь значительно. В тоже время, при смешении с неионогенным ПАВ (изопропанол) действие этой смеси усиливается так, что частицы загрязнений масла коагулируют почти полностью до размеров более 5 мкм (таблица 4), которые легко отделить центрифугированием до низких значений (0,01 – 0,05 %). Их раздельное использование не обеспечивает необходимого коагуляционного эффекта для укрупнения загрязнений масла.

Таблица 4 – Результаты очистки различных ОСМ смесью моноэтаноламина и изопропилового спирта (1:1) в количестве 4 об. % и нагреве до 130 °С

Показатели	Пробы отработанных синтетических масел (ОСМ)							
	№ 1		№ 2		№ 3		№ 4	
	Исх.	Очищ.	Исх.	Очищ.	Исх.	Очищ.	Исх.	Очищ.
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с	12,7	12,5	13,3	13,1	9,5	9,8	9,1	10,2
Температура вспышки, °С	205	204	195	190	165	175	165	185
Щелочное число, мг КОН/г	4,0	4,3	2,7	2,8	1,2	1,3	1,5	2,8
Кислотное число, мг КОН/г	2,8	2,5	4,2	4,0	0,9	0,8	1,7	1,4
Содержание механических примесей, %	0,8	0,01	0,8	0,01	0,3	0,01	0,8	0,01
Содержание воды, %	следы	отс	0,1	отс	0,1	отс	0,1	отс
Диаметр пятна износа на ЧШМТ, мм	0,36	0,32	0,38	0,31	0,37	0,32	0,37	0,32
Цвет, ед. ЦНТ	8,0.	6,5	8,0	6,0	7,0	5,5	7,0	6,0

Установлено, что коагуляционный эффект зависит от температуры смешивания и остаточного содержания моющее-диспергирующих присадок в масле, оцениваемых по щелочному числу. Оптимальной температурой для начала коагуляционных эффектов является интервал в 130 – 150 °С, а оптимальными концентрациями добавок моноэтаноламина и изопропилового спирта – 2 – 4 об. %.

Отработанное моторное масло уже не имеет достаточного набора эксплуатационных свойств для повторного использования по прямому назначению, в то же время, разработанные методы очистки позволяют очищать их до состояния, при котором они могут быть использованы для изготовления вторичных продуктов.

В качестве гидравлической жидкости для сельскохозяйственной техники могут быть использованы очищенные отработанные синтетические или минеральные моторные масла. Для улучшения вязкостно-температурных и смазывающих свойств в них могут быть добавлены небольшие количества (до 5 %) продуктов полимеризации и окислирования растительных масел.

Результаты стендовых испытаний показали, что свойства модельных смесей (МС), сопоставимы со свойствами товарных гидравлических масел (таблица 5). Контроль параметров стенда, имитирующего работу гидравлической системы навески трактора, установил, что за 200 часов работы модельных смесей заметно износа и коррозии деталей, а также изменений в работе гидростенда не обнаружено. Давление срабатывания остались на первоначальном уровне.

Таблица 5 – Результаты стендовой оценки пенообразующих, коррозионных и моющих свойств модельных масляных смесей для гидросистем

Масла и их смеси		МС №1: очищенное ОММ, 5% ПРМ, 1 % ПЭГ–3000	МС № 2: очищен- ное ОСМ	МС № 3: очищенное ОММ:ОРМ (1:1), 4 % ПРМ	М-10Г <sub>2</sub> к	МГЕ-46В
Показатели работы						
Высота слоя пены, мм	20 °С	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5
	100 °С	2,0	2,3	2,5	6,0	2,5
Коррозия пластин	сталь	отс	отс	отс	отс	отс
	медь	отс	отс	отс	отс	отс
	алюминий	отс	отс	отс	+	+
Количество удален- ных загрязнений по- сле 5 мин работы, %	20 °С	80	83	85	75	85
	100 °С	98	99	98	99	98

Для получения трансмиссионных масел в масляную основу следует добавить загуститель, так как вязкость у очищенных масел обычно на 30 – 50 % ниже, чем у товарных трансмиссионных масел. Исследования вязкостно-температурных свойств масляной основы и загустителей показали, что наиболее рациональным загустителем следует считать 5 – 6 % присадки КП–20, представляющей собой концентрированный раствор полиизобутилена со средней молекулярной массой 15000 – 25000 в индустриальном масле И–12А.

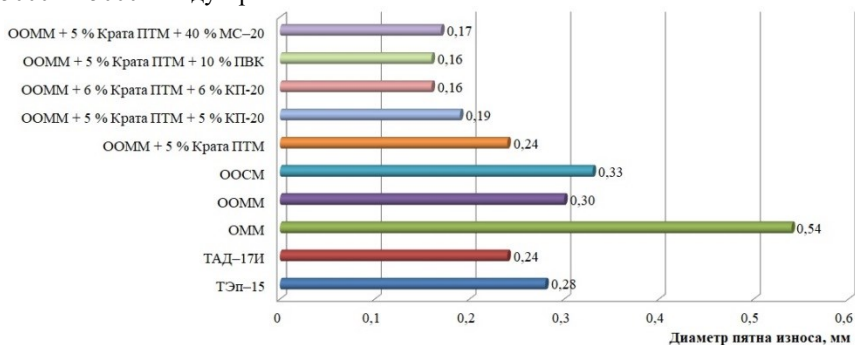


Рисунок 15 – Результаты определения диаметра пятна износа шариков на машине трения при нагрузке 200 Н и температуре 70 °С

Оптимальная концентрация пакета присадок к трансмиссионным маслам «Крата ПТМ» (ОАО «Пигмент») определялась исходя из анализа изменения вязкости, кислотного числа, термоокислительной стабильности, содержания нерастворимого осадка и также составила 5 – 6 %. Такая смазочная композиция превосходит товарные трансмиссионные масла ТЭп–15 и ТАД–17и по смазывающим (рисунок 15) и защитным свойствам, а по другим характеристикам – аналогична им. Это подтвердили сравнительные испытания на стенде, имитирующем работу конечных передач трансмиссии трактора Т–40А.

Продукты переработки растительных масел (окисленные и полимеризованные фракции) обладают хорошей смазывающей способностью, на уровне минеральных масел со специальными противоизносными добавками.

Определены составы и свойства аналогов товарных пластичных смазок Солидол-Ж и Литол-24. Смазки на кальциевом мыле при соотношении дисперсионной среды (ДС) и дисперсной фазы (ДФ) – 60:40 и 50:50 имеют температуру каплепадения 97 – 100 °С (очищенное минеральное масло) и 105 – 110 °С (очищенное синтетическое масло). Температуры каплепадения экспериментальных составов, загущенных литиевым мылом, при соотношении ДС:ДФ – 80:20 и 82:18 приближается к нормативным значениям для смазки Литол-24 (180 °С). При этом важное значение имеет последовательность приготовления загустителя, температурный режим и время обработки смеси, которые влияют на температуру каплепадения и образование структуры смазки.

Установлено что с ростом температуры противоизносные свойства всех смазок ухудшаются, при этом составы, состоящие только из очищенного отработанного минерального масла и загустителя, имеют худшие противоизносные свойства, нежели товарные смазки. Более высокие противоизносные свойства показывает составы на основе очищенного отработанного синтетического масла (рисунок 16).

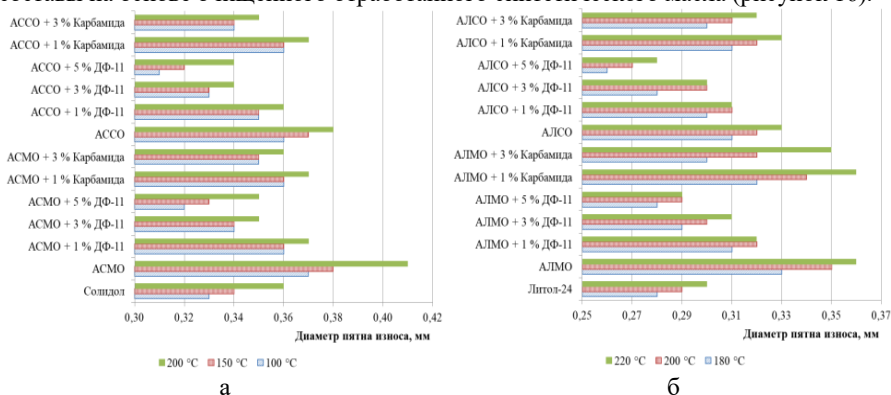


Рисунок 16 – Изменение диаметра пятна износа в зависимости от состава аналога солидола (а), аналога литола (б) и температуры испытаний

Добавление в пластичные смазки углеродных наноматериалов не оказывает существенного влияния на температуру каплепадения смазки, но при этом улучшает смазывающую способность на 10 – 17 %.

Сравнительные стендовые испытания экспериментальных смазок показали, что они обеспечивали лучший температурный и смазочный режим работы подшипников, чем товарные продукты. При этом наименьший износ поверхности наблюдался у аналогов на синтетической основе, а наибольший – у товарных смазок.

**В пятом разделе «Технологии и методы повышения эксплуатационных свойств моторных топлив, масел, смазок и технических жидкостей»** представлены разработанные технологические процессы, технические средства и результаты их производственных, полевых испытаний. Изложены принципы орга-

низации оперативного контроля качества и рационального использования нефтепродуктов в условиях предприятий АПК, приведены результаты оценки работоспособности новых методов экспресс-анализа в полевых условиях (рисунок 17), которые показали высокую степень совпадения результатов экспресс-анализа и лабораторного определения.



Рисунок 17 – Портативные экспресс-лаборатории контроля качества топлив – ЭЛТ (а) и смазочных материалов – ЭЛМ (б)

Для реализации Технологической процесс очистки и повышения эксплуатационных свойств дизельного топлива разработана экспериментальная установка (рисунок 18а), обеспечивающая после очистки содержание механических примесей до 24 мг/кг и количество воды не более 50 – 90 мг/кг, а также улучшение смазывающих свойств. В результате полевых испытаний установлено, что при эксплуатации тракторов на очищенном дизельном топливе с улучшенными смазывающими свойствами расход топлива в среднем снизился на 3,5 – 7,2 %, дымность выхлопа снизилась на 7,8 – 10,3 %. Загрязненность выхлопных газов, по содержанию СО снизилась на 15 – 19 %, СН – на 25 – 30 %.



Рисунок 18 – Экспериментальная установка очистки топлива (а) и опытно-промышленная установка УБТРМ-600 (б)

Для реализации технологического процесса получения добавок к дизельному топливу на основе возобновляемого сырья разработана опытно-промышленная установка УБТРМ-600 (рисунок 18б), позволяющая получать метиловые эфиры жирных кислот соответствующее требованиям ГОСТ Р 53605–2009 (таблица 6).

Таблица 6 – Характеристики МЭЖК, синтезированных на установке УБТРМ–600 из рапсового и рыжикового масел

Параметры	МЭЖК из масла		ГОСТ Р 53605-2009 (ЕН 14214:2003)
	Рапса	Рыжика	
Плотность, при 15 °С, г/см <sup>3</sup>	0,880	0,886	0,860 – 0,900
Вязкость, при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	4,5	4,8	3,5 – 5,0
Температура вспышки, °С	165	190	≥ 120
Предельная температура фильтруемости, °С	– 19	– 13	+5 – -44
Кислотное число, мг КОН/г	0,2	0,5	≤ 0,5
Коррозия медной пластинки (3 ч при 50 °С)	Класс 1	Класс 1	Класс 1
Содержание воды, мг/кг	56	160	≤ 500
Содержание механических примесей, мг/кг	13	20	≤ 24
Содержание серы, мг/кг	отс.	отс.	≤ 10
Массовая доля сульфатной золы, %	0,01	0,01	0,02
Массовая доля эфиров, %	98,5	97,1	≥ 96,5
Содержание метанола, %	0,09	0,1	≤ 0,2
Содержание глицерина, %	0,11	0,06	≤ 0,25
Массовая доля моноглицеридов, %	0,3	0,55	≤ 0,8
Массовая доля диглицеридов, %	0,08	отс.	≤ 0,2
Массовая доля триглицеридов, %	0,1	0,2	≤ 0,2
Содержание металлов (Na + K), мг/кг	4,8	4,7	≤ 5,0
Содержание металлов (Ca + Mg), мг/кг	2,2	2,5	≤ 5,0
Содержание фосфора, мг/кг	5	4,9	≤ 10

Использование разработанных методов и средств улучшения эксплуатационных и экологических свойств топлив иллюстрируется принципиальной технологической схемой комплексной обработки светлых нефтепродуктов (рисунок 19).



Полевые испытания показали, что экологические показатели – дымность, содержание оксидов углерода и несгоревших углеводородов в отработавших газах уменьшается по мере увеличения количества биодобавки в дизельном смесевом

топливе. Зафиксировано снижение дымности смесевых топлив на 5 – 30 %, CO – на 14 – 28 %, CH – на 12 – 38 %, по сравнению с ДТ. Эксплуатационные показатели, средний часовой или удельный расход топлива зависят от выполняемых технической операций и в среднем возрастают с увеличением содержания МЭЖК в смесевом топливе. Наименьшая разница в расходе между дизельным смесевым и дизельным топливом, как и в случае стендовых испытаний, зафиксирована для обработанного в смесителе-активаторе смесевого топлива, состоящего из 80 % дизельного топлива и 20 % метиловых эфиров – 0,83 % (рисунок 20).

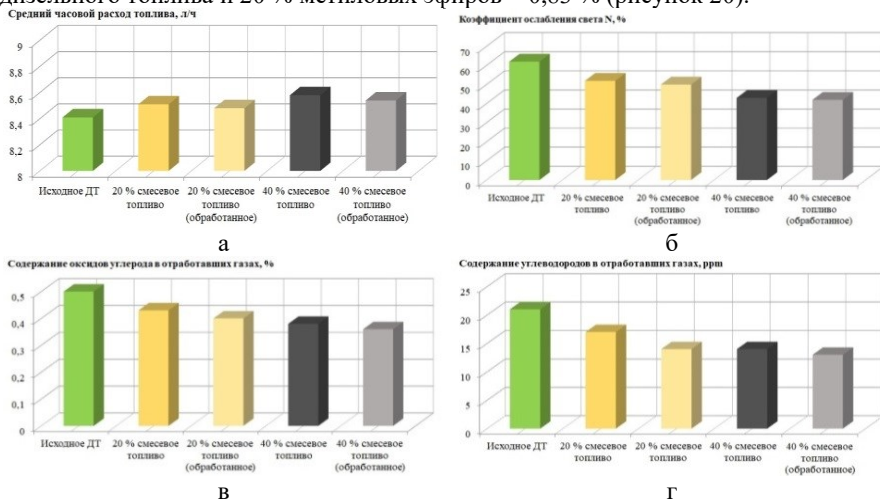
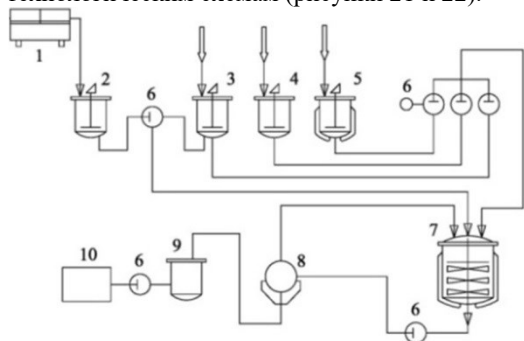


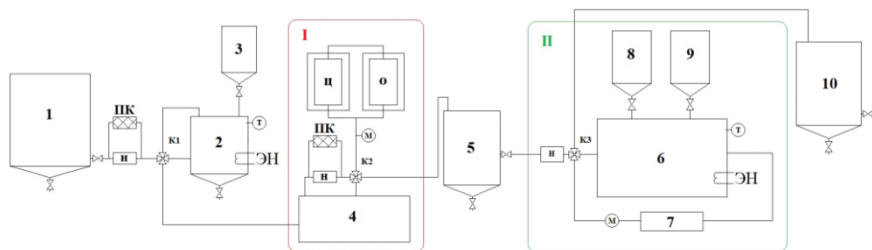
Рисунок 20 – Изменение расхода топлива (а), дымности (б) и загрязненности выхлопных газов (в, г) при использовании различных концентраций смесевых топлив из масла Рыжика

Технологические процессы получения вторичных гидравлических и трансмиссионных масел, пластичных смазок путем глубокой очистки отработанных масел, загущения и обогащения масляной основы присадками и добавками осуществляется в несколько стадий по принципиальным технологическим схемам (рисунок 21 и 22).



1 – установка для очистки отработанных масел; 2, 3, 4 – сырьевые емкости; 6 – дозировочные насосы; 7 – реактор с мешалкой; 8 – гомогенизатор-охладитель; 9 – ёмкость-накопитель; 10 – расфасовочная машина

Рисунок 21 – Принципиальная технологическая схема получения аналогов пластичных смазок



1 – резервуар сбора отработанного масла; 2 – реактор; 3 – резервуар для разделяющего агента; 4 – бак установки УОМ-100; 5 – емкость для масляной основы; 6 – емкость для обогащения основы; 7 – диспергатор-стабилизатор; 8 – емкость для загустителя; 9 – емкость для присадок; 10 – емкость для хранения смазочной композиции; Н – насос; ПК – предохранительный клапан; Т – термометр; ЭН – электронагреватель; М – манометр; ЦО – центробежные очистители; К1, К2, К3 – краны управления; I – установка УОМ-100; II – установка ДСП – 100

Рисунок 22 – Принципиальная схема глубокой очистки отработанных масел, загущения и обогащения масляной основы присадками с получением гидравлических и трансмиссионных масел

Полевые испытания экспериментальных масляных композиций (ЭМК) и пластичных смазок в хозяйствах Тамбовской области подтвердили результаты стендовых испытаний и показали возможность использования в качестве гидравлической жидкости, трансмиссионного масла и пластичных смазок вторичных продуктов на основе очищенных отработанных масел с добавлением присадок и добавок, в том числе на основе возобновляемого сырья (рисунки 23 и 24). По своим трибологическим характеристикам они не уступают товарным продуктам, а по некоторым параметрам значительно превосходят их.

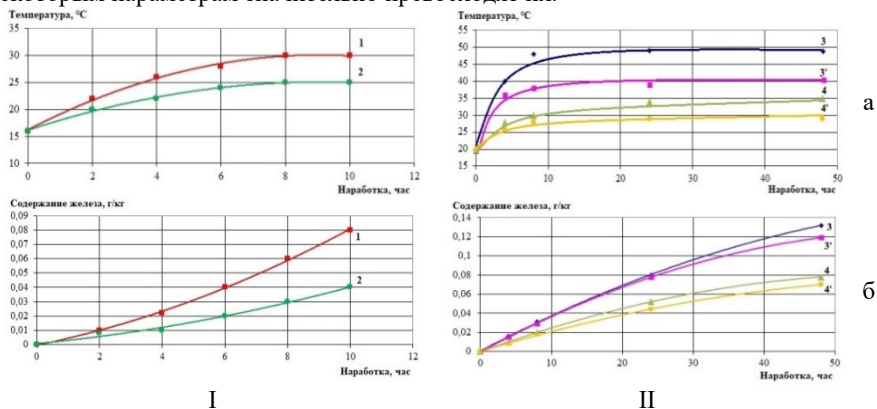
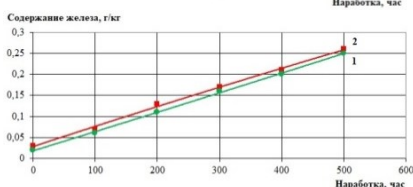
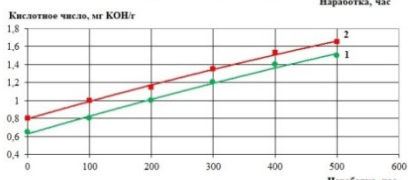
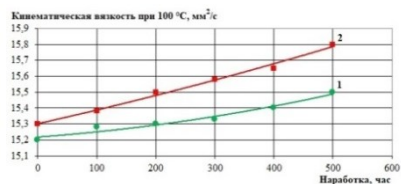
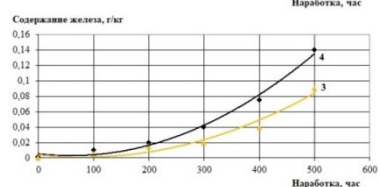
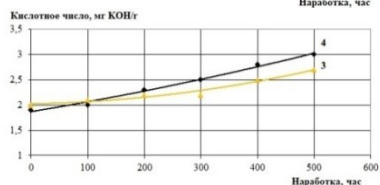
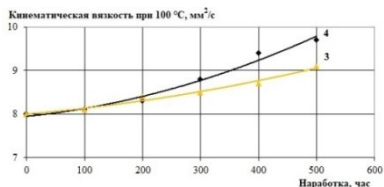


Рисунок 23 – Изменение температуры (а) и содержания железа (б) при использовании смазок Солидол-Ж (1) и АССО (2) в опорном подшипнике жатки ЖВН-4.9 (I), при использовании смазок Литол-24 (3, 4) и АЛСО (3', 4') в приводе левого торсиона (3, 3') и правом подшипнике привода жатки (4, 4') комбайна Дон 680 М (II)



I



II

Рисунок 24 – Изменение кинематической вязкости (а), кислотного числа (б) и содержания железа (в) экспериментальной масляной композиции ЭМК–Т (1) в сравнении с маслом ТЭп–15 (2) при работе в трансмиссии трактора ДТ–75М (I) и ЭМК–Г (3) в сравнении с маслом М–8Г<sub>2</sub> (4) при работе в гидравлической системе трактора МТЗ–80 (II)

Технологический процесс приготовления вторичных масел апробирован на базе предприятия ООО «Транс Ойл», где был организован участок по приготовлению смазочной композиции аналога трансмиссионного масла. Технологический процесс получения пластичных смазок на базе отработанных масел внедрен на ООО «Завод смазок ПРОМ – ОЙЛ» (г. Иваново), ООО «МИПП Энерго Ойл» (г. Мурманск).

**В шестом разделе «Экономические аспекты реализации результатов исследований и разработок»** представлены результаты расчета экономической эффективности по каждому из разработанных технологических процессов на примере трактора типа МТЗ–80 (82) в ценах 2025 года.

Использование оборудования для экспресс-контроля качества нефтепродуктов, позволит получить годовую экономию затрат на ремонт в 173427,97 руб на один трактор в год, срок окупаемости – 5 месяцев.

Предлагаемый комплекс мероприятий по восстановлению и улучшению эксплуатационных свойств дизельных топлив, использованию моторных топлив, модифицированных биодобавкой, позволит экономить на прямых эксплуатационных затратах 276641,11 руб на один трактор в год, срок окупаемости – 4 года.

Экономия эксплуатационных затрат при замене гидравлического, трансмиссионного масел и пластичных смазок аналогами на основе очищенного отработанного масла составит 36003,91 руб на один трактор в год. Срок окупаемости для хозяйства с парком тракторов в 10 шт – 2 года.

Предлагаемые мероприятия в долгосрочной перспективе способствуют улучшению экологического состояния атмосферного воздуха, земель и водных объектов в местах выращивания сельскохозяйственных культур, что положительным образом отразится на производстве экологически чистых продуктов питания и повышении продовольственной безопасности страны.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Анализ состояния вопроса использования нефтепродуктов в российском АПК и результаты мониторинга их качества в сельскохозяйственных предприятиях выявил значительные проблемы – высокий уровень затрат на топливо и смазочные материалы, недостаток эффективных методов оперативного контроля качества, при этом от 7 до 25 % проб нефтепродуктов имеют несоответствия по одному или нескольким показателям качества, порядка 10 % резервуаров – нарушения герметичности, а более 50 % резервуаров не полностью укомплектовано необходимым оборудованием, дыхательными клапанами. Практически в условиях АПК отсутствуют специализированные приборы контроля качества, методы и средств очистки, которые ограничены в основном удалением загрязнений до 5 мкм и воды до 0,03 – 0,05 %, и не позволяют в полной мере восстанавливать качество нефтепродуктов.

2. Установлено, что хранящиеся нефтепродукты представляют собой многофазную многокомпонентную систему с постоянно протекающими взаимосвязанными химическими процессами (испарение, окисление и осадкообразование), особенно на границах раздела фаз, результатом которых являются качественные и количественные изменения в нефтепродуктах. Термодинамический анализ показал, что рост энтропии системы прямо пропорционален скорости протекающих в нем химических превращений, что обратно пропорционально предельной работоспособности нефтепродукта. В работающих нефтепродуктах одновременно происходит несколько процессов, влияющих на изменение их качества – наряду с попаданием загрязняющих веществ, происходит окисление углеводородов основы с образованием кислых продуктов и срабатывание имеющихся присадок, препятствующих этому.

Результаты исследований по улучшению свойств дизельных топлив позволили определить рациональные параметры процесса очистки (коагулянт – водный раствор карбамида, давление в системе 7 – 8 кгс/см<sup>2</sup>, частота вращения ротора центрифуги 7000 – 8000 об/мин, температура топлива – 80 °С) и комплексной механохимической обработки (концентрация реагента, водно-спиртового раствора гидроперита, 3 – 5 %, давление 5 – 6 кгс/см<sup>2</sup>, время обработки 15 – 30 мин), обеспечивающих снижение содержания воды, механических примесей и смолистых соединений, общей и меркаптановой серы, уменьшения коксуемости 10 % остатка, снижение 90 и 95 % точки перегонки, увеличение смазывающей способности и улучшение низкотемпературных свойств.

3. Определено, что восстановление и улучшение низкотемпературных, смазывающих и экологических свойств дизельных топлив рационально проводить с помощью присадок и добавок, в том числе на основе возобновляемого сырья. Получены и исследованы различные соединения на основе некондиционного жирового сырья – окислированное и полимеризованное растительное масло, моноалкиловые эфиры, амиды и их алкильные производные из сложных эфиров. Все синтезированные соединения улучшают смазывающие свойства и могут быть использованы в качестве противоизносных присадок, однако наиболее выраженным эффектом обладают дизфиры высших алифатических кислот и триэтанолamina, а также оксиди-

рованное рыжиковое масло, повышающие смазывающие свойства на 15 – 25 % и на 39 – 49 % соответственно в зависимости от условий.

Процесс получения моноалкиловых эфиров из возобновляемого сырья на начальной стадии протекает только в одной из фаз (спиртовой) в результате диффузии в нее компонента из другой фазы. Для увеличения скорости реакции в кинетической области предложено применять катализаторы и проводить синтез при оптимальных температуре и давлении. Определены оптимальные значения параметров синтеза на гомогенном катализаторе для достижения максимального выхода моноалкиловых эфиров: концентрация спирта – 20 – 25 % (для всех масел); концентрация катализатора – 1 – 2 % (в зависимости от масла); температура синтеза – 55 – 60 °С, время проведения синтеза при перемешивании лопастной мешалкой – 50 – 60 минут, при которых выход составляет  $90 \pm 5$  %. При использовании сырья с кислотным числом выше 2 мгКОН/г предпочтительно применение двухстадийного процесса – последовательного применения кислотного и основного катализаторов для ускорения стадий этерификации и переэтерификации соответственно. Установлено, что оптимальным условием первой стадии (этерификации), обеспечивающей снижение кислотного числа и подготовку сырья для проведения стадии трансэтерификации является температура  $60 \pm 3$  °С, время реакции 50 – 60 мин, концентрация серной кислоты 1 % (при кислотном числе  $\leq 10$  мгКОН/г). Использование ультразвукового воздействия в процессе синтеза позволяет значительно сократить время реакции – минимум в 20 раз, а также на 5 – 7 % сократить количество используемого спирта.

Установлена корреляция между жирнокислотным составом сырья и физико-химическими характеристиками моноалкиловых эфиров: плотность, вязкость и низкотемпературные характеристики зависят от соотношения средне- и длинноцепочечных радикалов жирных кислот, а также от степени их непредельности. Наличие двойных связей с одной стороны, улучшает низкотемпературные свойства, а, с другой – снижает антиокислительную стабильность.

Установлено, что биодобавки и обводненные композиции на их основе обладают большей защитной эффективностью, чем дизельное топливо и его композиции с водой: 99,0 – 99,4 % против 21,7 – 24,7 % соответственно по результатам испытаний в термовлагокамере, 69,9 – 80,9 % против 59,4 – 62,2 % соответственно по данным гравиметрических испытаний в 0,5 М растворе NaCl.

Результаты исследований по улучшению низкотемпературных свойств дизельных топлив показывают на состоятельность мер по применению депрессорных присадок сельхозпредприятиями в зимнее время. После добавления рекомендуемых концентраций депрессорных присадок предельная температура фильтруемости изменилась в среднем на 5 – 10 градусов, что дает возможность использовать его при более низких температурах окружающей среды, нежели исходное топливо.

4. Результаты сравнительных моторных испытаний исходного и модифицированного дизельного топлива показали, что процесс сгорания топлива без обработки и после обработки практически не отличался, экстремального износа деталей не наблюдалось. Средний часовой расход топлива и удельный эффективный расход топлива при одинаковой заданной нагрузке для очищенного и обработанного топлива уменьшается по сравнению с необработанным топливом на 1,63 – 9,98 % в зависимости от режимов работы. Результаты измерения состава отработавших газов стенда при работе на исходном дизельном топливе и топливе после обработки показали снижение дымности на 2,5 – 3 % и соответствующее снижение монооксида углерода, и несгоревших углеводов.

Результаты сравнительных стендовых испытаний дизельного топлива, модифицированного биодобавками, показали значительное улучшение показателей токсичности отработавших газов при использовании в качестве моторного топлива смесей дизельного топлива с биодобавками на основе возобновляемого сырья.

Определено, что обработка дизельного смесевоего топлива в смесителе-активаторе позволяет улучшить значения наблюдаемых показателей по сравнению с необработанным топливом и рассматривать устройства механоактивации как решение для внесения в топливо необходимых присадок на местах его применения. Рациональным можно считать состав смесевоего топлива, содержащий 80 % дизельного топлива и 20 % биодобавки, смешанных при помощи смесителя активатора.

5. Для получения вторичных масел и смазок на основе отработанных нефтепродуктов первичное значение имеет получение дисперсионной среды – масляной основы. Результаты исследований по подбору коагулянтов загрязнений в отработанных синтетических и минеральных маслах, их смесях, показали, что наиболее заметного эффекта можно добиться при смешении ионогенного ПАВ моноэтаноламина с неионогенным ПАВ изопропиловым спиртом. Частицы загрязнений практически полностью коагулируют до размеров более 20 мкм, которые легко отделить центрифугированием с остаточным количеством загрязнений  $\leq 0,05$  %. Определены составы и исследованы свойства вторичных масел с использованием масляной основы, полученной из очищенных отработанных минеральных и синтетических масел.

Как аналог гидравлической жидкости можно использовать либо очищенное отработанное моторное масло – чистую масляную основу (если его показатели после очистки удовлетворяют требованиям к гидравлическим жидкостям, применяемым в данной технике).

Для получения аналога трансмиссионного масла в масляную основу предложено добавить 5 % загустителя КП–20 и 5 % пакета присадок к трансмиссионным маслам «Крата ПТМ» (ОАО «Пигмент»). По основным физико-химическим характеристикам такая экспериментальная смазочная композиция, а также окислированные и полимеризованные фракции рапсового масла аналогичны или превосходят товарные трансмиссионные масла ТЭп–15 и ТАД–17и. Проведенные стендовые испытания этих составов показали, что экспериментальная смазочная композиция обладает эксплуатационными свойствами аналогичными товарному трансмиссионному маслу, а по смазывающим, противозносным и защитным характеристикам превосходит его.

Установлено, что пластичные смазки на кальциевом мыле при соотношении дисперсионной среды (ДС) и дисперсной фазы (ДФ) – 60/40 и 50/50 имеют температуру каплепадения 97 – 100 °С при использовании в качестве основы очищенного минерального масла, а использование очищенного синтетического масла-основы позволяет получить температуру каплепадения 105 – 110 °С. Значения температуры каплепадения экспериментальных составов, загущенных литиевым мылом, при соотношении дисперсионной среды (ДС) и дисперсной фазы (ДФ) – 82/18, 80/20 приближается к нормативным значениям для смазки Литол-24 без негативных изменений в структуре смазки.

6. Результаты проведенных экспериментальных исследований и выявленные закономерности, легли в основу запатентованных способов восстановления и улучшения свойств нефтепродуктов, которые нашли отражение в разработанных технологических процессах и технических средствах для их осуществления, соче-

тание которых представляет собой организационно-технологическую основу рационального использования нефтепродуктов в условиях предприятий АПК.

Создана принципиально новая экспериментальная установка для реализации разработанного способа очистки дизельного топлива от смол и примесей, позволяющая повысить качество очистки от загрязнений размерами до 5 мкм с одновременным улучшением смазывающих свойств топлива. Определены параметры и разработано оборудование для осуществления технологического процесса комплексной обработки и очистки светлых нефтепродуктов, обеспечивающего восстановление и улучшение их качества путем механообработки, воздействия акустического поля и химических реагентов.

Экспериментально установлено, что после обработки у топлива снижается плотность (до 3 %) и вязкость (до 7 %), температура выкипания 10 % топлива снижается до 8 %, температура выкипания 50 % топлива снижается до 12 %, а температура выкипания 95 % топлива снижается до 7 % от исходного значения. Показано, что изменяя время обработки и концентрацию реагента можно добиться практически полной нормализации показателя на коксуюемость 10 % остатка топлива, наблюдалось снижение содержания общей серы (до 50 %), тиофеновых и меркаптановых соединений. При активации топлива происходит изменение концентрации компонентов, входящих в исходный состав топлива, их рекомбинация и «нормализация».

Разработан технологический процесс получения биодобавок и экологически чистого смесового топлива для дизельных двигателей на основе возобновляемого сырья – некондиционных продуктов и отходов масло-жирового производства.

Полевые испытания полученного смесового топлива показали улучшение экологических показателей работы двигателя – дымность смесевых топлив ниже на 10 – 14 %, СО – на 12 – 23 %, СН – на 11 – 29 %, по сравнению с ДТ.

7. Разработан технологический процесс получения аналогов трансмиссионных и гидравлических масел из глубоко очищенных отработанных масел (масляной основы), загущенных и обогащенных присадками, в том числе на основе возобновляемого сырья – полимеризованных и окислированных фракций растительных масел. Добавление таких фракций к работающим маслам компенсирует не только их расход, но и продлевает срок их эксплуатации, за счет влияния на вязкостные свойства и высоких собственных антифрикционных свойств. Для получения добавок в промышленном масштабе было разработано специальное оборудование, основной частью которого является установка УОМ–100С, для очистки и осветления возобновляемого сырья.

Для осуществления равномерного диспергирования присадок и добавок в масляной основе разработана и изготовлена специальная установка ДСП – 100, определены параметры процесса, ключевой из которых – давление диспергирования – должен варьироваться в диапазоне 30 – 35 кгс/см<sup>2</sup>.

Разработан технологический процесс получения аналогов пластичных смазок «Солидол–Ж» и «Литол–24» из отработанных смазочных материалов и оборудование для его осуществления – установка для приготовления пластичных смазок УПС – 100. Результаты полевых испытаний показали, что эти смазки не уступают по своим характеристикам промышленно выпускаемым продуктам и при этом обладают улучшенными противозносными свойствами.

8. Исследованиями и производственными испытаниями установлено, что использование в условиях предприятий АПК оборудования для экспресс-контроля качества нефтепродуктов, мероприятий по восстановлению и улучшению эксплу-

атационных свойств дизельных топлив, замене гидравлического, трансмиссионного масел и пластичных смазок вторичными продуктами переработки отработанного масла позволит получить годовую экономию эксплуатационных и ремонтных затрат от 36003,91 до 276641,11 руб на один трактор в год, а также, в долгосрочной перспективе, способствуют улучшению экологической обстановки в местах выращивания сельскохозяйственных культур.

### **Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы**

Рекомендуется комплектовать нефтехозяйства сельскохозяйственных предприятий экспресс-лабораториями топлив (ЭЛТ) и смазочных материалов (ЭЛМ) ФГБНУ ВНИИТиН для осуществления быстрой оценки качества поступающих нефтепродуктов, а также проводить разделение отработанных нефтепродуктов по группам с дальнейшей очисткой при помощи разработанных способов и технических средств. В крупных хозяйствах с большим парком сельскохозяйственной техники и транспортных средств или группе хозяйств рекомендуется организовать централизованный пункт сбора и очистки отработанных и некондиционных нефтепродуктов, а также получения и внесения присадок и добавок, в том числе на основе возобновляемого сырья.

При очистке дизельных топлив рекомендуется использовать установку для очистки топлив с реактивными центрифугами, водный раствор карбамида (до 2 %) или его сочетание с серной кислотой (до 2 %), давление в системе 7 – 8 кгс/см<sup>2</sup>, частота вращения ротора центрифуги 8000 – 8500 об/мин, температура 80 – 90 °С, время обработки 40 – 45 мин. Дополнительно можно применять водно-спиртовой раствор гидроперита в количестве 3 – 5 %.

Для улучшения смазывающих, противоизносных и экологических свойств дизельных топлив рекомендуется использовать 7 – 20 % алкиловых эфиров, а для улучшения низкотемпературных свойств – рекомендованные концентрации депрессорно-диспергирующих присадок, например ДДП-антигель. Смешивание топлив с присадками и добавками целесообразно проводить при температуре 40 – 60 °С с помощью смесителя-активатора, инициирующего подогрев и многофакторное воздействие на смесь.

Для очистки минеральных масел рекомендуется использовать 2 % сухого карбамида или 1 – 2 % его водного раствора при нагреве до 110 – 130 °С, а для синтетических масел – последовательно вносить по 2 – 4 % моноэтаноламина и изопропилового спирта с нагревом до 130 – 150 °С. После коагуляции и отстаивания масло доочищается центрифугированием на установке УОМ-100.

Очищенные отработанные моторные масла можно использовать в качестве гидравлической жидкости в которые для улучшения смазывающих и противоизносных свойств целесообразно вносить до 5 % окисированных или полимеризованных растительных масел. Для получения аналогов трансмиссионных масел в масляную основу следует добавить 5 – 6 % загустителя КП-20 или 3 – 5 % полимеризованных растительных масел, а также 5 – 6 % пакета присадок к трансмиссионным маслам «Крата ПТМ» (ОАО «Пигмент»). Смешивание присадок с масляной основой рекомендуется осуществлять на установке ДСП – 100.

Для получения аналогов пластичных смазок Солидол-Ж и Литол-24 очищенные масла следует загущать кальциевым или литиевым мылом при соотношении масло/мыло – 60/40 (50/50) и 80/20 (82/18) соответственно, с добавлением 4 – 5 % противоизносной присадки ДФ-11. В качестве наполнителя можно применять 10 – 12 % производных углерода (графитовые нанопластины, нанотрубки и т.д.).

Перспективой дальнейшей разработки темы являются разработка моделей процессов изменения и прогнозирования качества нефтепродуктов во времени с применением элементов искусственного интеллекта, совершенствование способов воздействия на моторные топлива.

## СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Публикации в изданиях, входящих в международные базы данных Web Of Science, Scopus, CAS, RSCI, Белый список

1. Остриков В.В., **Корнев А.Ю.** Смазочная композиция - аналог трансмиссионного масла // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 6. – С. 55 – 56.
2. Tupotilov N.N., Ostrikov V.V., **Kornev A.Yu.** Plant oil derivatives as additives for lubricants // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2006. – Vol. 42, № 3. – P. 192 – 195.
3. Lubricant based on used motor oil / V.V. Ostrikov, N.N. Tupotilov, **A.Yu. Kornev**, S.V. Vlasov // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2006. – Vol. 42, № 4. – P. 276 – 280.
4. Ostrikov V.V., Tupotilov N.N., **Kornev A.Yu.** Effect of carbon contaminants on the lubricity of motor oils // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2006. – Vol. 42, № 6. – P. 412 – 414.
5. Tupotilov N.N., Ostrikov V.V., **Kornev A.Yu.** Finely disperse minerals as antiwear additives for lube oils // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2008. – Vol. 44, № 1. – P. 29 – 33.
6. Остриков В.В., **Корнев А.Ю.** Организационная и технологическая модель переработки трансмиссионных масел в условиях предприятий АПК // Техника и оборудование для села. – 2008. – № 6. – С. 36 – 37.
7. Улучшение использования и контроля качества моторных масел на предприятиях АПК / В.В. Остриков, **А.Ю. Корнев**, В.В. Белогорский [и др.]. // Техника и оборудование для села. – 2009. – № 10. – С. 36 – 38.
8. Остриков В.В., **Корнев А.Ю.** Анализ работоспособности масел в двигателях зарубежной техники // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 6. – С. 34 – 35.
9. Остриков В.В., **Корнев А.Ю.**, Бектилеов А.Ю. Повышение эксплуатационных свойств дизельного топлива // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 6. – С. 10 – 11.
10. Технологический процесс приготовления пластичных смазок на основе отработанных масел / В.В. Остриков, **А.Ю. Корнев**, Н.Н. Тупотилов [и др.] // Техника и оборудование для села. – 2014. – № 6. – С. 26 – 28.
11. Остриков В.В., **Корнев А.Ю.**, Шихалев И.Н. Улучшение эксплуатационных свойств дизельного топлива // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 3. – С. 39 – 41.
12. Исследование влияния добавок на основе фторгензидов металлов на смазывающие свойства нефтепродуктов, применяемых в АПК / **А.Ю. Корнев**, И.Н. Шихалев, Б.Т. Алибаев [и др.] // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 118. – С. 54 – 57.
13. Романцова С.В., Нагорнов С.А., **Корнев А.Ю.** Состав добавки для улучшения характеристик современного дизельного топлива // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2019. – Т. 9, № 3 (30). – С. 547 – 556.
14. Methods for changing the composition and properties of biodiesel / S.V. Romantsova, S.A. Nagornov, **A.Y. Kornev**, S.Y. Sinyutina // Journal of Agriculture and Environment. – 2019. – №. 4 (12). – P. 70 – 77.
15. Correction of properties of modern diesel fuels using additives / S.A. Nagornov, **A.Y. Kornev**, A.P. Liksutina [et al.] // Journal of Agriculture and Environment. – 2020. – №. 4 (16). – P. 24 – 28.
16. Nagornov S.A., **Kornev A.Yu.**, Romantsova S.V. Improving the Three-Component Mixed Motor Fuel Manufacturing Process // Advanced Materials and Technologies. – 2020. – №. 2 (18). – P. 57 – 65.
17. Stress resistance of agricultural plants in relation to pollutants of exhaust gases / S.V. Romantsova, I.V. Gladysheva, **A.Yu. Kornev** [et al.] // Journal of Agriculture and Environment. – 2021. – № 3 (19). – P. 1 – 7.
18. Graphite nanoplates as grease lubricant additive / A. Rukhov, E. Bakunin, **A. Kornev** [et al.] // Fullerene Nanotubes and Carbon Nanostructures. – 2022. – Volume 30, Issue 1 – P. 167 – 170.
19. Турина Е.Л., **Корнев А.Ю.** Сортоиспытание сафлора в Крыму и возможность получения биотоплива // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 98. – С. 120 – 125.
20. **Kornev A.Yu.**, Knyazeva L.G. Relationship of Physico-Chemical and Protective Properties of Vegetable Oils // Journal of Applied Solution Chemistry and Modeling. – 2022. – Vol. 11. – P. 26 – 30.
21. About the anti-corrosion properties of biofuel / **A.Yu. Kornev**, L.E. Tsygankova, L.G. Knyazeva [et al.] // International Journal of Corrosion and Scale Inhibition. – 2022. – Vol. 11, № 2. – P. 553 – 563.

**Публикации в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК**

22. Остриков В.В., **Корнев А.Ю.** Производство трансмиссионных масел в АПК // Сельский механизатор. – 2006. – № 1. – С. 38 – 39.
23. Остриков В.В., **Корнев А.Ю.** Смазочная композиция – аналог трансмиссионного масла // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 2006. – № 10. – С. 21 – 24.
24. Остриков В.В., **Корнев А.Ю.** Аналог трансмиссионного масла // Сельский механизатор. – 2007. – № 3. – С. 40.
25. Контроль качества моторных масел. / В.В. Остриков, **А.Ю. Корнев**, В.С. Вязинкин, В.В. Белогорский // Сельский механизатор. – 2009. – № 3. – С. 28 – 29.
26. Анализ качества смазочных материалов. / В.В. Остриков, **А.Ю. Корнев**, В.С. Вязинкин, В.В. Белогорский // Сельский механизатор. – 2009. – № 5. – С. 37.
27. Повышение смазывающих свойств топлива / В.В. Остриков, **А.Ю. Корнев**, К.А. Манаенков, А.Ю. Бектилеов // Сельский механизатор. – 2012. – № 4. – С. 34 – 35.
28. Остриков В.В., **Корнев А.Ю.**, Манаенков К.А. Использование масел в двигателях зарубежной техники // Сельский механизатор. – 2012. – № 5. – С. 32 – 33.
29. Получение пластичных смазок на основе отработанных масел / **А.Ю. Корнев**, В.В. Остриков, В.И. Вигдорович, И.Н. Шихалев // Наука в центральной России. – 2013. – № 4. – С. 11 – 14.
30. Испытания трибодатчика для контроля уровня деградации масла / **А.Ю. Корнев**, В.В. Остриков, В.С. Вязинкин, И.Н. Шихалев // Наука в центральной России. – 2013. – № 4. – С. 14 – 18.
31. Исследование влияния многофункциональных добавок на смазочные свойства низкосернистых дизельных топлив / В.В. Остриков, **А.Ю. Корнев**, И.Н. Шихалев, А.Ю. Бектилеов // Наука в центральной России. – 2013. – № 5. – С. 20 – 27.
32. Пластичные смазки на основе отработанных масел / В.В. Остриков, **А.Ю. Корнев**, И.Н. Шихалев, В.В. Сафонов // Сельский механизатор. – 2014. – № 3. – С. 30 – 31.
33. Остриков В.В., Тупотилов Н.Н., **Корнев А.Ю.** Способы очистки отработанных масел // Воронежский научно-технический Вестник. – 2014. – Т. 3, № 3 (9). – С. 110 – 114.
34. Тупотилов Н.Н., **Корнев А.Ю.**, Остриков В.В. Очистка отработанных синтетических масел аминоспиртами // Наука в центральной России. – 2014. – № 1 (7). – С. 21 – 25.
35. Опыт использования глауколитового концентрата из месторождений Тамбовской области для очистки нефтепродуктов / **А.Ю. Корнев**, Н.Н. Тупотилов, В.В. Остриков, Б.Т. Алибаев // Наука в центральной России. – 2014. – № 2 (8). – С. 48 – 53.
36. Пластичная смазка на основе отработанного масла / В.В. Остриков, **А.Ю. Корнев**, Н.Н. Тупотилов [и др.] // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2, № 3 – 4 (8 – 4). – С. 447 – 451.
37. Остриков В.В., Тупотилов Н.Н., **Корнев А.Ю.** Способы очистки отработанных масел // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2, № 5-3 (10-3). – С. 248 – 252.
38. Смазка из отработанного масла / В.В. Остриков, **А.Ю. Корнев**, Н.Н. Тупотилов [и др.] // Сельский механизатор. – 2015. – № 7. – С. 34 – 35.
39. Инновационная технология получения биодизельного топлива / С.А. Нагорнов, **А.Ю. Корнев**, С.В. Романцова, И.В. Ерохин // Сельский механизатор. – 2015. – № 7. – С. 36 – 37.
40. Нагорнов С.А., Романцова С.В., **Корнев А.Ю.** Выбор реактора для синтеза биодизельного топлива // Наука в центральной России. – 2015. – № 2 (14). – С. 80 – 92.
41. Бусин И.В., Остриков В.В., **Корнев А.Ю.** Технология очистки работающего моторного масла от продуктов старения // Наука в центральной России. – 2015. – № 3 (15). – С. 82 – 87.
42. Синтез биодобавки к дизельному топливу / С.А. Нагорнов, **А.Ю. Корнев**, Ю.В. Мешерякова [и др.] // Наука в центральной России. – 2016. – № 1 (19). – С. 15 – 22.
43. **Корнев А.Ю.**, Бектилеов А.Ю., Алибаев Б.Т. Причины снижения качества светлых нефтепродуктов, используемых в сельском хозяйстве // Наука в центральной России. – 2016. – № 4 (22). – С. 15-26.
44. **Корнев А.Ю.**, Нагорнов С.А., Алибаев Б.Т. Связь качества моторного топлива с современным состоянием нефтескладов // Наука в центральной России. – 2016. – № 4 (22). – С. 26 – 35.
45. Получение присадок для дизельного топлива, используемого в сельском хозяйстве / С.В. Романцова, Б.Т. Алибаев, **А.Ю. Корнев**, С.А. Нагорнов // Наука в центральной России. – 2017. – № 1 (25). – С. 54 – 62.
46. Биотопливо из нетрадиционных растительных масел / С.А. Нагорнов, **А.Ю. Корнев**, Ю.В. Мешерякова [и др.] // Наука в центральной России. – 2017. – № 2 (26). – С. 53 – 61.

47. Исследование смазывающих и низкотемпературных свойств дизельных топлив с добавлением ПАВ на основе триацилглицеринов рыжикового масла / С.В. Романцова, Б.Т. Алибаев, **А.Ю. Корнев**, И.В. Бусин // Наука в центральной России. – 2017. – № 2 (26). – С. 61 – 69.
48. Улучшение качества дизельных топлив за счет использования соединений на основе возобновляемой биомассы / С.А. Нагорнов, **А.Ю. Корнев**, Ю.В. Мещерякова [и др.] // Наука в центральной России. – 2017. – № 4 (28). – С. 61 – 71.
49. Бусин И.В., Шихалев И.Н., **Корнев А.Ю.** Исследование свойств пластичных смазок на основе индустриального масла с добавлением углеродных наноматериалов // Наука в центральной России. – 2017. – № 6 (30). – С. 24 – 30.
50. **Корнев А.Ю.**, Бусин И.В., Алибаев Б.Т. Влияние углеродных наноматериалов на смазывающие свойства дизельного топлива для сельскохозяйственной техники // Наука в центральной России. – 2017. – № 6 (30). – С. 31 – 37.
51. Влияние силовых полей различной природы на состав и свойства нефтепродуктов / **А.Ю. Корнев**, С.В. Романцова, И.В. Бусин, А.П. Ликсутина // Наука в центральной России. – 2018. – № 4 (34). – С. 44 – 54.
52. Исследование многофакторного воздействия на светлые нефтепродукты / **А.Ю. Корнев**, С.В. Романцова, С.А. Нагорнов, И.В. Бусин // Наука в центральной России. – 2018. – № 4 (34). – С. 54 – 65.
53. Бусин И.В., **Корнев А.Ю.** Исследование влияния эффектов механоактивации на характеристики дизельного топлива // Наука в центральной России. – 2019. – № 2 (38). – С. 123 – 129.
54. Присадки к нефтяным дизельным топливам / В.А. Марков, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, С.Е. Синюткина, **А.Ю. Корнев** // АвтоГазозаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2018. – Т. 17, № 5. – С. 212 – 218.
55. **Корнев А.Ю.**, Бусин И.В., Ликсутина А.П. Комплексное воздействие механообработки, вихревых потоков и химических реагентов на дизельное топливо // Наука в центральной России. – 2019. – № 3 (39). – С. 108 – 114.
56. **Корнев А.Ю.**, Бусин И.В., Ликсутина А.П. Связь параметров комплексной обработки дизельного топлива и его эксплуатационных свойств // Наука в центральной России. – 2019. – № 4 (40). – С. 79 – 87.
57. Физико-химические свойства биодизельного топлива и способы их изменения / С.В. Романцова, **А.Ю. Корнев**, С.А. Нагорнов, А.П. Ликсутина // Наука в центральной России. – 2019. – № 5 (41). – С. 110 – 118.
58. Романцова С.В., Нагорнов С.А., **Корнев А.Ю.** Прогнозирование цетанового числа биодизельного топлива, полученного на вихревом реакторе, по составу метиловых эфиров жирных кислот // Наука в центральной России. – 2019. – № 6 (42). – С. 76 – 83.
59. Нагорнов С.А., **Корнев А.Ю.**, Романцова С.В. Пути повышения эффективности использования светлых нефтепродуктов в сельском хозяйстве // Наука в центральной России. – 2020. – № 3 (45). – С. 112 – 121.
60. Нагорнов С.А., **Корнев А.Ю.**, Романцова С.В. Пути экономного расходования светлых нефтепродуктов в сельском хозяйстве // Наука в центральной России. – 2020. – № 4 (46). – С. 90 – 97.
61. Нагорнов, С.А., **Корнев А.Ю.**, Романцова С.В. Оптимальное управление процессом перестерификации жиров растительного и животного происхождения // Наука в центральной России. – 2020. – № 4(46). – С. 98 – 106.
62. О механизме массопереноса вещества через границу раздела фаз в системе «жидкость-жидкость» при реакции перестерификации / В.Н. Королев, Е.Ю. Левина, С.А. Нагорнов, **А.Ю. Корнев** // Наука в центральной России. – 2020. – № 5 (47). – С. 95 – 104.
63. Нагорнов С.А., **Корнев А.Ю.**, Романцова С.В. Присадки для улучшения характеристик топлива // Сельский механизатор. – 2021. – № 1. – С. 34 – 35.
64. Нагорнов С.А., **Корнев А.Ю.**, Романцова С.В. Совершенствование технологического процесса получения биодизельного топлива // Сельский механизатор. – 2021. – № 2. – С. 30 – 31.
65. Бусин И.В., Ликсутина А.П., **Корнев А.Ю.** Биотопливо из отходов животноводства // Сельский механизатор. – 2021. – № 7. – С. 29 – 31.
66. О защите от бактериальной коррозии резервуаров для временного хранения нефтепродуктов в АПК / В.А. Зеленцова, С.М. Белоглазов, Л.Г. Князева, **А.Ю. Корнев** // Наука в центральной России. – 2021. – № 2. – С. 83 – 94.
67. Исследование параметров механовоздействия на кинематическую вязкость топлив / Ю.В. Мещерякова, И.В. Бусин, **А.Ю. Корнев** [и др.] // Наука в центральной России. – 2021. – № 3 (51). – С. 128 – 135.

68. Методы контроля хода реакции трансэтерификации и оценки состава смесового топлива / С.В. Романцова, С.А. Нагорнов, А.П. Ликсутина, **А.Ю. Корнев** // Наука в центральной России. – 2021. – № 5 (53). – С. 96 – 103.

69. Зазуля А.Н., Нагорнов С.А., **Корнев А.Ю.** Мобильная установка для получения биодизельного топлива // Сельский механизатор. – 2022. – № 12. – С. 12 – 14.

70. Исследование дизельного смесового топлива, обработанного в комбинированном смесителе / А. Г. Мещеряков, Ю. В. Мещерякова, **А.Ю. Корнев** [и др.] // Наука в центральной России. – 2022. – № 3 (57). – С. 111 – 119.

71. Физико-химические и эксплуатационные свойства биодизельных и смесевых топлив / А.В. Чернышева, А.Д. Черепанова, **А.Ю. Корнев** [и др.] // Наука в центральной России. – 2022. – № 5 (59). – С. 120 – 133.

72. Исследование возможности применения альтернативных сырьевых источников в качестве энергоносителей для ДВС / А.В. Чернышева, Б.И. Колобков, **А.Ю. Корнев** [и др.] // Наука в центральной России. – 2023. – № 5 (65). – С. 104 – 111.

73. Остриков В.В., **Корнев А.Ю.**, Кошелев А.В. Современные проблемы использования нефтепродуктов в АПК // Наука в центральной России. – 2024. – № 3 (69). – С. 118 – 130.

74. Совершенствование методов и технологии определения свойств нефтепродуктов в условиях предприятий АПК / В.К. Нагдаев, А.В. Забродская, А.В. Кошелев, **А.Ю. Корнев** // Наука в Центральной России. – 2024. – № 6 (72). – С. 149 – 157.

75. Результаты стендовых испытаний смесевых топлив на основе возобновляемого сырья / **А.Ю. Корнев**, С.А. Нагорнов, А.П. Ликсутина, Н.Н. Булыгин // Наука в центральной России. – 2025. – № 1 (73). – С. 123 – 133.

### Монографии, учебные пособия

76. Повышение эффективности использования смазочных материалов в узлах и агрегатах сельскохозяйственной техники (анализ, теория, исследования и практика) / В.В. Остриков, О.А. Клейменов, Н.Н. Тупотилов, В.П. Шелохвостов, **А.Ю. Корнев**. – Воронеж: Истоки, 2008. – 160 с.

77. Коррозия и методы защиты металлов от коррозии: учебное пособие для студентов материаловедческих направлений университетов / И.В. Зарапина, Е.Ю. Образцова, А.Ю. Осетров, Е.Г. Кузнецова, **А.Ю. Корнев**. – Тамбов: Изд-во ТОИПКРО, 2015. – 85 с.

78. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: Учебное пособие для ВУЗов / В.В. Остриков, А.И. Петрашев, **А.Ю. Корнев**, [и др.]. – Мичуринск: Издательский дом «Мичуринск», 2017. – 323 с.

79. Нагорнов С.А., Романцова С.В., **Корнев А.Ю.** Добавки для современных дизельных топлив. – Saarbrücken: LAP LAMBERT, 2017. – 141 с.

80. Эффективность работы дизельных двигателей тракторов на топливе с биодобавками растительного происхождения: анализ. обзор / И.Г. Голубев, С.А. Нагорнов, А.Н. Зазуля, **А.Ю. Корнев** [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2021. – 72 с.

81. Экологически чистые источники энергии для привода мобильной сельскохозяйственной техники: анализ. Обзор / М.Н. Болотина, С.А. Нагорнов, А.Н. Зазуля, **А.Ю. Корнев** [и др.]. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2023. – 80 с.

### Патенты на изобретения

82. Пат. № 2365907 С1 Российская Федерация, МПК G01N 25/52. Устройство для измерения температуры вспышки жидких нефтепродуктов : № 2008115075/28 : заявл. 16.04.2008 : опубл. 27.08.2009 / В.В. Остриков, В.В. Белогорский, **А.Ю. Корнев** [и др.] ; заявитель ГНУ ВНИИТиН – 6 с.

83. Пат. № 2437923 С1 Российская Федерация, МПК C10M 175/00. Способ очистки отработанного синтетического моторного масла : № 2010114149/04 : заявл. 09.04.2010 : опубл. 27.12.2011 / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов, **А.Ю. Корнев** [и др.] ; заявитель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии – 6 с.

84. Пат. № 2437924 С1 Российская Федерация, МПК C11B 5/00. Способ очистки отстоя растительного масла : № 2010115877/13 : заявл. 21.04.2010 : опубл. 27.12.2011 / А.Г. Зимин, В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов, **А.Ю. Корнев** [и др.] ; заявитель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии – 5 с.

85. Пат. № 2477303 С1 Российская Федерация, МПК C10G 29/20, C10G 31/10. Способ очистки дизельного топлива : № 2012106683/04 : заявл. 22.02.2012 : опубл. 10.03.2013 / В.В. Остриков, **А.Ю. Корнев**, С.А. Нагорнов [и др.] ; заявитель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии – 6 с.

86. Пат. № 2484462 С1 Российская Федерация, МПК G01N 33/28, G01N 21/78, G01N 31/22. Способ определения щелочного числа моторных масел : № 2012123336/15 : заявл. 05.06.2012 : опубл. 10.06.2013 / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов, **А.Ю. Корнев** [и др.] ; заявитель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии – 5 с.

87. Пат. № 2529857 С1 Российская Федерация, МПК С10М 101/02, С10М 129/26, С10М 159/04. Пластичная смазка для тяжело нагруженных узлов трения : № 2013130714/04 : заявл. 04.07.2013 : опубл. 10.10.2014 / **А.Ю. Корнев**, В.В. Остриков, И.Н. Шихалев [и др.] ; заявитель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии – 5 с.

88. Пат. № 2529858 С1 Российская Федерация, МПК С10М 175/00, С10Г 25/00. Способ очистки отработанного синтетического моторного масла : № 2013130787/04 : заявл. 04.07.2013 : опубл. 10.10.2014 / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов, **А.Ю. Корнев** [и др.] ; заявитель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии – 5 с.

89. Пат. № 2537297 С1 Российская Федерация, МПК С10М 175/00, С10М 175/02. Способ очистки отработанного синтетического моторного масла : № 2013145658/04 : заявл. 11.10.2013 : опубл. 27.12.2014 / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов, **А.Ю. Корнев**, И.Н. Шихалев ; заявитель ФГБНУ ВНИИТиН – 4 с.

90. Пат. № 2554357 С1 Российская Федерация, МПК С10М 175/02. Способ очистки отработанного масла : № 2014131692/04 : заявл. 30.07.2014 : опубл. 27.06.2015 / В.В. Остриков, **А.Ю. Корнев**, С.Ю. Попов, И.Н. Шихалев ; заявитель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии – 4 с.

91. Пат. № 2556215 С1 Российская Федерация, МПК С10М 117/02, С10М 125/02, С10М 169/04. Пластичная смазка и способ ее получения : № 2014122672/04 : заявл. 03.06.2014 : опубл. 10.07.2015 / В.В. Остриков, **А.Ю. Корнев**, И.Н. Шихалев [и др.] ; заявитель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии – 5 с.

92. Пат. № 2556221 С1 Российская Федерация, МПК С10М 175/00. Способ регенерации отработанных синтетических моторных масел : № 2014125915/04 : заявл. 26.06.2014 : опубл. 10.07.2015 / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов, **А.Ю. Корнев** [и др.] ; заявитель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии – 6 с.

93. Пат. № 2556641 С1 Российская Федерация, МПК С10М 175/00. Способ очистки отработанного синтетического моторного масла : № 2014132540/04 : заявл. 06.08.2014 : опубл. 10.07.2015 / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов, **А.Ю. Корнев**, А.Г. Зимин ; заявитель ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии – 6 с.

94. Пат. № 2645676 С1 Российская Федерация, МПК С10Г 27/12, С10Г 32/02, В01J 19/12. Способ очистки дизельного топлива : № 2017110133 : заявл. 27.03.2017 : опубл. 27.02.2018 / Б.Т. Алибаев, **А.Ю. Корнев**, С.А. Нагорнов [и др.] ; заявитель ФГБНУ ВНИИТиН – 7 с.

95. Пат. № 2751698 С1 Российская Федерация, МПК С11С 3/04, В04С 5/04, С07С 67/02. Способ этерификации и перетерификации жирового сырья : № 2020125980 : заявл. 29.07.2020 : опубл. 15.07.2021 / **А.Ю. Корнев**, А.П. Ликсутина, С.В. Романцова [и др.] ; заявитель ФГБНУ ВНИИТиН – 7 с.

96. Пат. № 2764085 С1 Российская Федерация, МПК С10М 117/02, С10М 125/02, С10М 159/02. способ получения жирового солидола : № 2021106978 : заявл. 17.03.2021 : опубл. 13.01.2022 / А.В. Рухов, Е.С. Бакунин, Е.Ю. Образцова, **А.Ю. Корнев** [и др.] ; заявитель ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» – 6 с.

97. Пат. № 2775588 С1 Российская Федерация, МПК В01F 33/80, В01F 27/721, В01F 31/80. Модульный статический смеситель-активатор : № 2021127801 : заявл. 21.09.2021 : опубл. 05.07.2022 / А.Г. Мещеряков, Ю.В. Мещерякова, **А.Ю. Корнев**, С.А. Нагорнов ; заявитель ФГБНУ ВНИИТиН – 8 с.

---

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. Телефоны: (473) 224-39-39; e-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Отпечатано в типографии «Студия печати Ксении Поповой».  
392032, Тамбовская обл., г. Тамбов, ул. Курская, д. 57.  
Подписано в печать: 19.06.2026. Заказ № 40.  
Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Печать цифровая. Гарнитура Times.  
Объем: 2 усл. печ. л. Тираж 100 экз.