Всероссийский научно-исследовательский институт
использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве
(ФГБНУ ВНИИТиН)

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

Диссертация
на соискание ученой степени доктора технических наук

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Остриков Валерий Васильевич

Тамбов – 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВЕДЕНИЕ 6
1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНО-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ 17
1.1. Проблемы рационального использования и направления повышения эффективности применения нефтепродуктов в АПК 17
1.2. Анализ существующих методологических подходов, технологий и технических средств контроля, сохранения и повышения качества нефтепродуктов в условиях предприятий АПК 26
1.3. Анализ взаимосвязей показателей качества нефтепродуктов, их физико-химических и эксплуатационных свойств с техническим состоянием машин 37
1.4. Преимущества и недостатки получения и применения биотоплива в сельскохозяйственной технике 45
1.5. Анализ существующих методологических подходов и технологических процессов переработки и утилизации отработанных нефтепродуктов 51
1.6. Выводы 56
2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В АПК 58
2.1. Общая характеристика качества нефтепродуктов и его изменения со временем 58
2.2. Анализ процессов, протекающих при хранении моторного топлива 63
2.3. Особенности процессов, протекающих в работающем моторном масле 68
2.4. Анализ изменения состояния дисперсной фазы нефтепродуктов в поле гравитационных сил и вследствие коагуляции 76
2.5. Механизм синтеза биодобавок к нефтепродуктам на основе возобновляемого сырья для повышения их эксплуатационных свойств 86
2.6. Интенсификация процессов получения биодобавок, обработки и смешения нефтепродуктов импульсно-кавитационным воздействием 94
2.7. Оценка влияния модифицированного моторного топлива на показатели работы дизельного двигателя и энергозатраты МТА 102
2.8. Аналитическая оценка изменения смазывающих свойств нефтепродуктов за счет введения пленкообразующих добавок 109
2.9. Выводы 114
3. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 117
3.1. Программа и общая методика проведения исследований 117
3.2. Определение физико-химических показателей нефтепродуктов 119
3.3. Методика ИК-спектроскопии 119
3.4. Методика хроматографического анализа 121

3.5. Определение защитных и противокоррозионных свойств 122
3.6. Определение дисперсного состава примесей и загрязнений нефтепродуктов 124
3.7. Методика проведения исследований смазывающих и противоизносных свойств нефтепродуктов 126
3.8. Методика исследования изменения содержания смол в нефтепродуктах под действием коагулянтов 127
3.9. Методика исследования влияния кавитационного воздействия 128
3.10. Методика анализа технического состояния баз хранения и фактического качества нефтепродуктов в условиях предприятий АПК 129
3.11. Синтез присадок и добавок к нефтепродуктам 131
3.11.1. Методика оксидирования, полимеризации и эпоксидирования триглицеридов растительных масел 131
3.11.2. Методика синтеза эфиров на основе растительных масел и твердых жиров 133
3.11.3. Методика синтеза амидов и их алкильных производных на основе растительного сырья 134
3.12. Получение модельных топлив, масел и смазок 135
3.13. Проведение стендовых испытаний 138
3.13.1. Методика проведения исследований по интенсификации очистки нефтепродуктов и повышению их эксплуатационных характеристик 138
3.13.2. Методика исследования работы дизеля на обработанном и альтернативном топливе 141
3.13.3. Методика стендовых испытаний топливной аппаратуры 144
3.13.4. Методика стендовой оценки гидродинамических свойств масел 145
3.13.5. Методика стендовой оценки пенообразования, моющих и антикоррозионных свойств масел 146
3.13.6. Методика проведения стендовых испытаний гидравлических масел и их аналогов 147
3.13.7. Методика проведения стендовых испытаний трансмиссионных масел и их аналогов 148
3.13.8. Методика проведения стендовых испытаний пластичных смазок 150
3.14. Проведение производственных, полевых испытаний 151
3.15. Выводы 155
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 156
4.1. Результаты оценки состояния качества и свойств нефтепродуктов, используемых в сельскохозяйственном производстве 156
4.1.1. Изменения качества дизельного топлива в процессе хранения и анализ состояния нефтескладского оборудования сельхозпредприятий 156
4.1.2. Изменение характеристик смазочных материалов, применяемых в сельскохозяйственной технике 163
4.2. Исследования по улучшению свойств дизельных топлив 169

4.2.1. Результаты исследований изменения содержания смол и примесей в дизельном топливе под действием коагулянтов 169
4.2.2. Результаты исследований влияния физико-химического воздействия на состав и показатели качества дизельного топлива 177
4.2.3. Определение параметров комплексной механохимической обработки дизельного топлива 185
4.3. Исследования по получению биодобавок к нефтепродуктам на основе возобновляемого сырья 194
4.4. Исследование процессов изменения свойств топлива под действием присадок и добавок, в том числе на основе возобновляемого сырья 207
4.4.1. Результаты исследований физико-химических свойств смесей дизельных топлив с синтезированными соединениями 207
4.4.2. Результаты исследований по улучшению смазывающей способности дизельных топлив 217
4.4.3. Результаты исследований по улучшению низкотемпературных свойств дизельных топлив 224
4.4.4. Результаты исследований защитных свойств синтезированных добавок к дизельному топливу и сырья для их получения 229
4.5. Результаты стендовых испытаний модифицированных топлив 235
4.5.1. Результаты сравнительных моторных испытаний очищенного обработанного дизельного топлива 235
4.5.2. Результаты сравнительных моторных испытаний дизельного топлива, модифицированного биодобавками 241
4.6. Совершенствование способов очистки отработанных масел и получения из них основы для вторичных продуктов 252
4.6.1. Результаты исследований по использованию в качестве коагулянтов загрязнений химических компонентов, применяемых в АПК 253
4.6.2. Результаты исследований по определению активаторов процессов коагуляции в отработанных синтетических маслах 256
4.6.3. Результаты исследований по очистке отработанных масел аминоспиртами 262
4.7. Получение вторичных продуктов на основе очищенных отработанных масел и возобновляемого сырья 265
4.7.1. Обоснование составов аналогов гидравлических жидкостей 265
4.7.2. Обоснование составов аналогов трансмиссионных масел 270
4.7.3. Обоснование составов аналогов пластичных смазок 273
4.8. Выводы 281
5. ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ, МАСЕЛ И СМАЗОК 286
5.1. Совершенствование методов оперативного контроля качества нефтепродуктов на предприятиях АПК 286

5.2 Совершенствование технологического процесса удаления механических примесей, смол и воды из дизельного топлива 297
5.3 Технологический процесс получения добавок к дизельному топливу на основе возобновляемого сырья 307
5.4. Разработка и совершенствование методов получения вторичных масел и смазок на базе отходов использования нефтепродуктов и возобновляемого сырья 326
5.5. Выводы 334
6. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК 337
6.1. Оценка экономической эффективности внедрения средств экспресс-контроля качества нефтепродуктов 337
6.2. Оценка экономической эффективности очистки и повышения эксплуатационных свойств дизельного топлива 342
6.3. Оценка экономической эффективности получения и использования вторичных продуктов из отработанных масел 347
6.4. Выводы 349
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 351
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 359
ПРИЛОЖЕНИЯ 390
Приложение А. Акты о внедрении и использовании результатов научных исследований 391
Приложение Б. Акты об использовании результатов научных исследований в учебном процессе 411
Приложение В. Награды и дипломы 416
Приложение Г. Технологические карты 421

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Указ Президента Российской Федерации от 30 января 2010 г. № 120 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации», Указ Президента Российской Федерации № 683 от 31 декабря 2015 г. «О Стратегии национальной безопасности Российской Федерации», Указ Президента Российской Федерации от 21 июля 2016 г. № 350 «О мерах по реализации государственной научно-технической политики в интересах развития сельского хозяйства» определяют главными целями развития сельского хозяйства – обеспечение продовольственной безопасности России и ее утверждение в качестве мирового лидера по производству и поставке продуктов питания высокой глубины переработки.

Осуществление поставленных задач требует высокого уровня 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.

Согласно Указу Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации» приоритетными направлениями 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 топливно-энергетического комплекса (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, поликомпозитных 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. Школьникова, 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. Сафонова, 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, использования моторных топлив на основе возобновляемого сырья в сельскохозяйственной технике занимались В.Г. Систер, В.А. Лиханов, В.А. Марков, С.Н. Девянин, 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 окис-

ления, 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, исследовать 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 при-

садок 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 [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16].

Методология и методы исследования. Теоретические исследования базировались на положениях и законах термодинамики, гидродинамики, химической кинетики, коллоидной химии, химмотологии. 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 современные 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 эфективность 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 Пассажирских 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», АОр РТП «Некрасовское» и др. (Приложение А).

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. Жангир хана», ООО «Чистая Энергия» (Приложение Б).

Основные положения и результаты диссертации докладывались и обсуждались в период с 2009 года по 2025 год на международных (38 докладов) и всерос-

сийских (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 (Приложение В).

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 растительногно 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 возобновляемого 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 теста, содержит 143 рисунка и 75 таблиц.

Автор выражает глубокую признательность за помощь, внимание и интерес к работе своему наставнику, научному консультанту д.т.н., профессору В.В. Острикову. Его личный пример и поддержка сыграли ключевую роль в формировании научного мировоззрения и исследовательского подхода автора.

Отдельные слова благодарности адресованы д.т.н., профессору С.А. Нагорнову, д.х.н., доценту Л.Г. Князевой, д.т.н., доценту А.И. Петрашеву, д.т.н., профессору С.Н. Сазонову за квалифицированную научно-методическую помощь, ценные советы и конструктивную критику при представлении результатов исследований и подготовке текста диссертации.

Также автор искренне благодарен своим коллегам по лаборатории использования моторного топлива к.т.н. А.П. Ликсутиной, к.х.н. С.В. Романцовой, к.т.н. И.В. Бусину, к.т.н. Ю.В. Мещеряковой, С.Д. Виноградову, Е.Б. Ложкиной и лаборатории использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов к.х.н., доценту Н.Н. Тупотилову, к.т.н., доценту Г.Д. Матыцину, к.т.н. И.Н. Шихалеву, к.т.н. В.В. Белогорскому, к.т.н. А.Г. Зимину, В.С. Вязинкину за содействие в проведении отдельных экспериментов, стендовых и полевых испытаний, интересные и плодотворные дискуссии при интерпретации полученных результатов.

1. АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНО-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В АГРОПРОМЫШЛЕННОМ КОМПЛЕКСЕ

1.1. Проблемы рационального использования и направления повышения эффективности применения нефтепродуктов в АПК

Производство сельскохозяйственной продукции – одно из стратегических направлений в экономике нашей страны, главными целями которого являются обеспечение продовольственной безопасности и мировое лидерство в производстве и поставке продуктов питания.

Министерство сельского хозяйства РФ прогнозирует интенсивный рост спроса на продовольствие, в том числе функциональное и персонализированное питание, продукцию органического сельского хозяйства; широкое принятие принципов устойчивого развития и нулевого углеродного следа в агропромышленной политике, повышение экологической эффективности АПК; развитие биотопливной промышленности на разнообразных отходах сельскохозяйственного производства, продукция которой пригодна для использования в немодифицированных двигателях внутреннего сгорания (ДВС) [17]. Это перекликается с Энергетической стратегией РФ на период до 2035 года, предполагающей рост спроса на моторные топлива при сохранении в качестве основы мировой энергетики ископаемых видов топлива с постепенным увеличением доли возобновляемых источников энергии [18]. При этом к числу основных проблем развития нефтяного комплекса относятся низкое качество нефтепродуктов, отсутствие эффективной утилизации углеводородов и накопленных отходов производства, способствующей решению задач по охране окружающей среды и противодействию изменениям климата [19].

Сельскохозяйственное производство в нашей стране остается одним из основных потребителей нефтепродуктов: топлив, смазочных материалов и технических жидкостей (рисунок 1.1), и по затратам углеводородного топлива превосходит в 2 – 5 раз зарубежные аналоги, при этом свыше 70 % расходов приходится на

наиболее затратный сегмент – растениеводство [20, 21]. По различным оценкам, оно ежегодно потребляет до половины топлива от общего количества, предназначенного для внутреннего рынка [22, 23, 24], что связано с широким использованием энергозатратных технологий и устаревших, неэффективных технических средств.

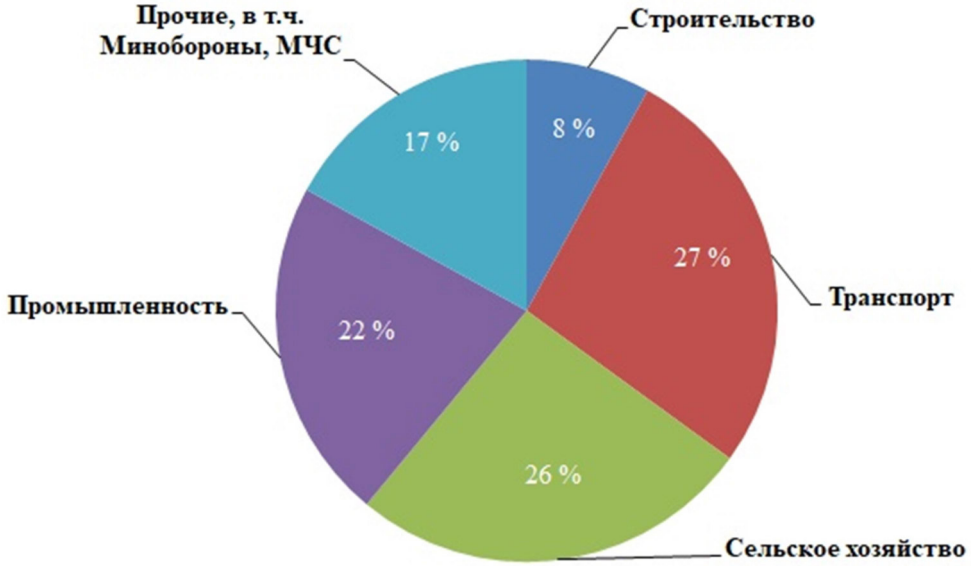


Рисунок 1.1 – Структура потребления дизельного топлива в России

Основная часть потребления топлива приходится на мобильные энергетические средства, негативным влиянием которых является: переуплотнение и истирание почвы наряду с огромным ущербом, наносимым окружающей природной среде из-за химического состава вредных выбросов отработавших газов. Это обусловливает необходимость экономии топлива, которая кроме снижения расходов финансовых и материальных ресурсов является важным фактором сохранения экологического равновесия в природе.

Первоочередными и сложно регулируемыми вопросами использования нефтепродуктов в АПК остаются вопросы управления качеством топлив и масел. По заявлениям специалистов нефтеперерабатывающей отрасли состав и свойства дизельных топлив (ДТ) и моторных масел совершенствуются, а контроль качества продукции на предприятиях ежегодно улучшается, однако, по фактам проверки, более чем в 50 пробах из 100 ДТ и моторное масло имеют значительные отклонения от требований стандартов [25, 26, 27, 28]. Это вызвано тем, что основным критерием выбора остается наименьшая цена приобретения топлив и масел, что

побуждает хозяйства пользоваться услугами непроверенных поставщиков, порой с невысоким качеством продукции. Переход к системе производства топлив и масел по ТУ изготовителей привёл к снижению качества нефтепродуктов, реализуемых по несколько заниженных ценам. Сопроводительные документы, сертификаты качества и указанные в них характеристики не всегда соответствуют действительным значениям.

Важной и усугубляющейся проблемой изменения свойств нефтепродуктов, а особенно ДТ и бензинов, являются условия их хранения. В большинстве сельскохозяйственных предприятий технические средства хранения и заправки нефтепродуктов имеют устаревшие конструкции и запредельный срок службы. Неудовлетворительное техническое состояние и оснащенность нефтескладов и нефтебаз многих хозяйств приводит к ухудшению состава и свойств даже изначально высококачественных топлив и смазочных материалов (СМ) [29, 30, 31, 32, 33, 34].

Отсутствие дыхательных клапанов, загрязнённость резервуаров продуктами коррозии, водой, отказ от других мер защиты приводят к значительному испарению светлых нефтепродуктов, потере их эксплуатационных свойств (рисунок 1.2). И если удалить следы коррозии, окалину, механические примеси, воду из хранящегося топлива можно различного рода фильтрами, то изменить фракционный состав, содержание серы или полициклических ароматических углеводородов в реальных условиях эксплуатации очень сложно. Утяжелённый фракционный состав топлива, особенно в машинах со значительным износом и некоторыми устаревшими конструктивными особенностями двигателя, может приводить к увеличению нагаров на деталях ЦПГ, дымности выхлопных газов, потере мощностных характеристик машинно-тракторного агрегата [35].

Следует отметить отсутствие у большинства сельхозпредприятий средств контроля качества нефтепродуктов из-за их высокой цены и отсутствия профессиональных навыков у инженерных служб хозяйств. Сельскохозяйственному производству требуется современная экспресс-лаборатория контроля качества товарных, приобретаемых и используемых топлив и масел при условии минимизации затрат на приобретение и трудоёмкость выполнения измерений.

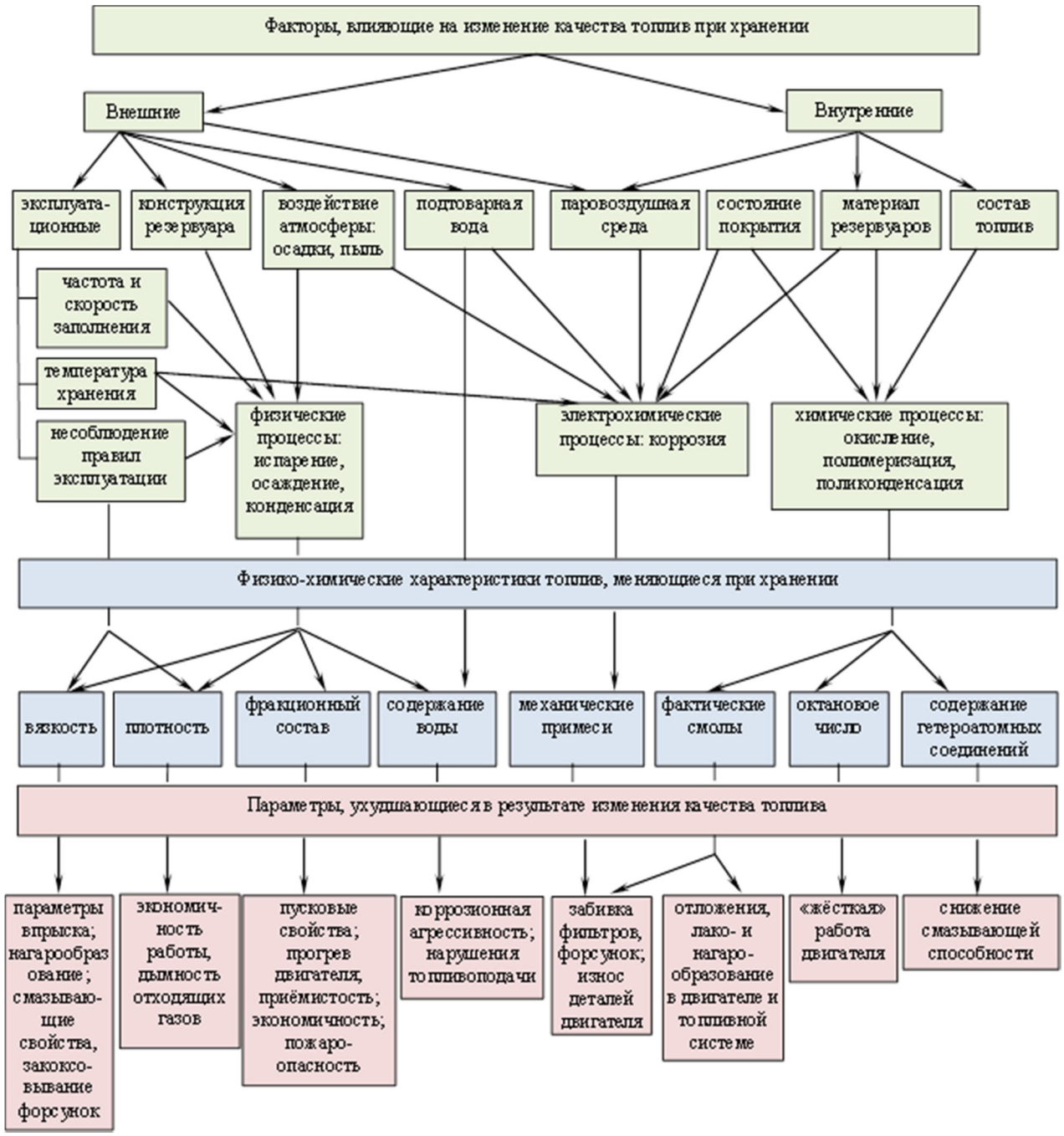
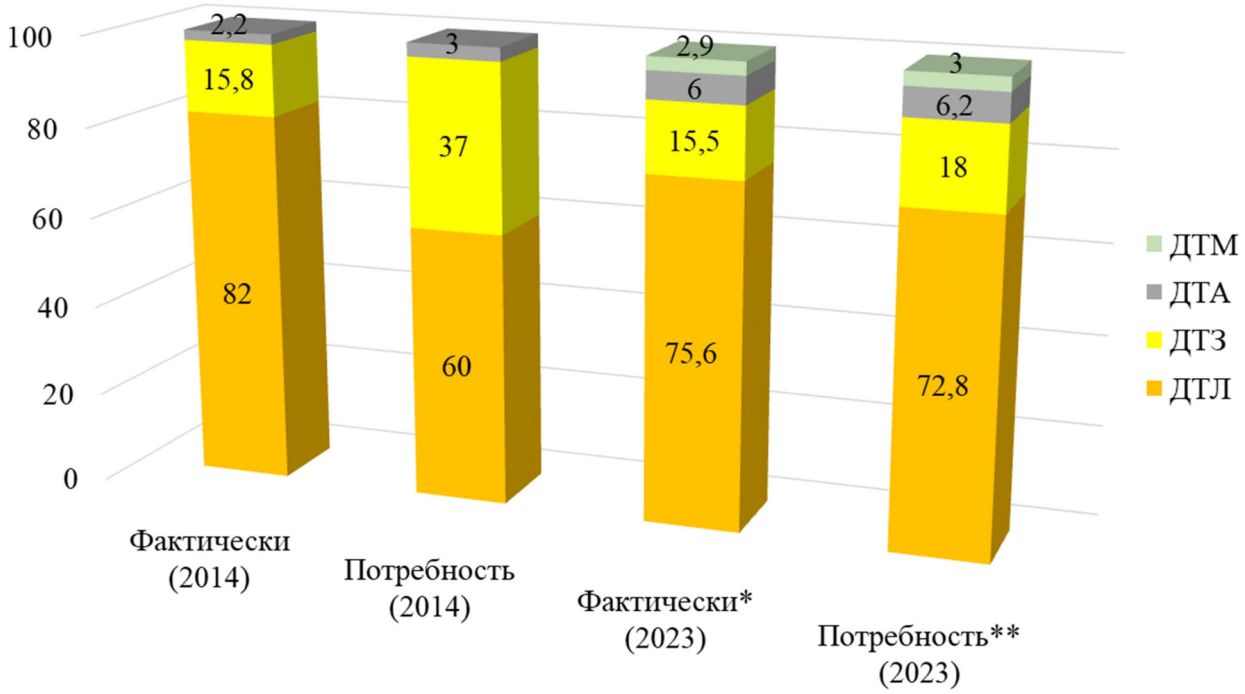


Рисунок 1.2 – Факторы, влияющие на снижение качества светлых нефтепродуктов при их хранении и работоспособность техники

Неудовлетворительные условия хранения приводят к тому, что на дне резервуаров образуются зоны с высоким насыщением водой и механическими примесями в смеси с остаточным количеством ДТ. Но большинство существующих на сегодняшний день средств очистки, как отечественного, так и зарубежного производства, практически не удаляют из ДТ смолы и эмульсионную воду. Эффективность их работы ограничивается техническими возможностями по удалению загрязнений размером до 5 мкм.

Многолетняя проблема АПК – избыток или недостаток сезонного топлива – остаётся нерешённой кардинально и однозначно. С наступлением осени возникает экономически обоснованное желание перевести хранящиеся на нефтескладе остатки летнего топлива в межсезонное, а ещё лучше – в традиционно дефицитное зимнее. Так, по данным Минэнерго и ВНИИ НП, из общего количества выработанного в 2014 году дизельного топлива, 82 % пришлось на летнее, 15,2 % – на зимние и 2,2 % – на арктическое, в то время как потребность в зимних сортах существенно выше – до 40 % (рисунок 1.3) [22, 36, 37, 38, 39, 40]. К 2024 году ситуация улучшилась – производство зимнего ДТ в России за последние 3 года выросло почти на 18 % или более чем на 1,7 млн тонн [41], однако, эксперты все равно говорят о небольшом дефиците зимних сортов – порядка 10 – 15 %. К сожалению, разница между спросом и заводским производством – это ниша для суррогатного (смесевого) продукта [40, 42].



*данные за январь-октябрь 2023; **прогноз

Рисунок 1.3 – Распределение дизельного топлива (в %) по сортам

Обычно содержащееся в летних сортах ДТ большее количество парафинов снижает эффективность работы топливной аппаратуры, приводит к закупорке фильтров вплоть до остановки подачи топлива и работы ДВС в холодное время

года. Ранее практикуемые методы перевода летних топлив в зимние путём их разбавления керосином или бензином приводят только к кратковременному эффекту и чреваты снижением ресурса ЦПГ из-за ухудшения смазывающей способности топлива. Удаление парафиновых составляющих из ДТ в условиях сельскохозяйственных предприятий технически сложная задача.

Важной проблемой в сельскохозяйственном производстве остаётся использование смазочных материалов (СМ). В последние два-три года многие зарубежные поставщики известных брендов масел прекратили сотрудничество с Российской Федерацией. Хотя на замену им пришли масла, по заверениям производителей не уступающие по своим характеристикам лучшим мировым аналогам, однако доступных рекомендаций по эквивалентной замене используемых марок СМ практически не существует [35].

Изменился и состав сливаемых отработанных масел (ОМ). Если раньше преобладали масла минерального происхождения, то в настоящее время –смесь синтетических и минеральных масел, технических охлаждающих и промывочных жидкостей, ДТ, которые практически не поддаются разделению. В 60 – 70 годы XX века ОМ сдавали в централизованные пункты, либо использовали в качестве гидравлических масел, в настоящее время фирмы по сбору отработанных нефтепродуктов обычно получают из ОМ продукт, представляющий собой в лучшем случае аналог печного топлива или масляную основу невысокого качества, используемую в ограниченных количествах. Крупным нефтеперерабатывающим компаниям это направление не интересно, а присутствующим на рынке небольшим предприятиям не хватает технологического обеспечения для удовлетворительной переработки таких смесей.

Помимо всего сказанного, среди используемых в АПК машин достаточно велика доля устаревшей или выработавшей ресурс техники (рисунок 1.4) [36, 43], поддержание которой в работоспособном состоянии остается достаточно сложной проблемой, особенно для зарубежных машин в условиях санкций, в то время как ремонтно-технические базы сельхозпредприятий находятся в крайне неудовлетворительном состоянии. Это также способствует увеличению расхода топлив и масел в процессе выполнения сельскохозяйственных работ. Удельный расход топлива тракторами после ремонта значительно выше, чем у новых.

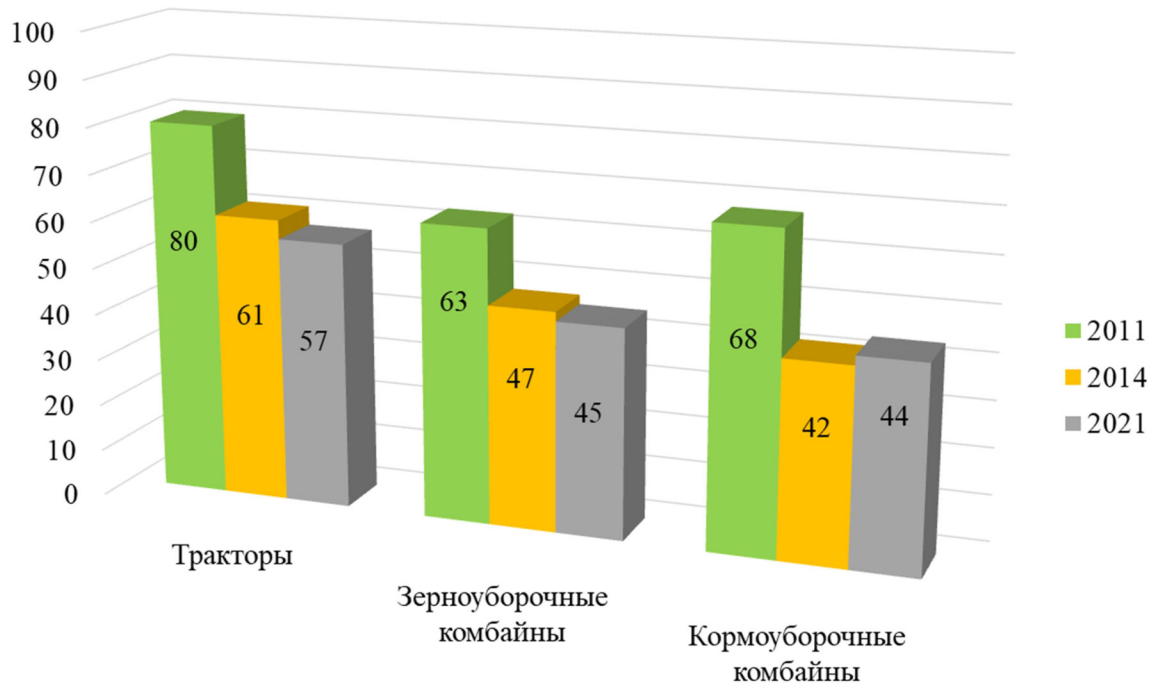


Рисунок 1.4 – Доля основных видов техники (в %) АПК России со сроком эксплуатации более 10 лет

В связи с этим для обеспечения конкурентоспособности аграрной отрасли экономики России повышение эффективности использования нефтепродуктов как центрального элемента ресурсосберегающей стратегии имеет жизненно важное значение. Под ресурсосбережением подразумевается сокращение затрат на единицу получаемой продукции, которое должно быть направлено на рациональное расходование вкладываемых ресурсов.

Анализ производства продукции растениеводства в зарубежных странах показывает, что наша сельскохозяйственная техника располагает большими резервами в этом направлении (рисунки 1.5, 1.6) [44, 45]. *Использование энергосберегающих технологий* при обработке почвы, уборке урожая и его хранении, транспортных работах; оптимизация процессов использования машин, *определение рациональной плотности механизированных работ*, сокращение сроков и числа проходов при выполнении технологических операций, *рациональное комплектование МТА*, уменьшение массы прицепных и навесных орудий, совершенствование рабочих органов, максимальное использование тягового КПД – направления, реализация которых позволит добиться существенной экономии моторного топлива при оптимальной интенсивности производства.

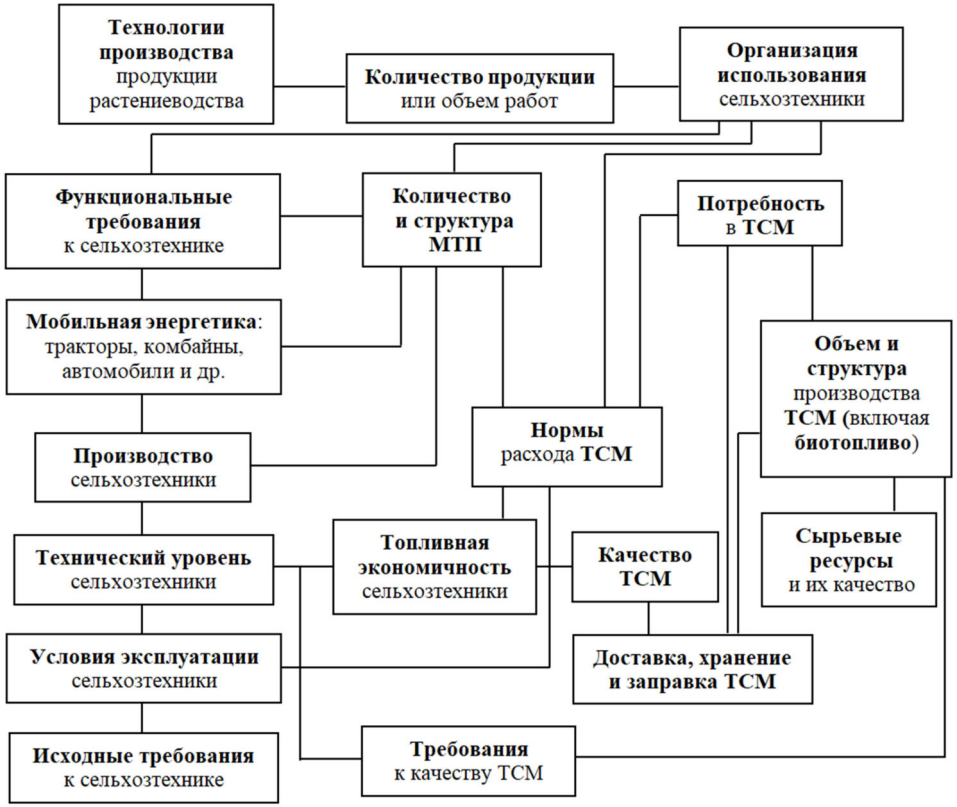


Рисунок 1.5 – Функциональные связи химмотологических систем сельскохозяйственной техники



Рисунок 1.6 – Основные факторы, обуславливающие повышение коэффициента полезного использования ТСМ

В рамках работы наибольший интерес представляет *увеличение топливной экономичности и экологичности*, которое на протяжении многих лет неизменно остается ведущим направлением исследований как в нашей стране, так и за рубежом. Особый интерес к этой краеугольной проблеме обусловлен не только существенным влиянием нефтепродуктов на себестоимость и экономическую эффективность получения сельскохозяйственной продукции (прирост потребления энергоресурсов можно обеспечить более чем на 25 % за счет их экономии), но и их важнейшей ролью при поиске путей предупреждения изменения экологического равновесия в среде нашего обитания. Оно включает такие вопросы как:

– *совершенствование службы обеспечения топливо-смазочными материалами (ТСМ) агропромышленных предприятий,* предполагающее решение комплекса задач по борьбе с потерями ТСМ в процессе транспортирования, хранения и выдачи, совершенствование технико-технологического уровня и техническое перевооружение службы, введение автоматических систем контроля и учета количества ТСМ.

– *создание экологически чистых производственных систем,* связанное с общегосударственной политикой в области защиты окружающей среды и решения вопросов утилизации отходов. Необходимо идти по пути создания рациональной с точки зрения экологии структуры энергозатрат, добиваясь оптимального сочетания энергосбережения и экологической чистоты.

– *осуществление замены нефтепродуктов на альтернативные источники энергии. М*оторное топливо дефицитно практически во всех регионах страны, поэтому должны решаться задачи по обоснованию экономически и социально выгодной замене его на возобновляемые источники энергии.

Таким образом, краткое описание существующих проблем и содержание некоторых направлений развития в аграрном секторе страны позволяют наметить соответствующие долговременные цели, обуславливающие рациональное использование и экономное расходование ТСМ. Их достижение невозможно только за счет использования имеющихся на сегодняшний день

методов и средств, необходима разработка новых подходов, технологий и технических средств сохранения, восстановления и улучшения качества нефтепродуктов, повышения коэффициента полезного использования ТСМ. Решения, представленные в данной работе, выполнены в русле развития перечисленных направлений и затрагивают преимущественно факторы увеличения топливной экономичности и экологичности, замены нефтепродуктов на другие источники энергии, совершенствование службы обеспечения ТСМ агропромышленных предприятий.

1.2. Анализ существующих методологических подходов, технологий и технических средств контроля, сохранения и повышения качества нефтепродуктов в условиях предприятий АПК

Определение свойств закупаемых, хранящихся и используемых нефтепродуктов позволяет прогнозировать техническое состояние машин и механизмов, возможные перебои в их работе или аварийный выход из строя. Однако, получать и использовать такую информацию возможно лишь при наличии достаточного комплекса методов и технических средств для их осуществления. В условиях специализированных лабораторий с необходимым оборудованием достоверно определить свойства нефтепродуктов сравнительно просто, но достаточно долго и дорого для массового применения сельхозпроизводителями. Оптимальной видится такая организация процесса, когда обращение в специализированные лаборатории используется в спорных и подозрительных случаях, а в повседневной работе показатели качества нефтепродуктов оцениваются с помощью портативных средств экспресс-контроля.

Вопрос использования средств экспресс-контроля качества на небольших нефтебазах и в хозяйствах разрабатывается достаточно давно. Накоплен богатый опыт внедрения портативных лабораторий как для топлива, так и для смазочных материалов (таблицы 1.1, 1.2) [46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53].

Таблица 1.1 – Технические возможности портативных лабораторий по определению основных физико-химических показателей топлив

Технические возможности	ЛАН	СЛТМ	ПЛАМ-5	Лаборатория Биодизель	КИ-28105-ГОСНИТИ	Лабораторный комплект 2М6У	Лабораторный комплект 2М7
Определение плотности	+	-	+	+	+	+	+
Определение вязкости	-	+*	+*	+	+	+	+
Определение содержания механических примесей	+	+	-	-	+	+	+
Определение содержания смол	-	-	-	-	-	+	+
Определение содержания воды	+	+	+	+	+	+	+
Определение цвета (визуальный тест)	+	+	+	+	+	+	+
Определение кислотности (кислотного числа)	-	+*	+*	+	-	-	-
Определение октанового числа	-	-	-	-	+	+	+
Определение цетанового числа	-	-	-	-	+	+	+
Определение содержания свинца в бензинах	-	-	-	-	+	+	+
Определение содержания серы в дизельном топливе	-	-	-	-	+	-	-
Определение наличия водорастворимых кислот и щелочей	-	-	-	+	-	+	+

* – для масел

Таблица 1.2 – Технические возможности портативных лабораторий по определению основных физико-химических показателей масел

Средство экспресс-контроля	Вязкость	Загрязненность	ДСС	Щелочное число	Температура вспышки	Содержание воды (обводненность)
Переносной комплект КИ-28085, 28090	+	–	–	–	–	–
Переносной комплект КИ-28105	+	+	–	–	–	+
Лаборатория ПЛАМ	+	+	+	+	–	+
Экспресс-лаборатория Kitiwake	+	+	–	+	–	+
Анализатор качества масла Lubri Sensor	–	–	–	–	+	+
Портативный комплект КДМП-3	+	+	+	+	+	+
Экспресс-лаборатория ВИИТиН	+	+	–	+	–	+
Мобильный центр диагностики масел Wartsila	+	+	–	+	–	+
Экспресс-лаборатории СЛТМ	+	+	+	+	–	+
Комплект анализа масла THY-21A	–	+	–	–	–	+

Вместе с тем, в настоящее время на рынке доступно не так много средств экспресс-контроля, которые могут быть использованы в условиях сельскохозяйственного производства, отвечая следующим требованиям: простота операции оценки качества; малая трудоемкость выполнений операций анализа; качественная и количественная оценка показателей; высокая информативность с минимальной ошибкой; приемлемость цены на приобретение [50, 51, 52, 53].

Обобщая результаты анализа технических возможностей портативных лабораторий контроля качества нефтепродуктов (таблицы 1.1, 1.2) следует отметить их недостатки: отсутствие методов определения части необходимых показателей (ЩЧ, ДСС, температура вспышки); необходимость наличия у оператора специальных знаний и навыков [50]; высокая стоимость для рядовых хозяйств; «универсальные» датчики состояния нефтепродуктов часто обеспечивают неполную картину контролируемых показателей [54].

Для обеспечения надежной и долговечной работы техники помимо проверки качества нефтепродуктов на нефтескладах хозяйств должны проводиться также регулярные мероприятия по сохранению их качества [55].

Мероприятия по *предотвращению загрязнений* нефтепродуктов атмосферной пылью и влагой можно разделить на две группы: 1 – меры по сокращению объемов малых дыханий; 2 – оснащение дыхательных и дренажных устройств средствами очистки воздуха (воздухоочистители, воздухоосушители и фильтры). Используют гравитационные и инерционные воздухоочистители, фильтры с пористыми перегородками, электрофильтры и фильтры-влагоотделители, холодильные и адсорбционные воздухоосушители [36].

Микробиологическое загрязнение нефтепродуктов можно предотвратить физико-механическими (фильтрация через бактерицидные фильтры, герметизация и регулярные зачистки емкостей, удаление воды) и химическими способами – применение различных присадок-антисептиков.

Для защиты нефтепродуктов от *загрязнений, вызванных коррозией,* используют защитные покрытия, ингибиторы коррозии (ИК) и электрохимические способы защиты. Наиболее широкое применение находят защитные по-

крытия – полимерные и пластмассовые, металлические (цинковые, алюминиевые), лакокрасочные материалы.

Самым простым способом борьбы с *процессами образования отложений* является механическое перемешивание нефтепродуктов пропеллерными, турбинными, винтовыми, вихревыми мешалками, которые поднимают со дна и перемешивает отстоявшиеся фракции, распределяя их равномерно по всему объему нефтепродукта. Для *предотвращения образования осадков* используют и размывочные машины, размывающие осадок на дне резервуаров. Наиболее эффективным методом борьбы с осаждением нефтепродуктов считается использование присадок-антикоагулянтов [36].

Процессы образования смол и осадков можно снизить путем дегазации и хранения нефтепродуктов в инертной среде, но на практике проблему обычно решают путем уменьшения отношения паровой и жидкой фаз, контакта с воздухом, количества перекачек, хранением при пониженных температурах в заглубленных резервуарах, на дне которых отсутствуют вода и загрязнения. Скорость образования смол и осадков снижают при помощи антиокислительных присадок и подбором химического состава нефтепродуктов – минимизацией непредельных углеводородов и гетероорганических соединений.

Основная масса нефтепродуктов хранится в условиях контакта с атмосферой. Возможное *обводнение* можно снизить за счет недопущения контакта с влажным воздухом, например, используя осушители воздуха, поступающего в резервуар. Недостатком адсорбционных методов поглощения воды из воздуха является их сравнительно невысокая влагоемкость, что влечет частую смену или регенерацию адсорбентов. Известны методы борьбы с обводнением нефтепродуктов при помощи присадок, позволяющих повысить растворимость воды в нефтепродуктах. Оставаясь в растворенном состоянии даже при низких температурах, вода, с эксплуатационной точки зрения менее опасна. Наиболее эффективным из множества исследованных присадок оказался моноэтиловый эфир этиленгликоля (этилцеллозольв) [36, 56].

При выявлении на нефтебазе некондиционных нефтепродуктов должно приниматься решение о путях и методах восстановления их качества или ути-

лизации с оформлением соответствующего акта.

Восстановление качества нефтепродуктов может проводиться в статических и динамических условиях. Выбор принципиальной схемы процесса определяется требуемой скоростью восстановления качества нефтепродуктов. Распространение получили следующие методы (рисунок 1.7) [57].



Рисунок 1.7 – Методы восстановления качества нефтепродуктов

Наиболее простым и широко применяемым методом восстановления качества нефтепродуктов является *смешивание* продуктов некондиционных и имеющих запас качества по соответствующим показателям. Содержание фактических смол, плотность коксуемость, кислотность, кислотное число, зольность, содержание серы, ароматических углеводородов, йодное число являются величинами аддитивными, то есть значение для полученной смеси равно среднеарифметической величине этих показателей у смешиваемых продуктов.

Эффективно восстановить и даже повысить качество нефтепродуктов можно с помощью *химических реагентов*. К нежелательным веществам, присутствующим и накапливающимся в нефтепродуктах, относятся упомянутая выше вода, некоторые сераорганические (меркаптаны), азотистые соединения, а также сероводород. Можно подобрать химические вещества, реагирующие с этими нежелательными компонентами с образованием соединений, легко уда-

ляемых из нефтепродуктов [36, 57].

Также к химическим методам восстановления и повышения качества нефтепродуктов можно отнести *добавление присадок*. Присадка, может выпускаться, как в виде концентрата в растворителе, так и в виде чистого активного вещества. Существуют две принципиально различающиеся технологии введения присадок в топливо: на линии производства непосредственно на нефтеперерабатывающем предприятии; введение в топливный бак непосредственно у потребителей нефтепродуктов.

Отстаивание – наиболее простой способ восстановления качества нефтепродуктов за счет удаления значительного количества механических примесей и воды. Его эффективность зависит от различия плотностей загрязнений и нефтепродуктов, а также размеров частиц. Из легких топлив (бензины, ДТ) этим способом можно удалить частицы размером более 5 мкм, из вязких нефтепродуктов (мазуты) – более 50 мкм. Наиболее рациональным вариантом резервуаров-отстойников являются вертикальные цилиндрические емкости с коническим дном, откуда легко удаляются накапливающиеся загрязнения. Для ускорения процесса можно проводить его в изотермических условиях при оптимальной температуре отстаивания. С повышением температуры вязкость нефтепродуктов снижается, а скорость отстаивания возрастает [36].

Повысить скорость оседания частиц загрязнений при отстаивании можно за счет *коагуляции* – укрупнения мелких неоседающих частиц в более крупные, вызываемой как физическими (вибрация, перемешивание, охлаждением, нагрев, электрический ток или воздействие лучистой энергии) так и химическими методами, например, введением коагулирующих добавок – электролитов и неэлектролитов, поверхностно-активных веществ (ПАВ). При хранении нефтепродуктов наблюдаются процессы медленной коагуляции, когда мелкие частицы с малой скоростью коагулируют в более крупные и скапливаются на дне резервуаров в виде смолистого осадка. Параллельно происходит образование частиц загрязнений за счет окисления нефтепродуктов. Существенного увеличения чистоты нефтепродуктов можно достичь только при

быстрой коагуляции с последующим отделением образующегося осадка [36, 57, 58, 59, 60, 61, 62, 63].

При помощи *фильтрации* можно отделять твердые загрязнения с размером больше 5 мкм. Степень очистки нефтепродуктов от загрязнений определяется технологической схемой фильтрации и, особенно, типом применяемых фильтров, однако удаление эмульсионой воды методами фильтрации нельзя считать решенной проблемой.

Фильтрационное оборудование для очистки нефтепродуктов от загрязнений и воды представлено большим количеством аналогичных по характеристикам продуктов, например: объёмные фильтры ФОС, АПРИС Ф–800 со сменными фильтроэлементами и тонкостью очистки – 3 – 5 мкм могут одновременно очищать нефтепродукты от воды (степень очистки – 82 – 98 %), механических примесей (степень очистки – 85 – 97 %), бактерий и продуктов их жизнедеятельности, ПАУ [64, 65]; фильтры-сепараторы ФСТ для тонкой очистки ДТ, газотурбинного масла, турбинного и моторного масел от механических примесей, воды и биологических загрязнений (тонкость очистки – 5 мкм, эффективность обезвоживания – 0,03 % – следы остаточной воды, производительность – 3 – 5 $м^3$/ч топлива и до 2,5 $м^3$/ч масла) [66]. Предложена технология очистки нефтепродуктов от твердых загрязнений размером от 0,2 до 20 мкм с помощью ПГС-фильтров [67]. Интересную технологию, основанную на применении фильтрования, предлагает НПО «Эпрон» [68].

В практике работы нефтебаз и нефтескладов весьма перспективно внедрение *адсорбентов*, которые могут поглощать из нефтепродуктов воду и даже гетероорганические соединения и продукты окисления углеводородов, однако, типичная технологическая схема их применения пока недостаточно производительна и сложна для использования в условиях сельскохозяйственных нефтебаз, так как требует регенерации адсорбента [69, 70, 71].

Эффективность очистки топлив и масел от загрязнений методом *сепарирования* зависит от конструкции центрифуг. Тонкость очистки обычно находится в пределах 15 – 25 мкм. С увеличением числа оборотов ротора и уменьшением вязкости нефтпродукта, обусловленным повышением температуры,

эффективность очистки увеличивается, однако, невозможно до бесконечности наращивать обороты и повышать температуру. Среди промышленно выпускаемого отечественного сепарационного оборудования: центробежные саморазгружающиеся сепараторы СЛ-1, СЛ-3, СЛ-5, производительностью 2,45, 5,75, 12,5 $м^3$/ч, соответственно [72]; СЦС-540 [73]; ТМЦП-3 полузакрытого исполнения с периодической выгрузкой осадка [74]; СД-10 для очистки от примесей размером до 6,0 мкм (производительность 10 $м^3$/ч) [75]; центробежные сепараторы УОР-301 (СЦ-1,5А), УОР-301У (СЦ-1,5 АВ), УОР-401У (СЦ-3), УОР-401У (СЦ-3А) [76]; сепараторы для дизельных топлив СДТ 1-4 [77]; установка очистки дизельных топлив и масел Ж5-ТРЦП-1-КО (до 1000 л/ч) [78].

Разработаны весьма эффективные передвижные установки для очистки нефтепродуктов, например СОГ-933К1 и СОГ-933КТ1 [79, 80, 81], мобильные масляные станции СММ-0,6ф и СММ-4,0ф [82], установка очистки отработанных масел УОМ-3М (100) [83, 84, 85, 86], Emmie Alfa-Laval (Швеция) [87].

Известны многочисленные способы и устройства модификации топлив, включающие воздействие магнитных полей, приводящих к некоторому упорядочению молекул или образованию мелкодисперсных структур в обрабатываемой среде. Восприимчивость к магнитному воздействию меняется в зависимости от молекулярной массы и строения молекул углеводородов – более сильная у нефтяных остатков, чем у легких фракций [88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97]. В работах [98, 99, 100] показано, что коэффициент поверхностного натяжения бензинов существенно снижется после воздействия магнитного поля, что, в свою очередь, влечет изменение плотности, вязкости и снижение температуры вспышки, а, следовательно, теплотворной способности топлив. Вместе с тем, отмечается крайняя неустойчивость результатов, получаемых с помощью таких устройств, при всех неоднократно зафиксированных положительных изменениях в работе двигателя [101]. Магнитная обработка топлива в слабых полях вызывает только поляризацию молекул топлива, которые возвращаются в прежнее положение сразу после снятия воздействия (время релаксации порядка 10^{-11} с) [102, 103].

В работе [104] установлено повышение испаряемости топлива, обработанного постоянным электрическим полем с высоким значением потенциала, снижение его температуры вспышки, поверхностного натяжения, изменение кинематической вязкости. Но отмечено непостоянство результатов. С течением времени показатели возвращаются к исходным значениям, причем изменения исследуемых показателей отличаются для разных видов топлива.

В работах [101, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111] показано уменьшение вязкости углеводородов, подвергшихся действию переменного электрического поля, более существенное, чем при действии постоянного электрического поля. Отмечается улучшение процесса горения и полноты сгорания топлива, что позволяет работать ДВС на обедненных смесях, обеспечивает уменьшение расхода топлива, снижение токсичности выхлопа.

Широкое распространение получили устройства для обработки топлива, обеспечивающие воздействие на него двух видов энергии – электрической, магнитной и их различных комбинаций [112, 113, 114, 115, 116, 117]. Например, в работе [106] при обработке топлива электромагнитным полем зафиксировано снижение дымности на 20 %, повышение экономии топлива от 10 до 20 %, а в отдельных случаях до 35 %.

Известен способ использования электростатического заряжания топлива для улучшения полноты сгорания за счет получения более мелкодисперсной и однородной смеси с окислителем (воздухом), серьезный недостаток которого связан с безопасностью – высокое напряжение, необходимое для заряжания топлива, создаёт опасность искры [118]. Заряжение жидкости предпочтительнее осуществлять трибоэлектрическим способом, который дешевле, проще и безопаснее, так как удельный заряд топлива и потенциал на его поверхности ограничены токами утечки. В этом случае предотвратить искрообразование легче, однако, труднее зарядить топливо до высоких значений потенциала и обеспечить существенное повышение качества сгорания топлива в камере ДВС [119].

Использование механоактивации для дополнительной генерации лёгких

фракций в процесс переработки твёрдых топлив и высококипящих нефтяных остатков экономически привлекательно для топливной и химической промышленности. После механодеструкции увеличивается степень конверсии органической массы при ожижении угля [120, 121], количество бензиновых и дизельных фракций при переработке нефти и нефтяных остатков [122, 123, 124], уменьшается температура вспышки и увеличивается условная вязкость мазута [125]. После механоактивации нефтяных асфальтенов на 40 % увеличился выход жидких продуктов, а молекулярная масса асфальтенов снизилась ~ в 3 раза [126, 127].

Основными способами механического воздействия являются удар и трение, которые вызывают упругие и пластические деформации, нарушение сплошности твёрдого материала и увеличение свободной поверхности вещества, искажения кристаллической решётки минералов, повышение температуры, различные излучения (от акустических и радиоволн до рентгеновского или видимого светового), эмиссию электронов и разность потенциалов, разрыв химических связей вещества [128, 129, 130]. Разогрев среды в результате механообработки может служить одним из объяснений протекающих при трении и ударе химических реакций [131, 132].

Большой интерес вызывает применение ультразвуковых колебаний для воздействия на нефтепродукты. Распространена кавитационно-электрохимическая теория механизма действия ультразвука в жидкостях [133]. Считается, что в поле ультразвуковых волн при разрыве связей С–С могут возникнуть продукты распада в различном физическом состоянии – свободных радикалов, ионов с противоположными знаками, стабильные «обломки» расщепляющейся молекулы [134]. Например, при обработке ультразвуком растворов нитроцеллюлозы и полистирола обнаруженное значительное уменьшение вязкости объясняется разрушением химических связей [134, 135, 136]. Длительное воздействие ультразвука большой интенсивности нарушает связи в молекулах парафинов, изменяет их химическую структуру и физические характеристики, вплоть до необратимых изменений, что может найти применение, например, при получении зимних сортов дизельных топлив [137,

138, 139, 140]. Воздействие ультразвука на тяжелые нефтяные остатки при высоких температуре и давлении приводит к увеличению выхода соляровых фракций на 20 %, бензина – в 2 раза [141]. В работе [142] показана эффективность применения ультразвука при производстве трехкомпонентных консистентных смазок и антифрикционных смазочных масел. Предварительная обработка ДТ ультразвуком повышает эффективность его сгорания, снижает нагар и износ гильзы, а также увеличивает срок службы поршня [143].

Возникновение химических реакций в поле ультразвуковых волн связано с возникновением кавитации [144, 145, 146, 147]. Как показали расчеты, вблизи захлопывающегося газового пузырька в жидкости возникает давление до 10^5 МПа [148, 149, 150, 151, 152]. Доказано, что поверхность трущейся в газе капельки приобретает электрический заряд, поэтому кавитационное разрушение – это электрическое явление микроразрядного характера [146, 153].

При длительном воздействии кавитации происходят изменения физико-химического состава и свойств нефтепродуктов [154, 155, 156, 157]. В основе технологий, использующих кавитационное воздействие на нефть и нефтепродукты, лежит метод импульсного энергетического воздействия за счет акустических волн и кавитации, изменяющих гидродинамику и стабильность жидкостей [155, 158, 159]. Например, роторные импульсные аппараты реализуют гидродинамическое и акустическое воздействие на жидкости за счет давления и скорости потока, интенсивной турбулентности и пульсации, порождающих кавитацию и ударные волны [160, 161, 162, 163].

При одновременном воздействии ультразвука и постоянного электрического поля в течение нескольких часов в н-октане и н-декане наблюдалось появление непредельных углеводородов [154], однако, без использования водного раствора электролита процесс деструкции углеводородов идет недостаточно эффективно.

Таким образом, анализ существующих технологий и технических средств контроля, сохранения и повышения качества нефтепродуктов показал отсутствие доступных портативных средств контроля качества НП, адаптированных к применению в условиях АПК. Удаление загрязнений размером от

5 мкм, воды от 0,03 – 0,05 % от объема топлива врзможно центробежными сепараторами, а загрязнения меньших размеров остаются в топливе, воздействуя на элементы топливной аппаратуры. Недостатки работы фильтров, вызванны ограниченным ресурсом работы из-за закупоривания пор; необходимостью периодической замены или промывки; невозможностью удаления из топлива влаги традиционными фильтрующими материалами (бумага, ткань, металлические сетки). Большинство известных способов воздействия силовых полей различной природы на нефть и нефтепродукты применяются преимущественно при их производстве, но в сельском хозяйстве используются крайне редко.

В связи с этим, большое значение приобретает разработка простых и доступных для сельского товаропроизводителя методов и средств экспресс анализа качества, контролирующих необходимый и достаточный минимум показателей, выделенных из основной массы на основании научных исследований. Необходима разработка и внедрение новых, более совершенных, комплексных методов очистки и сохранения качества нефтепродуктов, способных удалять из дизельного топлива загрязнения размером от 0,5 мкм и обеспечивать содержание воды в ДТ не более 0,02 %. Наиболее приемлемым видится решение в виде модульной структуры оборудования, где первоначально топливо очищается от крупных загрязнителей и большого количества воды, а потом доочищается до конечных показателей. Кроме того представляется необходимым включение в состав оборудования для очистки ДТ устройств, позволяющих одновременно с очисткой, производить введение различных присадок, улучшающих физико-химические и эксплутационные показатели топлива.

1.3. Анализ взаимосвязей показателей качества нефтепродуктов, их физико-химических и эксплуатационных свойств с техническим состоянием машин

Обеспечение надежной и эффективной работы сельскохозяйственной техники напрямую зависит от рационального подбора и использования топлив, смазочных материалов и присадок, качество которых должно удовле-

творять оптимальным требованиям применения агрегатов в соответствии с их конструктивными особенностями. Это положение химмотологии хорошо иллюстрирует известная схема (рисунок 1.8), наглядно показывающая взаимосвязь между топливом, СМ и эксплуатацией механизмов [164].

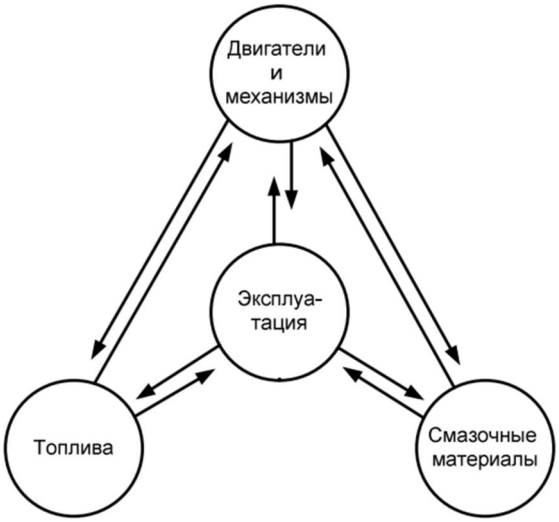


Рисунок 1.8 – Химмотологические взаимосвязи в системе «техника–ТСМ–эксплуатация»

Для повышения эффективности эксплуатации техники при производстве сельскохозяйственной продукции есть два взаимосвязанных пути – дальнейшее совершенствование двигателей и механизмов, и улучшение применяемых в них топлив и смазочных материалов, однако первый путь – более медленный. Качество топлива и СМ влияет на надежность агрегатов и механизмов, их ресурс и долговечность работы, что в итоге отражается на общей эффективности эксплуатации сельскохозяйственных машин. В тоже время объективно достигнутые на сегодняшний день физико-химические и эксплуатационные свойства нефтепродуктов диктуют требования к конструкции двигателей и механизмов.

Автомобильный и сельскохозяйственный парк все больше пополняется новой отечественной и зарубежной техникой, которая оснащается высокофорсированными двигателями, сложной гидравликой, трансмиссией, ходовой системой, что повышает требования к используемым нефтепродуктам. Огромное разнообразие фирм и марок выпускаемых продуктов, особенно за

рубежом, приводит к тому, что аграриям порой достаточно сложно сделать обоснованный и рациональный выбор среди разнообразия существующих предложений.

По экспертным оценкам к 2030 году потребление светлых нефтепродуктов в сельском хозяйстве должно увеличиться в 4 раза [17, 165], что делает краеугольной проблему удовлетворения растущей потребности сельскохозяйственного производства в качественном моторном топливе и СМ.

Известно, что более половины неисправностей, возникающих в ДВС, относятся к системам питания и смазки, из которых до 35 % приходится на плунжерные пары. Износ топливного насоса, клапанов, форсунок приводит к неполному сгоранию топлива и повышению токсичности выхлопных газов, а чрезмерный износ пар трения влечет за собой перерасход масел и смазок [166, 167, 168, 169, 170].

Эксплуатационные свойства топливо-смазочных материалов (ТСМ) определяют их техническую эффективность и экологическую безопасность (рисунок 1.9). В свою очередь, эксплуатационные свойства топлив зависят от уровня физико-химических свойств, характеризуемых показателями качества. Цетановое число (ЦЧ), вязкость, фракционный состав, наличие сернистых соединений, смол, воды и механических примесей, низкотемпературные и смазывающие свойства, температура вспышки, кислотность – важнейшие показатели качества ДТ [171]. Их отклонение от регламентируемых значений в наибольшей степени сказывается на физико-химических и эксплуатационных свойствах топлива (таблица 1.3), а в конечном счете – на надежности и ресурсе топливной аппаратуры и ЦПГ.

Условия работы СМ не одинаковы в различных типах механизмов, поэтому смазочные масла различают по целевому назначению, например, масла для двигателей, коробок передач, гидравлических приводов и т.п.. Но даже в одном определенном механизме условия работы масла изменяются в широких пределах, что сильно осложняет процесс подбора и применения масел.



Рисунок 1.9 – Взаимосвязь между эксплуатационными, физико-химическими свойствами и показателями качества ТСМ

Таблица 1.3 – Последствия несоответствия нормативам основных показателей качества топлива

Показатели качества	**Последствия несоответствия нормативам**
Цетановое число (ЦЧ)	При низком ЦЧ за счет быстрого испарения и сгорания топлива ухудшается воспламеняемость рабочей смеси и запуск двигателя, увеличивается жесткость его работы, снижается максимальная мощность. При слишком высоком ЦЧ топливо воспламеняется быстро, но горение происходит медленно и менее эффективно, ухудшается экономичность двигателя, повышается дымность.
Вязкость	Повышение вязкости ведет к ухудшению распыливания топлива, неравномерности распределения рабочей смеси в объеме цилиндра и к ее неполному сгоранию, что увеличивает удельный расход топлива и дымность [172]. Уменьшение вязкости приводит к изменению цикловой подачи, снижению давления впрыска, к ухудшению режима смазывания и повышенному износу топливной аппаратуры, способствует подтеканиям, легкому просачиванию топлива через зазоры, что снижает мощность двигателя, увеличивает нагарообразование и дымность, однако строгой связи между износом и вязкостью нет. [171, 173, 174, 175].
Фракционный состав (ФС)	Облегчение ФС, снижение температуры начала кипения топлива приводит к образованию паровых пробок, повышению давления, жесткой работе двигателя. Утяжеленный ФС ухудшает процесс горения, влечет неполное сгорание топлива, увеличение его расхода и дымности выхлопа, повышенное отложение нагаров за счет смолистых продуктов, содержащихся в тяжелых фракциях топлива. Влияние на работу двигателя ФС различается для различных типов двигателей. Оптимальный фракционный состав диктуется конструктивными особенностями дизелей и условиями их эксплуатации. С понижением 50 % и 96 %-ных точек перегонки ухудшаются противоизносные свойства топлива. [176].
Содержание механических примесей	Вызывает абразивное изнашивание плунжерных пар топливных насосов, снижает мощность двигателя и увеличивает расход топлива, а также приводит к росту выбросов вредных веществ с отработанными газами. В баке трактора содержание загрязнений в 126 раз больше чем в исходном ДТ [177, 178].
Содержание сернистых соединений	Большое содержание серы приводит к повышенному нагарообразованию, что ухудшает охлаждение деталей и вызывает падение мощности. Ускоряются процессы окисления и старения моторного масла [171]. При сгорании образуются оксиды SO_2 и SO_3, которые с водой преобразуются в кислоты. При уменьшении концентрации общей серы с 0,2 % до 0,05 % износ плунжеров увеличивался в 1,5 раза [179]. Наличие меркаптанов вызывает ухудшение противоизносных свойств топлив пропорционально их содержанию [173, 180, 181]. Повышение содержания меркаптановой серы с 0,01 % до 0,06 % увеличивает коррозию более чем в 2 раз [171]. Влияние на экологические характеристики сернистых соединений в 300 раз выше, чем влияние содержания ароматических углеводородов, и в 900 раз выше 90 % точки перегонки [182].

Содержание смол **Коксуемость**	Закоксовывание сопел форсунок и ухудшение сгорания топлива при повышенном значении этих показателей, ухудшение термической стабильности и коррозионную активности. Повышенное количество смол несколько улучшает противоизносные свойства [184], а полное удаление приводит к их значительному ухудшению [173, 185], однако рост содержания смол в 2 – 3 раза снижает срок службы двигателя на 15 – 20 % [183],
Содержание воды	Усиливает загрязнение топлива водорастворимыми кислотами, повышает коррозионную активность и склонность к пенообразованию [186], снижает низкотемпературные свойства, вязкость, прокачиваемость, фильтруемость, увеличивает склонность к накоплению загрязнений, способствует микробиологическому загрязнению, ухудшается смазывающая способность топлива, что приводит к увеличению износа (в 1,5 – 1,7 раз) деталей топливной аппаратуры. Присутствие воды изменяет поверхностное натяжение капель топлива, вызывая значительное увеличение их размеров, что отрицательно влияет на процесс распыливания и испарения топлива. В тоже время содержание порядка 3 % эмульсионной воды не приводит к значительному ухудшению работоспособности плунжерных пар при непрерывной работе ТНВД, однако при циклическом режиме работы ТНВД даже 0,5 % воды приводит к сильному ухудшению работоспособности вследствие ускорения коррозионного износа [187].
Смазывающие свойства **Диаметр пятна износа**	При недостаточном уровне приводят к перегреву и повышению фрикционного износа ТНВД, уменьшению ресурса ТНВД и форсунок, увеличению расхода топлива. Улучшаются с увеличением вязкости, температуры выкипания, содержания серы и ПАВ, ухудшаются при гидроочистке [171, 188, 189, 190].
Кислотность	Увеличивает коррозионную активность, вызывает повышенный износ плунжеров и закоксовывание форсунок [173]. Наличие до 0,01 % масс. нафтеновых кислот существенно улучшает противоизносные свойства топлива [174].
Температура вспышки	Определяет безопасность применения топлива – чем выше значение, тем менее пожароопасно топливо. Низкая температура вспышки указывает на облегченный фракционный состав, высокая – на утяжеленный.
Низкотемпературные свойства **Температура помутнения** **Температура Застывания** **Предельная температура фильруемости**	Характеризуют склонность топлива к расслоению за счет образования твердой фазы (парафинов и льда) при низких температурах, что вызывает закупоривание фильтров очистки топлива, нарушение подачи. Чем лучше низкотемпературные свойства, тем ниже цетановое число топлива [171]. Ведение непредельных углеводородов, разбавление керосином или бензином может улучшить низкотемпературных свойств дизельных топлив, однако это чревато низкой окислительной стабильностью, снижением противоизносных свойств и цетанового числа, температуры вспышки, повышенным нагарообразованием при сгорании такого топлива [191, 192, 193]. Более эффективным способом улучшения низкотеператрных свойств является использование депрессорно-диспергирующих присадок.

Таблица 1.4 – Последствия несоответствия нормативам основных показателей качества смазочных материалов

Показатели качества	Последствия несоответствия нормативам
Вязкость **Вязкостно-температурная зависимость**	Разжижение высоковязких масел маловязкими снижает способность масла выдерживать высокие удельные давления, однако улучшает его поступление в зону трения и вывод из этой зоны продуктов износа. Вязкость прямо пропорциональна потерям мощности при трении, а также напрямую влияет на удержание масла в смазываемом узле [194]. Разжижение масла дизельным топливом серьёзно влияет на его работу и грозит аварией двигателя из-за нарушения режим смазки подшипников коленчатого вала, их перегрева и образования задиров , что часто сопровождается поломкой коленчатого вала и повышением скорости изнашивания поршневых колец [195, 196].
Диаметр пятна износа	Напрямую зависит от вязкости. Низкое значение показателя говорит о хорошей смазывающей способности масла, обеспечивающей снижение износа и предотвращение задира.
Термоокислительная стабильность	Чем ниже значение, тем хуже способность масла противостоять окислению при повышенной температуре (старение масла), в результате которого изменяются вязкость и коррозионная способность, накапливаются органические кислоты, асфальто-смолистые соединения, образуются нерастворимый осадок, нагары и лаковые отложения. Определяется количеством и строением содержащихся в масле ароматических углеводородов а также антиокислительных присадок – фенольных и сернистых соединений [80, 197, 198].
Кислотное число (КЧ)	В работающих маслах повышение значения КЧ говорит об увеличении кислых соединений, продуктов старения масла, что может спровоцировать повышенный коррозионный износ деталей. Свежие масла всегда имеют определенное КЧ, в том числе за счет наличия различных присадок, например противоизносных.
Щелочное число (ЩЧ)	Характеризует способность масла и входящих в него присадок к нейтрализации кислот, образующихся в процессе работы. Зависит от наличия моюще-диспергирующих присадок (детергентов), препятствующих образованию высокотемпературных отложений на деталях двигателя и поддержанию продуктов старения и загрязнений во взвешенном состоянии в объеме масла. Уменьшение показателя происходит вследствие нейтрализации кислых продуктов старения. Минимальное значение при высоком КЧ говорит об исчерпании этой способности следствием чего может стать ускорение образования отложений на деталях и возрастание их изнашивания, что сокращает ресурс и эксплуатационную надежность техники.
Содержание воды	Небольшое количество воды несколько улучшает противозадирные свойства масел за счет гидролизации хлор и серу содержащих присадок, однако, как правило, большое количество воды разрушает присадки. В воде содержатся неорганические соли и коррозионно-агрессивные компоненты, которые способствуют проявлению электрохимической коррозии [194].
Содержание механических примесей	Высокое значение указывает на загрязненность масла частицами пыли и нерастворимыми примесями, что ухудшает смазывающую способность, повышает фрикционное изнашивание трущихся деталей. Максимальное загрязнение наблюдается на нефтебазах с открытым грунтом [199]

Коррозионность	Порядка 30 % всех загрязнений, попадающих в нефтепродукты, имеют коррозионное происхождение [200]. В агрегатах сельскохозяйственной техники используют детали, изготовленные из алюминия, меди, свинца, стали, различных сплавов, которые относительно легко подвергаются коррозии в результате взаимодействия с продуктами окисления масла – активные сернистые соединения, минеральные кислоты и щелочи, вода. В свежих маслах они отсутствуют, а количество органических кислот ограниченно.
Температура каплепадения	Определяет рабочие температуры и технологических параметры применения пластичных смазок. Показывает температуру, при которой смазка теряет работоспособность, расплавляется и начинает течь.
Коллоидная стабильность	Характеризует способность смазки сопротивляться отделению дисперсной среды (масла) при хранении и эксплуатации. Для всех видов пластичных смазок она не должна превышать 30% во избежание резкого упрочнения, нарушения их нормального поступления к смазываемым поверхностям и ухудшения вязкостных и смазывающих свойств.
Пенетрация	Загуститель и масло образуют двухфазную систему, в которой жидкий смазочный материал не растекается за счет поверхностного натяжения и других физических сил. Показатель характеризует степень густоты (консистенцию) смазки, на основе чего делают подбор смазки для того или иного узла трения. Результаты пенетрации неперемешанной смазки используют для оценки влияния условий хранения на консистенцию смазки.

Основное назначение смазочных масел заключается в обеспечении работоспособности механизмов и пар трения за счет снижения потерь на трение и предотвращение износа, поэтому к основным показателям качества СМ, наиболее влияющим на их эксплуатационные свойства и выполняемые функции, относятся: вязкость, термоокислительная стабильность, щелочное и кислотное число, содержание воды и механических примесей, диаметр пятна износа, коррозионность. Для пластичных смазок помимо противоизносных и противозадирных свойств, коррозионной стойкости, содержания механических примесей и т.д. важнейшее значение имеют температура каплепадения, коллоидная стабильность, пенетрация, содержание механических примесей, водостойкость (таблица 1.4) [171]. Они взаимосвязаны между собой и характеризуют техническое состояние смазываемого механизма. Можно утверждать, что температура вспышки, содержание железа, воды и механических примесей в большей степени характеризуют состояние двигателя, в то время как вязкость, щелочное и кислотно число в большей степени относятся к состоянию самого масла, как составной части механизма. Совокупный анализ показателей работы механизма и физико-химических характеристик

смазочного материала позволяют прогнозировать и предотвращать возможные неисправности, сокращать количество ремонтов и простои техники.

Таким образом, эксплуатационные свойства нефтепродуктов определяются их физико-химическими свойствами, поэтому необходима не только разработка новых, доступных для сельскохозяйственного производства методов оперативного определения важнейших показателей качества используемых нефтепродуктов, но и методов и технических средств восстановления и повышения эксплуатационных свойств и показателей качества дизельных топлив и масел в условиях предприятий АПК. Это позволит не только контролировать состояние механизмов машин, но также предупреждать и оперативно устранять неисправности, поддерживать на оптимальном уровне свойства топлив и смазок, проводить замену масел по фактическому состоянию, а не по наработке, помогая тем самым сократить расходы на техническое обслуживание и ремонт машинно-тракторного парка.

1.4. Преимущества и недостатки получения и применения биотоплива в сельскохозяйственной технике

Эксплуатация мобильных энергетических средств в сельском хозяйстве происходит в условиях возрастающего потребления нефтепродуктов, роста цен на моторное топливо и ужесточения экологических стандартов. Использование нефтепродуктов с улучшенными экологическими характеристиками особенно важно в сельскохозяйственном производстве, где затраты на них – основная статья расходов. Общей тенденцией являются требования к снижению содержания ароматических и серусодержащих соединений в топливе с целью снижения вредных выбросов с отработавшими газами – сажи, несгоревших и полициклических углеводородов, оксидов углерода и серы. Для этого требуется проведение процессов деароматизации и гидроочистки, которые приводят к ухудшению смазывающих свойств (рисунок 1.10) и способности дизельного топлива вытеснять влагу с поверхности металла из-за удаления ПАВ [201, 202, 203, 204]. Увеличивают диаметр пятна износа и цетаноповышающие присадки, обладающие повышенной окислительной способностью [205].

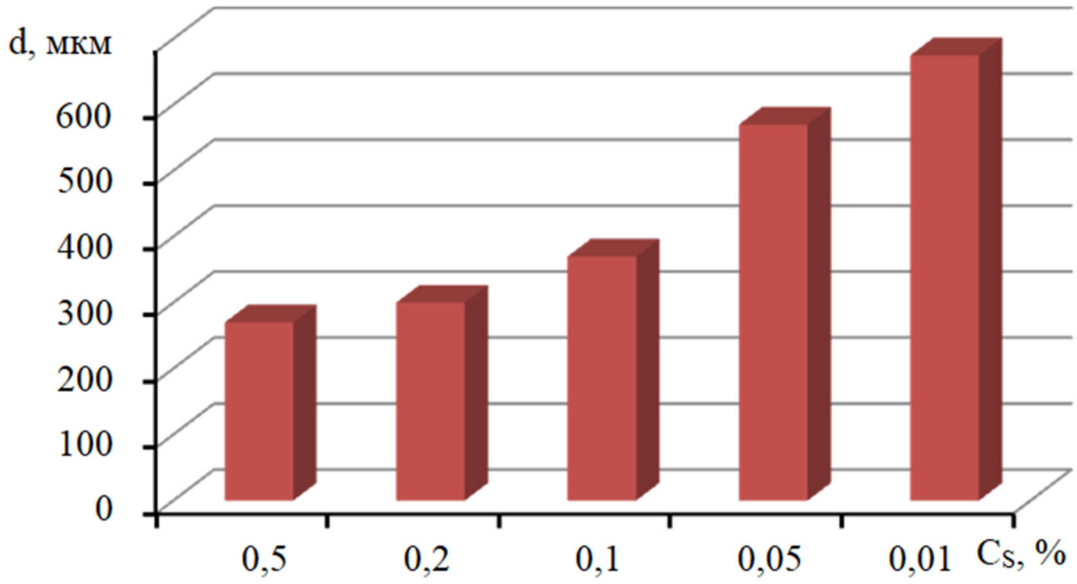


Рисунок 1.10 – Зависимость диаметра пятна износа (d)
от содержания серы (C_S) в дизельном топливе

Создание топлив и СМ, соответствующих требованиям стандартов для новой техники невозможно без применения специальных присадок и добавок. Обычно их разделяют по функциональному назначению – способности влиять на определенные физико-химические или эксплуатационные свойства нефтепродуктов, реже по механизму действия (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Классификация присадок и добавок
к топливам и смазочным материалам

Современные присадки к нефтепродуктам часто представляют собой смеси, так называемые «пакеты» с веществами различной природы и назначения. Добавление таких «пакетов», например, к базовым маслам позволяет получать продукты с определенным уровнем нужных свойств. В некоторых видах масел содержание присадок превышает 35 % [206, 207].

До последнего времени на рынке присадок к топливам господствовали зарубежные фирмы (Infineum, BASF, Clariant, Lubrizol). Из отечественных разработок было широко развито лишь производство антидетонационных присадок к бензинам, а присадки к ДТ выпускались только в опытно-промышленном масштабе. Климатические условия страны предполагают наличие достаточного количества ТСМ с хорошими низкотемпературными свойствами, достигаемыми при помощи депрессорно-диспергирующих присадок, и, например, потребность в противоизносных присадках составляет около 6200 т/год [201, 202, 205, 208, 209, 210].

В этой связи важной задачей является расширение ассортимента присадок и добавок отечественного производства для улучшения качества нефтепродуктов. Большой интерес представляет использование для этих целей соединений на основе возобновляемого сырья. Например, хорошими противоизносными свойствами обладает смесь ДТ с олеиновой кислотой [211] или бутиловым эфиром рапсового масла [209]. В качестве моюще-диспергирующих беззольных присадок применяются моноалкиловые эфиры алкенилфосфиновых кислот [212]. Моноалкиловые эфиры длинноцепочечных жирных кислот, полученные из растительных масел или животных жиров, широко известны как биодизельное топливо (БДТ), которое обладает рядом преимуществ перед нефтяным топливом [213, 214, 215, 216].

БДТ отличается лучшими экологическими характеристиками: практически не содержит серу и ароматические углеводороды, поэтому при использовании чистого БДТ ~ на 80 % снижаются выбросы диоксида углерода и практически отсутствуют выбросы диоксида серы и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), в том числе канцерогенного бенз(а)пирена [217]. Углекислого газа в выхлопных газах двигателя, работающего на БДТ столько же, сколько потребляется из атмосферы растениями, из которых получается масло - сырьё для БДТ. Цикл, включающий производство (выращивание биомассы) и использование БДТ (сжигание в двигате-

лях), в итоге не ведет к техногенной эмиссии и накоплению углекислого газа в атмосфере, в отличие от цикла добычи ископаемого топлива и сжигания нефтепродуктов. Содержание окиси углерода CO (угарный газ) при любой нагрузке и выбросы углеводородов сокращаются в два раза, как и количество твердых частиц (дымность) в режиме максимальной нагрузки, а в режиме малой нагрузки дымность практически отсутствует. За счёт атомов кислорода в молекулах БДТ интенсифицируется процесс сгорания и обеспечивается высокая температура в цилиндре дизеля, что способствует повышению индикаторного и эффективного КПД двигателя, значительному уменьшению количество несгоревших углеводородов и сажи в отработанных газах [218, 219]. Исследования по замене ДТ его смесью с БДТ (1:1) показали существенное улучшение экологических характеристик двигателя. Выбросы сажи при нормальном режиме работы двигателя сократились на 30 – 35 %, оксидов углерода и углеводородов – на 10 – 15 % [220, 221, 222, 223, 224]. БДТ, попадая в окружающую среду, очень быстро поддается биологическому разложению. 1 л нефтяного топлива способен загрязнить 1 млн. л питьевой воды и привести к гибели водной флоры и фауны, тогда как БДТ подвергается практически полному биологическому распаду в течение 28 дней [225, 226, 227, 228].

БДТ более безопасно при транспортировке, хранении и использовании, поскольку обладает высокой температурой вспышки (более 120 °C) [204].

Высокое цетановое число БДТ (51 и более) способствует сокращению периода задержки воспламенения и менее «жесткой» работе дизеля, улучшает запуск двигателя [204, 229, 230, 231].

Ещё одно преимущество БДТ – высокие смазывающие свойства, что облегчает пуск двигателя, способствует продлению ресурса ТНВД и форсунок, деталей ЦПГ и топливной аппаратуры. Межремонтный срок эксплуатации двигателя, работающего на биодизельном топливе, увеличивается примерно на 50% [204, 229, 230, 232, 233, 234, 235].

Вместе с тем, БДТ обладает и рядом недостатков, осложняющих его использование в дизельных двигателях, в том числе, сельскохозяйственной техники. Большая плотность и вязкость способствует некоторому увеличению дальнобойности топливного факела и диаметра капель распыленного топлива, что может

привести к нарушению подачи топлива в камеру сгорания, вследствие чего, снизится эффективность сгорания и увеличится расход топлива [236].

Меньшее значение коэффициента сжимаемости БДТ приводит к увеличению действительного угла опережения впрыскивания топлива и максимального давления в форсунке. Для сохранения номинальных параметров двигателя при переводе на БДТ требуется перерегулировка топливной аппаратуры (упор рейки топливного насоса высокого давления переустанавливают на увеличение цикловой подачи топлива) [237].

Из-за меньшей доли углерода в молекуле теплотворная способность БДТ на 5 – 20 % меньше, чем у ДТ, что приводит к уменьшению его низшей теплоты сгорания на 13 – 15 % и некоторому увеличению часового и удельного эффективного расходов топлива. При его сгорании выделяется в среднем на 12 % меньше энергии [236, 238, 239]. Повышенное содержание атомов кислорода, позволяющее интенсифицировать процесс сгорания топлива, приводит к некоторому увеличению оксидов азота в отработавших газах [218, 219].

Меньшая окислительная стабильность БДТ вследствие содержания непредельных радикалов вызывает необходимость введения антиоксидантов, увеличивает стоимость биодизеля, снижает его чистоту и срок хранения [240].

Относительно высокая температура кристаллизации БДТ накладывает ограничения на температурный диапазон эксплуатации и хранения. Например, БДТ из арахисового масла, начинает кристаллизоваться уже при температуре 10 °С, следовательно, его использование при более низких температурах может привести к отрицательным последствиям для топливной системы из-за отложения восков и забивания фильтров и топливных трубопроводов [241].

БДТ более гидрофильно, чем нефтяное топливо, что связано с особенностями строения его молекул. Необходимо осуществлять контроль содержания воды в БДТ, чтобы избежать опасности развития микроорганизмов, образования перекисей и коррозионного воздействия воды, в том числе и на элементы топливной аппаратуры [242].

При исследовании воздействия БДТ на натуральные каучук и резину установлено, что изделия разбухают при контакте, поэтому необходимо либо предот-

вращать контакт топлива с этими материалами, либо изготавливать соответствующие детали уплотнений, шланги и рукава из материалов, хорошо совместимых с биодизельным топливом – тефлон, витон, фторированные пластики, нейлон [243, 244, 245].

В настоящее время в России чистое БДТ не получило широкого распространения, но в качестве эффективной добавки к традиционным топливам его использование актуально. Добавление до 7 % БДТ, рекомендованных нормативными документами, обеспечивает увеличение цетанового числа и улучшение смазывающих свойств обессеренного топлива. Вместе с тем использование БДТ в количествах, характерных для противоизносных или цетаноповышающих присадок или добавок (до 2 % об.), не обеспечит топливу заметного улучшения экологических характеристик. БДТ необходимо использовать все же в качестве компонента топлива (до 20 % об.), что обеспечит повышение цетанового числа и смазывающей способности даже глубокообессеренного топлива и заметное снижение содержания в выбросах вредных веществ, что чрезвычайно важно при выращивании продовольственной продукции. Добавление БДТ в таких количествах может существенно сказаться на физико-химических характеристиках смесевого ДТ и привести к утяжелению фракционного состава, увеличению вязкости и плотности, поэтому необходимо решить вопрос о том, как изменить физико-химические характеристики биодизельного топлива, чтобы они соответствовали требованиям нормативной документации.

Можно выделить два основных подхода к решению указанных проблем производства и применения биотоплива в сельскохозяйственной технике.

1) Минимизация недостатков эксплутационных характеристик современных видов БДТ за счет применения смесевых дизельных топлив с содержанием БДТ (до 20 %). В этом случае недостатки топливных характеристик биодизельного топлива не будут оказывать существенного влияния на топливную систему.

2) Получение БДТ с лучшими эксплуатационными характеристиками и меньшей себестоимостью. В этом случае технология получения (подготовка сырья, условия реакции, очистка биодизеля от примесей) существенно влияет на качество БДТ. Однако, известно, что именно жирнокислотный состав сырья, ис-

пользуемого для производства БДТ, оказывает определяющее влияние на его эксплуатационные характеристики. Стоимость биодизельного топлива в значительной степени определяется стоимостью исходного сырья.

В этой связи поиск дешевых сырьевых источников, характеризующихся оптимальным химическим составом, и разработка простых и экономичных технологий переработки являются актуальными задачами биоэнергетики.

1.5. Анализ существующих методологических подходов и технологических процессов переработки и утилизации отработанных нефтепродуктов

По мнению К.К. Папок важной самостоятельной группой свойств нефтепродуктов следует считать экологические (токсичность, канцерогенность, биоразлагаемость), проявляющиеся при контакте с окружающей средой в условиях их применения, хранения и транспортировки [79, 246, 247]. По статистике в мировом масштабе наибольшая доля загрязнения нефтепродуктами приходится на бытовые и промышленные отходы (рисунок 1.12) [248].

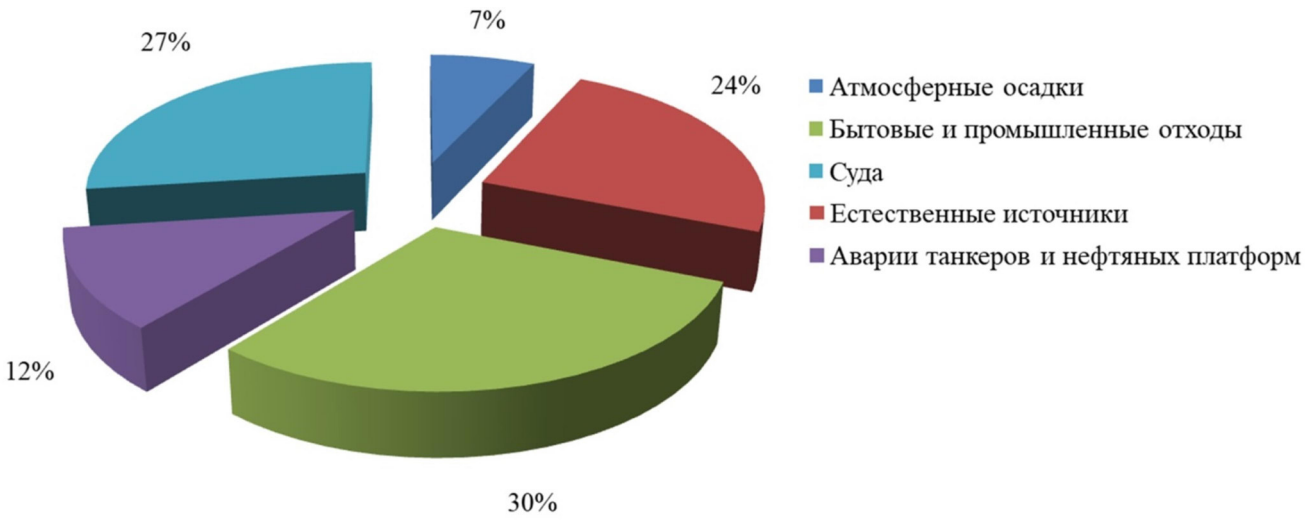


Рисунок 1.12 – Структура мирового загрязнения нефтепродуктами

Нефтесодержащие отходы и потери нефтепродуктов являются одними из основных загрязнителей окружающей среды. К потенциальным источникам таких отходов относятся отработанное масло двигателей и редукторов, масляные эмульсии, льяльные воды, осадок в резервуарах и т.д.

Эксплуатация нефтепродуктов ведет к накоплению экотоксикантов, которые образуются при окислении и термической деструкции СМ. ОМ существенно токсичнее свежих товарных продуктов из-за наличия ряда соединений, например, биологически активных полициклических аренов (ПА), органических производных галогенов, что затрудняет их утилизацию [79, 249].

Попадание масла или продуктов его разложения в окружающую среду в газовой или паровой фазе особенно характерно для моторных масел, функционирующих в широком диапазоне температур. Установлено, что выхлопы дизеля состоят, в основном, из сажи с адсорбированными углеводородными продуктами неполного сгорания топлива и компонентами сгоревшего масла. В частности, от 40 до 70 % полициклических соединений на твердых частицах выхлопных газов являются компонентами масел, 60 – 30 % – компонентами топлива или продуктами его сгорания. Ряд веществ не разлагается, оставаясь в биосфере долгие годы, а те, что подвергаются биоразложению могут превращаться в результате в CO_2, H_2O, NH_3, H_2S, фенолы [79].

Любая из форм серы, находящихся в нефтепродуктах оказывает токсическое воздействие на живые организмы. Применение газомоторного топлива способствует попаданию в моторное масло оксидов азота. Существенную экологическую опасность может представлять загрязнение работающих масел продуктами жизнедеятельности бактерий [249, 250].

Попадая в окружающую среду, нефтепродукты претерпевают целый ряд сложных трансформаций и миграций, многие из которых практически не изучены. По оценкам специалистов в России практически 80 % всех отработанных нефтепродуктов попадают в почву, а на вторичную переработку отправляются совсем незначительная их доля [251]. Загрязнение почвы нефтепродуктами затрудняет поступление влаги к растениям, приводит к резким нарушениям почвенного микробиоценоза, изменениям химического состава, свойств и структуры почвы. [252].

Большая часть моторных масел, производимая и потребляемая в нашей стране – это масла для дизельных двигателей грузовых автомобилей, сельскохозяйственной, строительной и военной техники, общественного и железнодорожного транспорта, флота. Около 108 тыс. тонн – 20 % от совокупного объема ди-

зельных масел используется в сельском хозяйстве (рисунок 1.13) [253].



а б

Рисунок 1.13 – Отраслевая структура (а) и объемы (б)
потребления дизельных масел в России

В США и странах ЕС около половины используемых масел теряется при эксплуатации, но остальные ОМ возвращаются в эксплуатацию после утилизации, причем около 60 % отходов перерабатывается для получения исходных нефтепродуктов (рисунок 1.14).



Рисунок 1.14 – Потребление и переработка отработанных масел
в некоторых странах мира

В США, Германии, Франции и ЮАР осуществляется раздельный сбор ОМ по маркам, облегчающий их дальнейшую переработку и сокращение количества отходов. Важную роль играет финансирование организации сбора отработанных смазочных материалов государством. К сожалению, в России система сбора и переработки нефтеотходов строго не регламентирована и не стимулирует владельцев техники к организованному и централизованному подходу к утилизации. Большая часть отработанных масел (50 – 70 %) уничтожается путем розлива или сжигания, а менее 40 % – ищут рынки сбыта данных отходов. Присадки, содержащиеся в маслах, удерживают загрязняющие вещества, поэтому при сжигании или разливе ОМ происходит загрязнение атмосферы тяжёлыми металлами, сажей, диоксидом серы и т.д. В связи с этим во многих странах ОМ сжигаются только после удаления из них экологически вредных веществ

Технологические процессы утилизации и переработки отработанных нефтепродуктов в настоящее время осуществляется в основном по трем направлениям [79, 80, 250, 254, 255]: 1 – регенерация отработанных масел собранных раздельно по маркам с получением соответствующих продуктов; 2 – вторичная переработка смесей с незначительными примесями синтетических масел и охлаждающих жидкостей в базовые масла; 3 – вовлечение в производство в виде низкокачественного топлива, в смеси с другими нефтяными топливами, переработанного с получением высококачественных топлив.

Различные процессы вторичной переработки отработанных нефтепродуктов можно условно разделить на группы по способу их очистки: сернокислотная, адсорбционная, экстракционная, гидроочистка, ультрафильтрация [79, 80, 250].

Перспективным процессом вторичной переработки отработанных масел считается *тонкопленочное испарение*, при котором ОМ очищается от загрязнений и продуктов деструкции присадок, методом перегонки – искусственно создаваемая аппаратом тонкая пленка сырья (масла) испаряется, а затем пары конденсируются [250, 256, 257, 258, 259]. Предложена технология *радиационной регенерации* любых смесей отработанных нефтепродуктов с выходом 90 – 95 % [250, 260].

Около 10 % от общего количества отработанных масел в России применяется для технических нужд без предварительной очистки – при металлообработке и

закалке изделий, в качестве масляной основы смазочно-охлаждающих жидкостей, консервационных и антикоррозионных средств, в строительстве для пропитки, смазывании ходовых частей землеройной техники.

Большинство промышленных технологий регенерации ОМ – это массовое или крупнотоннажное производство, с соответствующим стационарным оборудованием, расположенным на определенных производственных площадках, из-за чего они практически неприменимы в АПК. Более востребованы технологии, аппаратурное оформление которых представляет собой передвижные, компактные установки, которые могут быть легко развернуты в условиях даже небольших сельскохозяйственных предприятий.

В ГНУ ГОСНИТИ разработаны передвижные установки для очистки гидравлических и трансмиссионных масел – установки УГОМ и УМЦ-901А, мобильная станция для фильтрации гидравлического масла КИ-28286.50 [261].

А.П. Картошкиным предложен способ регенерации отработанных минеральных масел и установка для его осуществления с дополнительной ультразвуковой кавитационной обработкой для диспергирования асфальто-смолистых соединений с последующей фильтрацией для очистки от механических примесей и воды и нейтрализации кислотного масла [262, 263, 264, 265].

В ФГБНУ ВНИИТиН под руководством В.В. Острикова разработаны и прошли апробацию в сельскохозяйственных и промышленных предприятиях технологии и малогабаритное передвижное оборудование для очистки отработанных минеральных моторных, трансмиссионных, гидравлических, компрессорных, турбинных и др. масел. Их особенностью является использование дешевого и легкодоступного коагулирующего агента – карбамида, добавляемого в нагретое минеральное ОМ. После укрупнения и седиментации загрязнений регенерируемое масло доочищается на центрифугах [83, 84, 85, 86].

Регенерация отработанных масел, с экологической и экономической точек зрения, более интересна, чем их утилизация. В этом случае получаются компоненты базовых масел, цена которых в 2 – 3 раза ниже цены компонентов моторного топлива. Процессы регенерации или восстановление позволяют экономить весьма ценное нефтяное сырье для получения масел.

С ростом потребления синтетических масел и усилением мер по охране окружающей среды значение процессов очистки и регенерации отработанных продуктов в дальнейшем будет возрастать. Вместе с тем, специфика химического состава свежих и отработанных синтетических масел существенно влияет на методы их регенерации. До настоящего времени не предложено доступной универсальной технологии их очистки вследствие недостаточных исследований в этой области регенерации. Важной в этой связи является и проблема переработки сбора смесей отработанных синтетических и минеральных масел.

1.6. Выводы

1. Основные проблемы использования нефтепродуктов в АПК: ухудшение качества при транспортировке и хранении; неудовлетворительное техническое состояние и оснащенность нефтескладов и нефтебаз; отсутствие доступных портативных средств контроля качества и необходимых средств очистки топлив и масел, их ограниченные технические возможности по удалению загрязнений; традиционный дефицит сезонного топлива; необходимость замены импортных смазок, используемых в зарубежной сельскохозяйственной технике; сбор и утилизация отработанных масел и смазок. От 30 до 40 % нефтепродуктов, применяемых в сельскохозяйственном производстве в нашей стране, не соответствуют требованиям по тем или иным качественным показателям.

2. Существующие технологии и технические средства для обработки нефтепродуктов ограничены в основном загрязненностью и обводненностью и не позволяют в полной мере восстанавливать качество нефтепродуктов, забракованных по другим показателям. Доказанные зависимости между воздействием силовых полей различной природы (магнитного, электрического, акустического, механохимического воздействия) на нефть и нефтепродукты и их физико-химические свойства, применяются преимущественно к нефти и нефтепродуктам при производстве, но в сельском хозяйстве практически не используются.

3. Эксплуатационные характеристики нефтепродуктов определяются их физико-химическими свойствами, которые характеризуются определенным набором

взаимосвязанных показателей качества. В условиях сельскохозяйственных предприятий показатели могут значительно отличаться от требований нормативной документации, что сказываться на расходе нефтепродуктов, надежности и ресурсе деталей ЦПГ, топливной аппаратуры, эксплуатационных затратах.

4. Анализ изменения свойств работающего масла позволяет оценить техническое состояние узлов и механизмов, прогнозировать возможные неисправности, предотвращать отказы, сохранять оптимальные регулировки, сокращать простои машин из-за технических неисправностей. Для принятия адекватного решения о сроке смены масла и оценки его фактического состояния необходимо рассматривать совокупность диагностических параметров качества работающего моторного масла и ряда основных показателей работы двигателя – температуры масла, давления в системе, угар масла.

5. Использование нефтепродуктов с улучшенными экологическими характеристиками, продиктованными необходимостью снижения вредных выбросов с отработавшими газами – сажи, несгоревших и полициклических углеводородов, оксидов углерода и серы идр., особенно важно в сельском хозяйстве. Для получения современных топлив и смазочных материалов с высокими эксплуатационными свойствами требуется расширение ассортимента присадок и добавок отечественного производства. на основе возобновляемого сырья с хорошей смазывающей способностью, высоким цетановым числом, подвергающихся практически полному биологическому распаду, снижающих выбросы вредных веществ с отработавшими газами.

6. Эксплуатация нефтепродуктов ведет к накоплению экотоксикантов, которые образуются при окислении и термической деструкции смазочных материалов. В области промышленной регенерации и вторичной переработки отработанных масел в России и других странах СНГ преобладают устаревшие процессы и несовершенные технологии, не применимые в сельскохозяйственном производстве. Существует необходимость не только в организационных мерах по сбору и утилизации отходов нефтепродуктов, но и в создании новых технологий их переработки без сжигания с получением вторичных товарных продуктов различного назначения.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ МЕТОДОВ УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В АПК

2.1. Общая характеристика качества нефтепродуктов и его изменения со временем

Совокупность свойств нефтепродукта, обусловливающих его пригодность для использования по назначению называется качеством, уровень которого характеризует степень пригодности к использованию. Совокупность свойств нефтепродуктов, определяющих их качество, разделяют на три группы: физико-химические, эксплуатационные и технические [266, 267].

К физико-химическим относят свойства, характеризующие состав и состояние нефтепродуктов – плотность, вязкость, теплоемкость, теплопроводность, поверхностное натяжение, электрическую проводимость, диэлектрическую проницаемость, элементный, фракционный и групповой углеводородный составы и др.

Эксплуатационные свойства нефтепродукта характеризуют полезный эффект от использования по назначению и определяют область его применения. К ним относят только свойства, проявляющиеся при эксплуатации.

Технические свойства нефтепродуктов не связаны с их применением, а проявляются в процессах хранения и транспортирования. Это выделение несколько условно, так как технические свойства имеют и некоторое эксплуатационное значение, однако наиболее полно они проявляются именно в условиях транспортировки и хранения. Технические свойства можно разделить на две подгруппы.

Первая объединяет свойства, которые определяют сохранность качества нефтепродуктов в процессе их транспортирования и хранения: химическая и физическая стабильность, биологическая стойкость. Физическая стабильность включает склонность к потерям от испарения, к расслаиванию, гигроскопичность, загрязненность и т.п. Под химической стабильностью имеется в виду способность нефтепродукта сопротивляться окисляющему воздействию кислорода воздуха или химическому воздействию среды. Биологическая стойкость подразумевает реак-

цию на воздействия плесени, грибков и бактерий.

Вторую подгруппу составляют технические свойства, обеспечивающие безопасность транспортировки, хранения и применения: токсичность, пожароопасность и склонность к электризации.

Наиболее полное представление об эксплуатационных свойствах можно получить непосредственно при проведении, как правило, длительных и дорогих эксплуатационных испытаний, поэтому обычно для оценки применяются ускоренные квалификационные методы совместно с методами определения физико-химических свойств.

Как было сказано ранеее, основные показатели качества нефтепродуктов нормируются и их значения приведены в соответствующих нормативных документах (ГОСТ, ТУ). При выпуске на заводе нефтепродукты, как правило, соответствуют всем предъявляемым требованиям. Основные качественные и количественные потери происходят при транспортировке, сливно-наливных операциях и хранении нефтепродуктов.

Количественные потери происходят при негерметичности резервуаров, неисправности запорной арматуры, невыполнении технологических схем проведения операций и неисправности контрольно-измерительного оборудования.

Качественно-количественные потери, например, происходят при испарении нефтепродукта, когда часть его (обычно легкие углеводороды) теряется, что также снижает и качество. Так у бензинов из-за потерь легких фракций снижается октановое число и давление насыщенных паров, повышаются температуры начала и конца кипения различных фракций, что ухудшает пусковые качества топлива, увеличивает расход горючего и износ двигателя.

Качественные потери возникают в результате смешения, обводнения, загрязнения и окисления нефтепродутов. Использование некондиционного топлива приводит к снижению ресурса (межремонтного интервала), снижению мощности двигателя, увеличению часового и удельного расхода топлива. Следствием этого является увеличение затрат на восстановление ресурса и приобретение дополнительного топлива, так как использование некондиционных нефтепродуктов приводит к их перерасходу.

Если представить процесс обеспечения нефтепродуктами сельскохозяйственных товаропроизводителей в виде цепочки основных этапов движения нефтепродуктов, то состояние качества нефтепродукта на каждом шаге этапа можно представить соответствующем уровнем качества:

$$УК = \sum_{i=1}^{n} К_i, \qquad 2.1.1$$

где УК – текущее качество за *n* шагов; $К_i$ – изменение качества на шаге *i*.

На каждом шаге изменение качества нефтепродукта может идти по следующим вариантам.

1) *Естественное снижение качества*, при котором оно является некой функцией от времени выполнения этапа (τ), интенсивности внешних загрязняющих воздействий (И), свойство нефтепродукта сохранять качество (СК):

$$УК = f(\tau, И, СК). \qquad 2.1.2$$

Форма функции *f* определяется этапом, используемой технологией его выполнения, поэтому для каждого конкретного случая требуется её определение помощью экспериментальных исследований или по известным литературным источникам. Например, ухудшение качества топлива, обусловленное попаданием в него воды при его хранении, связано со временем хранения зависимостью:

$$УК_в = в \cdot e^{\varphi\tau^*}, \qquad 2.1.3$$

где $УК_в$ – удельное количество воды в топливе, г/т; *в* – коэффициент, учитывающий влагоемкость топлива, г/т·ч; φ – относительная влажность воздуха; τ^* – время контакта топлива с воздухом, ч.

2) *Снижение качества, обусловленное используемой технологией и соответствующими техническими средствами*, характеризуемое интенсивностью снижения качества нефтепродукта:

$$УК_{вых} = УК_{исх} - Т \cdot \Delta К, \qquad 2.1.4$$

где $УК_{вых}$ – выходное качество нефтепродукта; $УК_{исх}$ – исходное качество нефтепродукта; Т – время выполнения операции, ΔК – интенсивность изменения качества, которая может варьироваться от уровня естественного снижения качества до нуля в зависимости от принимаемых технических мер.

3) *Восстановление качества нефтепродукта*, при котором происходит переход от низкого качества к более высокому. Ввиду относительной малости времени перехода его можно считать скачкообразным, а качественный результат перехода определять как:

$$УК_{вых} = УК_{исх} \cdot B, \qquad 2.1.5$$

где B – коэффициент восстановления исходного качества.

В случае если качество нефтепродукта после восстановления не зависит от исходного качества $УК_{вых} = УК_{н}$, где $УК_{н}$ – качество нефтепродукта после восстановления.

В итоге для всего процесса обеспечения нефтепродуктами с учетом каждого отдельного этапа можно определить суммарные значения изменения качества УК, потерь нефтепродукта П и соответствующие затраты З на восстановление качества нефтепродукта.

С точки зрения термодинамики нефтепродукты относятся к открытым термодинамическим системам, в которых в результате энерго- и массообмена с окружающей средой происходят необратимые процессы, приводящие к изменению уровня качества нефтепродукта. Кроме того, так как нефтепродукты – сложная многофазная и многокомпонентная система, то химические вещества, входящие в их состав, обладают различным уровнем активности в соответствии с которым они могут изменяться (превращаться) с течением времени (рисунок 2.1).

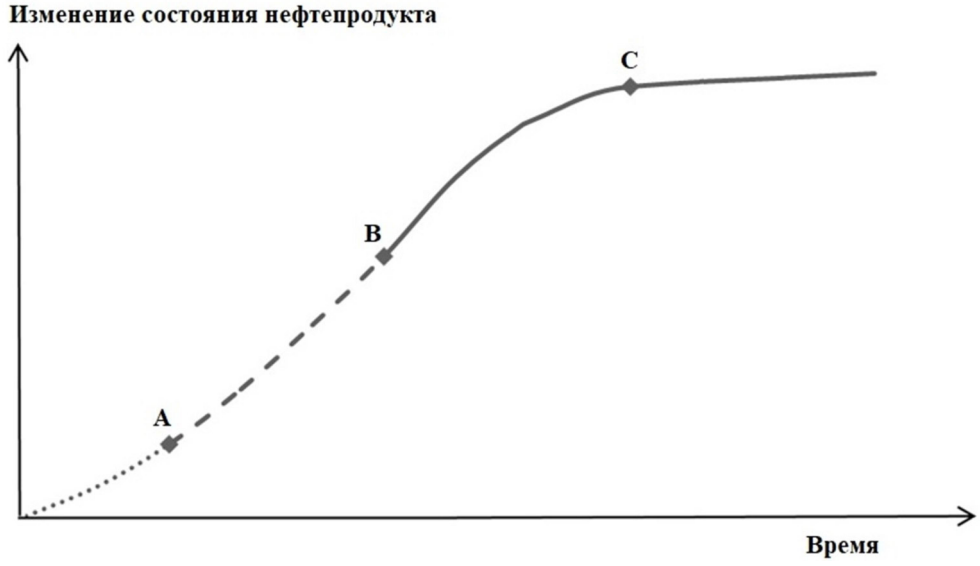


Рисунок 2.1 – Общий характер изменения состояния нефтепродукта во времени

Точка А соответствует началу активного процесса изменения состояния, В – завершению, а С – стабилизации системы (нефтепродукта) в новом равновесном (стационарном) состоянии.

Общее изменение состояния хранящегося нефтепродукта во времени характеризуется скоростью изменения (производства) энтропии $\frac{dS}{d\tau}$ при этом изменение энтропии происходит как за счет обмена с внешней средой (d_eS), так и за счет внутренних необратимых процессов (d_iS). Тогда общее изменение энтропии открытой системы:

$$dS = d_eS + d_iS, \qquad 2.1.6$$

при этом выполняется условие

$$\left|\frac{d_eS}{d\tau}\right| < \left|\frac{d_iS}{d\tau}\right| \geq 0. \qquad 2.1.7$$

В случае стационарного состояния производство энтропии внутри системы компенсируется её поступлением во внешнюю среду:

$$\left|\frac{d_eS}{d\tau}\right| = \left|\frac{d_iS}{d\tau}\right| \qquad 2.1.8$$

и общее изменение энтропии равно нулю.

Скорость изменения энтропии связана со скоростью химической реакции υ формулой

$$\frac{dS}{d\tau} = \frac{\upsilon A}{T} \approx \frac{d\xi\, A}{d\tau\, T}, \qquad 2.1.9$$

где A – сродство реакции, T – температура, τ – время, ξ – степень завершенности процесса (полнота). Допуская, что большинство протекающих в системе процессов описываются S-образной кривой (рисунок 2.1), можно предположить, что точкам А, В, С соответствуют свои значения ξ_A, ξ_B, ξ_C при аналогичном характере изменения ξ.

Рассматривая нефтепродукт как элемент конструкции техники и воспользовавшись положениями теории надежности можно допустить, что прогнозируемая работоспособность нефтепродукта (уровень качества – УК) по времени τ:

$$\text{УК}(\tau) \sim e^{-\frac{\text{Н}\cdot\text{УК}_{\text{пр}}}{\text{УК}_0}}, \qquad 2.1.10$$

где $\text{УК}_{\text{пр}}$ – предельно допустимое состояние качества НП, УК_0 – исходный уро-

вень качества НП, Н – напряженность работы нефтепродукта в технике.

Отождествляя ΔУК = $УК_0$ – $УК_{пр}$ с изменением энтропии ΔS можно утверждать, что предельная работоспособность нефтепродукта $\tau_{пр}$ обратно пропорциональна скорости протекающих в нем химических превращений υ. Действительно, храненящийся в резервуаре нефтепродукт представляет собой многофазную многокомпонентную систему, состоящую из паровоздушного пространства вверху резервуара, которое непосредственно контактирует с жидким нефтепродуктом, находящимся над слоем подтоварной воды и шлама на дне резервуара. В объемах фаз и на границах раздела постоянно происходят взаимосвязанные физико-химические процессы:

– коррозия металлических частей и стенок резервуаров вследствие конденсации влаги, насыщенной кислородом;

– окисление органических компонентов нефтепродуктов под действием кислорода и продуктов коррозии;

– стимулирование коррозии и изменения химического состава нефтепродуктов в присутствии микроорганизмов;

– испарение легких и накопление тяжелых фракций углеводородов, более склонных к полимеризации и осадкообразованию.

Рост интенсивноси всех этих процессов усиливает энтропию системы, приводит к качественным, количественным потерям и снижению товарных характеристик нефтепродуктов, ухудшению их эксплуатационных свойств.

2.2. Анализ процессов, протекающих при хранении моторного топлива

Основные количественные потери светлых нефтепродуктов происходят при их испарении, интенсивность которого зависит от давления насыщенных паров компонентов топлив, определяемых фракционным составом. Процесс испарения относится к фазовым переходам первого рода, который сопровождается поглощением теплоты с увеличением энтальпии ($dH > 0$) и энтропии ($dS > 0$). Переход совершается в направлении уменьшения термодинамического потенциала – энергии Гиббса ($dG < 0$) и определяется соотношением термодинамических потенциалов

фаз.

При хранении в топливах непрерывно протекают взаимосвязанные и взаимозависимые химические, электрохимические и микробиологические реакции, поэтому хранящееся в резервуаре топливо является системой с переменным числом частиц, для которой изменение энергии Гиббса определяется выражением:

$$dG = -SdT + VdP + \mu dN, \qquad 2.2.1$$

где μ – химический потенциал, N – число частиц.

Химический потенциал μ можно определить как термодинамическую функцию, определяющую состояние какого-либо компонента в фазе известного состава при определенных внешних воздействиях. Химический потенциал можно считать мерой изменения свободной энергии системы в зависимости от изменения массы данного компонента. Химический потенциал зависит как от концентрации данного компонента, так и от природы остальных компонентов фазы и их концентраций. Это очень важно при рассмотрении процессов, происходящих в топливах, т.к. и традиционные нефтяные моторные топлива, и альтернативные бензанолы и биодизельные топлива представляют собой смеси веществ различного строения и молекулярной массы.

Химический потенциал вещества, находящегося в жидкой фазе, для реальных растворов выражается уравнением:

$$\mu_{iж} = \mu^0_{iж} + RT \cdot ln a_{iж} = \mu^0_{iж} + RT \cdot ln \gamma_{iж} \cdot x_{iж}, \qquad 2.2.2$$

где $\mu^0_{iж}$ – химический потенциал *i-ого* компонента при стандартных условиях $a_{iж}$ – активность (термодинамическая концентрация *i*-го компонента), R – универсальная газовая постоянная; T – температура, $\gamma_{iж}$ – коэффициент активности, $x_{iж}$ – мольная доля *i*-го компонента [268, 269].

Давление паров над топливом в условиях хранения далеко от критического, поэтому газовую фазу системы топливо-пар можно рассматривать как смесь идеальных газов и химический потенциал i-го компонента в газовой фазе $\mu_{iг}$ можно выразить уравнением:

$$\mu_{iг} = \mu^0_{iг} + RT \cdot ln p_i, \qquad 2.2.3$$

где p_i – парциальное давление *i-ого* компонента.

Рассмотрим топливо как двухкомпонентную систему, состоящую из жидкой и газовой фаз, переход между которыми определяется разностью химических потенциалов, причем $\mu_{iж} > \mu_{iг}$. Тогда в системе самопроизвольно совершается переход i-го вещества в направлении уменьшения химического потенциала из жидкой фазы в газообразную.

По мере перехода i-го компонента из одной фазы в другую потенциал $\mu_{iж}$ уменьшается, а потенциал $\mu_{iг}$ возрастает и скорость перехода $\upsilon_{жг}$ компонента из жидкой фазы в газообразную уменьшается. Одновременно с этим скорость $\upsilon_{гж}$ обратного процесса возрастает. При достаточной длительности процесса достигается состояние равновесия между фазами, которое характеризуется термодинамическим условием:

$$\upsilon_{жг} = \upsilon_{гж} \qquad 2.2.4$$

и

$$\mu_{iж} = \mu_{iг}, \qquad 2.2.5$$

При этом равенство химических потенциалов не обязательно означает равенство концентраций компонентов в обеих фазах.

Согласно закону Рауля, химический потенциал *i*-го компонента в газовой фазе можно выразить через его мольную долю $x_{iж}$ в жидкой фазе:

$$\mu_{iг} = \mu^0_{iг} + RT \cdot lnP^0_i \cdot x_{iж} \qquad 2.2.6$$

где P^0_i – давление насыщенного пара над чистым *i-м* компонентом при температуре *T*, а

$$RTlnP^0_i = -\Delta G_{исп} \qquad 2.2.7$$

представляет собой изменение энергии Гиббса при конденсации чистого компонента *i*.

Из этих уравнений можно сделать вывод о том, что изменение мольной доли компонента в топливе в результате реакции окисления или уплотнения вызовет изменения его химического потенциала, а значит и сдвиг равновесия в системе на границе раздела фаз. Для того чтобы определить направление этого сдвига, топливо необходимо представить как трехкомпонентную систему пар-жидкость-твердая фаза, в которой кроме равновесия жидкость-пар существует и равновесие жидкость – твердая фаза.

Низкотемпературное окисление кислородом воздуха химически неустойчивых соединений, входящих в состав топлива, окислительная полимеризация и поликонденсация высокомолекулярных соединений вызывают образование полярных соединений, их коагуляцию и осаждение. Эти процессы влияют и на испаряемость топлива. По мере образования осадка часть компонентов удаляется из системы, соотношение высококипящих и низкокипящих компонентов меняется, что может привести к сдвигу равновесия жидкость-пар и изменению парциального давления паров топлива.

Увеличение мольной доли низкокипящих компонентов приводит к большему росту энтропии системы при неизменной скорости увеличения температуры кипения за счет увеличения энтальпии испарения $\Delta H_{\text{исп}}$:

$$\Delta S = \frac{\Delta H_{\text{исп}}}{\Delta T}. \qquad 2.2.8$$

Движущей силой процесса испарения [270, 271], является разность между концентрацией насыщенных паров нефтепродукта C_S и средней объёмной концентрацией C паров нефтепродукта в газовом пространстве резервуара. Концентрация насыщенных паров нефтепродукта непосредственно зависит от давления насыщенных паров нефтепродукта:

$$C_s = \frac{P_s}{P_{\text{г}}}, \qquad 2.2.9$$

где P_S – давление насыщенных паров нефтепродукта, $P_{\text{г}}$ – давление в газовом пространстве резервуара.

Согласно сказанному выше, движущая сила процесса испарения непосредственно зависит от изменения химических потенциалов соединений, входящих в состав топлив, а, значит и от интенсивности окислительных, полимеризационных и коагуляционных процессов, протекающих в топливе при хранении.

Для прогнозирования максимального количества загрязнений отдельных видов, способного попасть в топливо или образоваться в нем в процессе хранения, можно воспользоваться следующими формулами [272]**:**

$$m_1 = C_{\text{пс}} \cdot V_{\text{пт}} \cdot \frac{P_a - P_{\text{вк}}}{P_a}, \qquad 2.2.10$$

$$m_2 = C_{\text{пс}} \cdot \xi_{\text{о}} \cdot S_{\text{о}} \cdot \tau \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot \frac{\rho_{\text{см}} - \rho_{\text{в}}}{\rho_{\text{см}}}}, \qquad 2.2.11$$

$$m_3 = \frac{m_{км} \cdot M_{окс}}{A \cdot B}, \qquad 2.2.12$$

где m_1 – масса атмосферных загрязнений, способных попасть в резервуар при сливе топлива в результате «большого дыхания», $C_{пс}$ – средняя концентрация атмосферной пыли в воздухе, $V_{пт}$ – объем перекачиваемого топлива, P_a и $P_{вк}$ – атмосферное давление и давление открытия вакуумного клапана соответственно, m_2 – масса атмосферных загрязнений, способных попасть в топливо при возникновении газового сифона в результате вентиляции газового пространства резервуара, $\xi_о$ – коэффициент расхода отверстия, $S_о$ – площадь меньшего отверстия, τ – продолжительность вентиляции, h – наибольшее расстояние между отверстиями по вертикали, $\rho_{см}$ и $\rho_в$ – плотности паровоздушной смеси и воздуха, m_3 – масса контактных загрязнений, способных образоваться вследствие коррозии оборудования для хранения топлива, $m_{км}$ – масса прокорродировавшего металла, $M_{окс}$ – молекулярная масса окисла металла, A – атомная масса металла, B – валентность металла.

Наряду с твердыми загрязнениями в топливе также содержится значительное количество воды. При увеличении толщины слоя топлива скорость насыщения его атмосферной влагой уменьшается, а концентрация воды зависит от парциального давления паров воды $p_в$ и давления насыщенных паров воды $p_{нв}$:

$$C_{H_2O} = C_{max} \cdot \frac{p_в}{p_{нв}} = C_{max} \cdot \varphi, \qquad 2.2.13$$

где C_{max} – максимально возможное содержание воды в топливе, φ – относительная влажность воздуха.

Вместе с тем, в большинстве случаев количество и тип загрязнений, присутствующих в некондиционном топливе, реализуемом сельским товаропроизводителям, не поддается прогнозированию расчетными методами и осуществляется на основании экспериментальных исследований.

Таким образом, термодинамический анализ процессов, протекающих в топливе при хранении, показал, что процессы испарения, окисления и осадкообразования тесно связаны между собой и могут привести к изменению фракционного, химического и фазового состава топлив. Это, в свою очередь, приводит к ухудшению качества топлив в процессе хранения и увеличению его потерь от испарения. Долю низкокипящих компонентов в топливе можно снизить при введении в него

высококипящих компонентов, например, алкиловых эфиров высших алифатических кислот, имеющих более высокие молекулярные массы и, следовательно, температуры кипения, чем углеводороды нефтяного топлива. Это приведёт к уменьшению энтальпии испарения и соответственно меньшему росту энтропии системы, т.е. к снижению количественных потерь топлива при хранении.

2.3. Особенности процессов, протекающих в работающем моторном масле

Масло, работающее в двигателе, подвержено действию высокой температуры, окисляющей среды, внешних загрязнений и других факторов, в результате чего его состав и свойства непрерывно изменяются, происходит его старение (рисунок 2.2). Совокупность процессов старения дизельных масел, работающих в смазочных системах двигателей, условно делят на несколько основных интегрально оцениваемых процессов: окисление; испарение; термическое и термоокислительное разложение углеводородной основы масла; загрязнение продуктами сгорания и износа, пылью; расход присадок на нейтрализацию неорганических кислот; взаимодействия с продуктами окисления масла и топлива; обводнение масла в результате конденсации воды и газов, прорывающихся в картер; разжижения масла топливом из-за неисправностей топливного насоса высокого давления, форсунок, нарушения герметичности провода топлива или длительной работы в режиме холостого хода [46, 47, 48, 49, 180, 193, 273, 274].



Рисунок 2.2 – Изменение состояния моторного масла в процессе работы двигателя

С точки зрения термодинамики обобщенный процесс старения масла (изменение состояния масла как системы) также определяется производством энтропии. В случае неравновесных процессов термодинамическое равновесие можно рассматривать только в бесконечно малых частях системы, тогда для этого состояния можно записать уравнение Гиббса через энтропию:

$$TdS = dU + pdV - \Sigma\mu_i dN_i, \qquad 2.3.1$$

где T – абсолютная температура, U – внутренняя энергия, S – энтропия, p – давление, V – объем системы, μ_i – химический потенциал и N_i – количество i-ого компонента.

В первом приближении ограничимся тем, что основной вклад в производство энтропии в работающем (стареющем) масле вносят протекающие в нем термохимические процессы, приводящие к образованию кислых (N_K) и вязких (N_B) продуктов, а находящиеся в масле присадки или ПАВ ($N_П$) препятствуют протекающим превращениям, давление и объем при этом постоянны ($p,\ V = const$). В тоже время из внешней среды в масло попадают твердые частицы загрязнений (N_T), которые изменяют его внутреннюю энергию.

$$dU = \sigma r^2 dN_T, \qquad 2.3.2$$

где σ – поверхностная энергия на границе раздела фаз, r – средний радиус частицы. Тогда очевидно, что энтропия будет определяться соотношением количества вязких и кислых продуктов, противодействующих им ПАВ и присадок, количеством попадающих извне загрязнений, а также их химическими потенциалами:

$$TdS = \sigma r^2 dN_T - (\mu_K dN_K + \mu_B dN_B - \mu_П dN_П). \qquad 2.3.3$$

На практике это выражается в необходимости оценки содержания механических примесей, вязкости, щелочного и кислотного числа, диспергирующе-стабилизирующей способности масла для определения браковочного состояния которое можно охарактеризовать неравенством

$$\mu_K dN_K + \mu_B dN_B > \mu_П dN_П, \qquad 2.3.4$$

т.е. количество и химический потенциал продуцируемых кислых и вязких продуктов превысят количество и потенциал противодействующих им ПАВ и присадок масла, которые уже не смогут компенсировать их негативное действие. При

этом при отсутствии должной системы фильтрации твердых загрязнений, которая бы обеспечивала постоянное удаление попадающих в масло твердых частиц, *dU* также будет возрастать пропорционально количеству попадающих извне частиц загрязнений и увеличивать энтропию системы *dS*.

Интенсивность загрязнения масла зависит от мощности двигателя, режима его работы, степени его изношенности, качества применяемого масла и топлива. Под загрязненностью моторного масла в общем принято понимать суммарное количество органических (оксикислоты, асфальтены, карбены и карбоиды) и неорганических (продукты износа двигателя, вещества попадающие извне) загрязнений, при этом их соотношение не постоянно и изменяется в процессе работы двигателя. В первые часы работы содержание органических и неорганических примесей почти одинаково, однако уже через 100 ч работы количество органических загрязнений становится в 3 – 5 раз больше, а в дальнейшем, особенно при работе с дымным выхлопом, может превышать количество неорганических загрязнений в 10 – 15 и более раз [50, 51, 52, 53, 275].

Изменение содержания загрязнений в масле можно описать уравнением:

$$\frac{dx}{d\tau} = \upsilon_з - \frac{x}{V_д} \cdot g - \frac{x}{V_д} \cdot fQ, \qquad (2.3.5)$$

где x – количество загрязнения, τ – время, $\upsilon_з$ – скорость накопления загрязнения, $V_Д$ – количество масла в двигателе, g – скорость расходования смеси масла с загрязнением, f – коэффициент очистки масла фильтром, Q – пропускная способность фильтра. Тогда при $V_Д = const$ вследствие постоянного долива масла концентрация загрязнений $C_з$ определяется уравнением:

$$C_з = C_0 \cdot e^{-\frac{g+fQ}{V_д}\tau} + \frac{\upsilon_з}{g+fQ} \cdot (1 - e^{-\frac{g+fQ}{V_д}\tau}), \qquad (2.3.6)$$

где C_0 – начальная концентрация загрязнений [276].

Если с параметрами системы фильтрации обычно не возникает проблем, то с другими показателями есть некоторые сложности. Считая скорость расходования смеси масла с загрязнением количеством масла, расходуемого на угар можно получить скорость угара масла в некоторых видах двигателей (таблица 2.1)

Таблица 2.1 – Скорость расхода масла на угар для разных двигателей [84]

Марка двигателя	Расход масла на угар, кг/ч		
	номинальный	допустимый	предельный
ЯМЗ-240Б, -240М	0,250	0,630	0,880
ЯМЗ-238НБ, -238НД1, -238НД5, -238НД4	0,250	0,580	0,750
СМД-60, -62, Д-422-24ВН	0,175	0,350	0,450
СМД-72, Д-461-11, -461-13	0,180	0,360	0,460
СМД-18К, -20, -22, Д-422-24	0,184	0,370	0,470
А-01, -01М, -01МС4	0,200	0,490	0,640
Д-440-22, А-41, -41М, РМ-120	0,250	0,380	0,450
Д-245.5, -243, -240, -240Л, -245С2	0,160	0,250	0,360
Д-37Е, -37М, -130	0,080	0,160	0,200
Д-21, -21А, -120	0,040	0,110	0,150
ЛТЗ-55, -55АН	0,080	0,160	0,200

Нахождение скорости накопления загрязнений в двигателе осложняется имеющимися у них индивидуальными и конструкционными особенностями, а также различными условиями их работы. Поэтому ри оценке ожидаемого уровня загрязнения масла и для определения необходимой эффективности и грязеемкости фильтров скорость загрязнения масла нерастворимыми продуктами следует выбирать в пределах 0,006 – 0,015 для двухтактных и 0,010 – 0,030 для четырехтактных дизелей [52, 276].

При периодическом контроле загрязненности масла скорость накопления загрязняющих примесей $\upsilon_з$, кг/ч можно определять по формуле:

$$\upsilon_з = 0{,}01 \cdot \left[\frac{x_{i+1} - x_i}{\tau_{i+1} - \tau_i}\right] V_Д, \qquad (2.3.7)$$

где x_i – количество загрязнений, определенных при периодическом контроле, %; τ_i – время наработки на момент определения количества загрязняющих примесей, ч; $V_Д$ – количество масла в двигателе, кг [52, 53].

Таким образом, проводя периодический контроль количества загрязняющих примесей, возможно достаточно адекватное определение скорости образования загрязнений с учетом индивидуальных особенностей двигателя, а также режимов его работы, что отражается в свою очередь на точности прогнозирования времени достижения предельного состояния загрязненности.

По мере старения в масле накапливаются кислые продукты, которые образуются в процессе термохимических превращений. Они вступают во взаимодей-

ствие с щелочными присадками, содержащимися в масле, тем самым уменьшая их количество и качество масла. В наиболее общем случае скорость нейтрализации кислых продуктов пропорциональна изменению щелочности масла и скорость срабатывания присадки можно записать как [84, 277, 278]:

$$\frac{dC_{щ}}{d\tau} = -k_{щ} \cdot C_{щ} < 0, \quad (2.3.8)$$

где $k_{щ}$ – константа скорости реакции относительно всего количества масла в смазочной системе $V_Д$ (выражает расход присадки на 1 г масла в 1 ч), $C_{щ}$ – количество присадки.

При условии, что $C_{щ} > 0$, а $C_{щ0}$ – начальное значение количества присадок при $\tau = 0$, можно преобразовать уравнение (2.3.8) к виду:

$$C_{щ} = C_{щ0} \cdot e^{-k_{щ}\tau}. \quad (2.3.9)$$

Отсюда время срабатывания присадок без угара и долива:

$$\tau = \frac{1}{k_{щ}} \cdot ln \frac{C_{щ0}}{C_{щ}}. \quad (2.3.10)$$

В случае непрерывного угара и долива скорость срабатывания присадок можно представить в виде выражения:

$$\frac{dC_{щ}}{d\tau} = -\frac{k_{щ}C_{щ}}{V_{д}} - \frac{g_{у}C_{щ}}{V_{д}} + \frac{g_{дл}C_{щ0}}{V_{д}}, \quad (2.3.11)$$

где g_y и $g_{дл}$ – скорость угара и долива масла, кг/ч соответственно из которого после определенных преобразований [84] получим выражения для количества присадок и времени срабатывания присадок до предельного значения:

$$C_{щ} = C_{щ0} \cdot e^{-\frac{k_{щ}+g_{у}}{V_{д}}\tau} + \frac{g_{дл}C_{щ0}}{k_{щ}+g_{у}} \cdot \left(1 - e^{-\frac{k_{щ}+g_{у}}{V_{д}}\tau}\right), \quad (2.3.12)$$

$$\tau_{пр} = \frac{V_{д}}{k_{щ}+g_{у}} \cdot ln \frac{C_{щ0}k_{щ}}{C_{щ}^{min}(k_{щ}+g_{у}) - g_{дл}C_{щ0}}. \quad (2.3.13)$$

Выражение (2.3.13) справедливо при условии

$$C_{щ}^{min} > \frac{g_{дл}C_{щ0}}{k_{щ}+g_{у}}. \quad (2.3.14)$$

При $\tau \rightarrow \infty$ значение Cщ асимптотически стремиться к предельному минимальному значению Cщ^{min}, которое характеризует равновесное состояние, наступающее в работающем масле при угаре и доливе новых порций масла.

Вместе с тем, не все кислые продукты, образующиеся и попадающие в ра-

ботающее масло, нейтрализуются имеющимися щелочными присадками. Что подтверждается постепенным ростом кислотного числа наряду с уменьшением щелочного. После определенного момента скорость расходования щелочных присадок будет снижаться по мере уменьшения их концентрации и возрастать интенсивность накопления кислот.

По аналогии скорость изменения содержания кислых продуктов в работающем масле можно обозначить как сумму скорости поступления кислых продуктов и скорость их нейтрализации за счет реакции с щелочными присадками:

$$\frac{dC_{\text{к}}}{d\tau} = k_{\text{к}} \cdot C_{\text{к}} - k_{\text{щ}} \cdot C_{\text{щ}} \qquad (2.3.15)$$

где $k_{\text{к}}$ – константа скорости реакции относительно всего количества масла в смазочной системе $V_{\text{Д}}$, $C_{\text{к}}$ – количество кислых продуктов. При этом процесс накопления кислых продуктов $k_{\text{к}}$ можно разделить как минимум на три составляющие – появление кислых продуктов вследствие работы масла в двигателе, окисления масла и поступления с топливом, а константа скорости расходования щелочных присадок $k_{\text{щ}}$ учитывает содержание серы в топливе и уровень загрязненности масла [278, 279].

Вязкость углеводородов и их смесей играет важную роль в эксплуатационной практике. Она зависит от температуры и компонентного состава масла, который меняется в процессе эксплуатации. Работавшее масло с частицами загрязнений как дисперсная система по сути представляет собой суспензию. Частицы дисперсной фазы суспензии с размером менее 0,00001 см (0,1 мкм) участвуют в броуновском движении, следствием которого является диффузия, направленная противоположно седиментации, кроме того, на движение таких частиц сильно влияют конвекционные тепловые потоки. Связь между вязкостью суспензий и концентрацией дисперсной фазы установлена уравнением Эйнштейна:

$$\nu = \nu_0 \cdot (1 + \alpha\varphi) = \nu_0 \cdot \left(1 + \alpha \frac{V_{\text{дф}}}{V_{\text{д}}}\right), \qquad (2.3.16)$$

где ν_0 – вязкость дисперсионной среды, α – коэффициент, зависящий от формы частиц (для асимметричных частиц α > 2,5, для сферических частиц α = 2,5), φ – объемная концентрация дисперсной фазы [84, 280].

Это уравнение верно, если пренебречь взаимодействием частиц, частицы дисперсной фазы имеют шарообразную форму и их концентрация невелика. При увеличении концентрации дисперсной фазы вязкость увеличивается более резко, чем по уравнению Эйнштейна, что объясняется возрастанием сил межмолекулярного взаимодействия между элементами дисперсной фазы.

Кроме концентрации частиц в суспензии на вязкость существенное влияние оказывает их форма. Вязкость всегда больше, чем должна быть по уравнению Эйнштейна, при палочкообразной, эллипсоидной или пластинчатой форме частиц.

Объем дисперсной фазы можно представить как суммарный объем органических $V_{оп}$ и неорганических $V_{нп}$ примесей, присадок $V_{п}$ и воды $V_{в}$:

$$V_{дф} = V_{оп} + V_{нп} + V_{п} + V_{в}. \quad (2.3.17)$$

Следует отметить, что при исправных системах питания и охлаждения двигателя попадание дизельного топлива в моторное масло исключается, а присутствие воды не превышает нормативные показатели и её содержанием можно пренебречь ($V_{в} = 0$). Тогда вязкость моторного масла определяется по формуле:

$$\nu = \nu_{мо} \cdot \left(1 + \alpha \cdot \frac{V_{оп} + V_{нп} + V_{п}}{V_{д}}\right), \quad (2.3.18)$$

где $\nu_0 = \nu_{мо}$ – вязкость масляной основы без присадок и добавок [281].

Моторное масло в процессе работы способно не только «загущаться» но и «разжижаться», например, в случае попадания дизельного топлива при неисправной системе топливоподачи. Как было определено ранее [51] уравнение, характеризующее изменение вязкости товарного моторного масла М–10$Г_2$к в результате его разжижения дизельным топливом имеет вид:

$$\nu_i = AV_i^2 + BV_i + C, \quad (2.3.19)$$

где i = 0, 1, 2, 3, … 100; V_i – количество дизельного топлива, %; A, B, C – коэффициенты уравнения [51, 84, 277].

При граничных условиях когда моторное масло не разбавлено дизельным топливом (i = 0, $V_0 = 0$) и когда присутствует только одно топливо (i = 0, $V_{100} = 1$) уравнение 2.3.19 примет вид соответсвенно:

$$\nu_0 = C = \nu_{м}, \quad (2.3.20)$$

$$\nu_{100} = A + B + \nu_{м} = \nu_{дт}, \quad (2.3.21)$$

тогда приращение вязкости моторного масла при разбавлении дизельным топливом можно записать в виде:

$$\Delta\nu_i = -(\nu_м - \nu_i), \quad (2.3.22)$$

который при (i = 0, $V_0 = 0$), подстановке в него (2.3.19) и преобразования, примет вид:

$$-\Delta\nu_i = V_i\,(AV_i + B). \quad (2.3.23)$$

Коэффициенты A и B можно найти методом наименьших квадратов [84]:

$$B = \frac{\nu_м - \sum\nu_i + (\nu_{дт} - \nu_м)\cdot\sum V_i^2}{\sum(V_i^2 - V_i)}, \quad (2.3.24)$$

$$A = \nu_{дт} - \nu_м - B = \nu_{дт} - \nu_м - \frac{\nu_м - \sum\nu_i + (\nu_{дт} - \nu_м)\cdot\sum V_i^2}{\sum(V_i^2 - V_i)}. \quad (2.3.25)$$

Тогда уравнение вязкости (2.3.18) можно уточнить с учетом разжижения его дизельным топливом и различной формой частиц дисперсной фазы:

$$\nu = \nu_{мо}\cdot\left(1 + \alpha_{оп}\frac{V_{оп}}{V_д} + \alpha_{нп}\frac{V_{нп}}{V_д} + \alpha_п\frac{V_п}{V_д}\right) - \Delta\nu_i. \quad (2.3.26)$$

Общий объем дисперсной системы – работающего масла $V'_д$ можно представить как сумму $V_{дф}$, $V_{дс}$ и доливаемого масла $V_{до}$, за вычетом масла, расходуемого на угар $V_у$. При этом учтем, дисперсионная среда масел $V_{дс}$ состоит из масляной основы $V_{мо}$ и дизельного топлива $V_{дт}$ (в случае попадания его в масло), а объем доливаемого масла $V_{до}$ содержит масляную основу $V_{до\ мо}$ и присадки $V_{до\ п}$ (загрязнений и воды в товарном доливаемом масле быть не должно). Масло, расходуемое на угар, уносит с собой часть масляной основы $V_{у\ мо}$, дизельного топлива $V_{у\ дт}$, присадок $V_{у\ п}$, загрязнений $V_{у\ оп}$, $V_{у\ нп}$ и воды $V_{у\ в}$.

Тогда формулу (2.3.18) для вязкости моторного масла можно записать:

$$\nu = \nu_{мо}\cdot\left(1 + \alpha_{оп}\frac{V_{оп} - V_{у\ оп}}{V'_д} + \alpha_{нп}\frac{V_{нп} - V_{у\ нп}}{V'_д} + \alpha_п\frac{V_п + V_{до\ п} - V_{у\ п}}{V'_д}\right) - \Delta\nu_i, \quad (2.3.27)$$

где

$$V'_д = (V_{оп} + V_{нп} + V_п + V_{мо} + V_{дт} + V_{до\ п} + V_{до\ мо}) - (V_{у\ оп} + V_{у\ нп} + V_{у\ п} + V_{у\ мо} + V_{у\ дт}). \quad (2.3.28)$$

Из выражения (2.3.27) видно, что вязкость зависит от количества компонентов в масле (загрязнений, присадок, топлива), а их изменение может приводить как к ее увеличению, так и понижению.

Таким образом, в работающих моторных маслах одновременно проходит несколько процессов, влияющих на изменение их качества. Наряду с попаданием загрязняющих веществ в масло происходит окисление масляной основы с образованием кислых продуктов и срабатывание присадок масла, противоборствующих этим процессам. Поэтому для адекватной оценки качества работающих масел необходим контроль таких показателей как вязкость, количество загрязняющих примесей и воды, температура вспышки, щелочное и кислотное число.

2.4. Анализ изменения состояния дисперсной фазы нефтепродуктов в поле гравитационных сил и вследствие коагуляции

Рассмотрим процесс осаждения частиц дисперсной фазы под действием гравитационных сил в состоянии покоя с учетом некоторых ограничений – осаждение происходит с некоторой скоростью υ_{oc}; частицы имеют шарообразную форму с некоторым радиусом $r_ч$; на частицу действуют силы: тяжести F_T, выталкивающая (Архимедова) сила F_A, сила Стокса (сопротивления осаждению масляной среды) F_{CT} (рисунок 2.3).

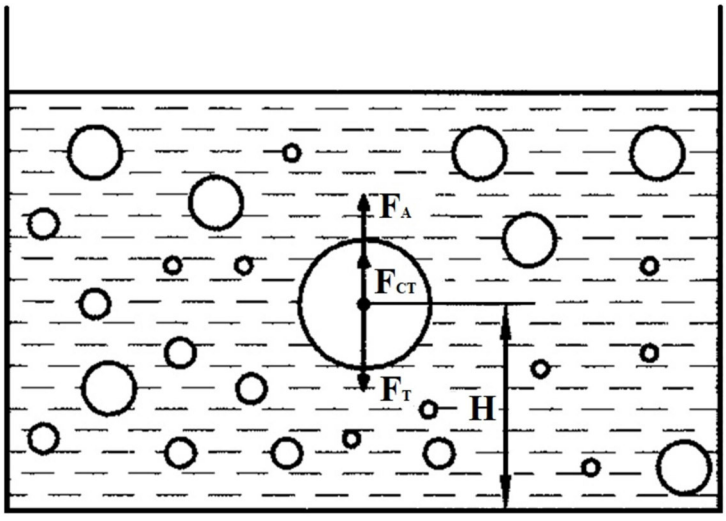


Рисунок 2.3 – Силы, действующие на частицы примесей в нефтепродукте

Процесс осаждения частицы в объеме нефтепродукта можно выразить неравенством [282, 283, 284, 285, 286, 287, 288, 289, 290, 291]:

$$F_T > F_A + F_{CT}, \qquad (2.4.1)$$

при этом:

$$\begin{cases} F_T = m_{\text{ч}} \cdot g = \frac{4}{3}\pi r_{\text{ч}}^3 \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot g; \\ F_A = V_{\text{ч}} \cdot \rho_{\text{нп}} \cdot g = \frac{4}{3}\pi r_{\text{ч}}^3 \cdot \rho_{\text{нп}} \cdot g; \\ F_{CT} = 6\pi r_{\text{ч}} \cdot \upsilon_{\text{ос}} \cdot \mu_{\text{нп}} = 6\pi r_{\text{ч}} \cdot \upsilon_{\text{ос}} \cdot \nu_{\text{нп}}\, \rho_{\text{нп}} \end{cases} \quad (2.4.2)$$

где $m_{\text{ч}}$ – масса частицы дисперсной фазы, кг; $r_{ч}$ – радиус частицы, мкм; $\upsilon_{ос}$ – скорость осаждения, м/с; $V_{\text{ч}}$ – объем частицы дисперсной фазы, м^3; g – ускорение свободного падения, м/с^2; $\mu_{\text{нп}}$ – динамическая вязкость нефтепродукта, кг/м·с; $\rho_{\text{ч}}$, $\rho_{\text{нп}}$ – плотность частицы и нефтепродукта соответственно, кг/м^3; $\nu_{\text{нп}}$ – кинематическая вязкость масляной основы, м^2/с.

Тогда подставив выражения 2.4.2 в неравенство 2.4.1 и преобразовав получим выражения для скорости осаждения и радиуса частиц:

$$\upsilon_{\text{ос}} < \frac{2 \cdot r_{\text{ч}}^2 \cdot g \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{нп}})}{9 \cdot \nu_{\text{нп}} \cdot \rho_{\text{нп}}}, \quad (2.4.3)$$

$$r_{\text{ч}} < 3 \cdot \sqrt{\frac{\upsilon_{\text{ос}} \cdot \nu_{\text{нп}} \cdot \rho_{\text{нп}}}{2 \cdot g \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{нп}})}}. \quad (2.4.4)$$

Откуда с учетом того, скорость осаждения $\upsilon_{ос}$ частицы из слоя нефтепродукта высотой H, м*:*

$$\upsilon_{\text{ос}} = \frac{H}{\tau_{\text{ос}}} \quad (2.4.5)$$

получим выражение для времени осаждения $\tau_{ос}$, справедливое при условии теплового баланса нефтепродукта с окружающей средой:

$$\tau_{\text{ос}} < \cdot \frac{H \cdot 9 \cdot \nu_{\text{нп}} \cdot \rho_{\text{нп}}}{2 \cdot r_{\text{ч}}^2 \cdot g \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{нп}})}. \quad (2.4.6)$$

Из представленных выражений видно, что на процесс осаждения помимо размера и количества частиц непосредственное влияние оказывает вязкость нефтепродукта, соотношение плотностей нефтепродукта и оседающих частиц. Эти величины зависят от температуры – с её повышением плотность и вязкость понижаются. Экспериментальным путем получены зависимости, хорошо применимые для нефти и нефтепродуктов [284, 292, 293, 294, 295]:

$$\nu = \nu_0 \cdot e^{-\kappa \Delta T}, \quad (2.4.7)$$

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 + \beta \Delta T}, \quad (2.4.8)$$

где ν, ν_0, ρ, ρ_0 – соответственно вязкости и плотности нефтепродукта при температурах T и T_0, $\Delta T = T - T_0$, κ, β – коэффициенты термовязкограммы (крутизны вискограммы) и объемного расширения соответственно, определяемые экспериментально для не очень большого интервала температур ΔT:

$$\kappa = \frac{\ln(\frac{\nu_1}{\nu_2})}{T_2 - T_1}, \tag{2.4.9}$$

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta T}. \tag{2.4.10}$$

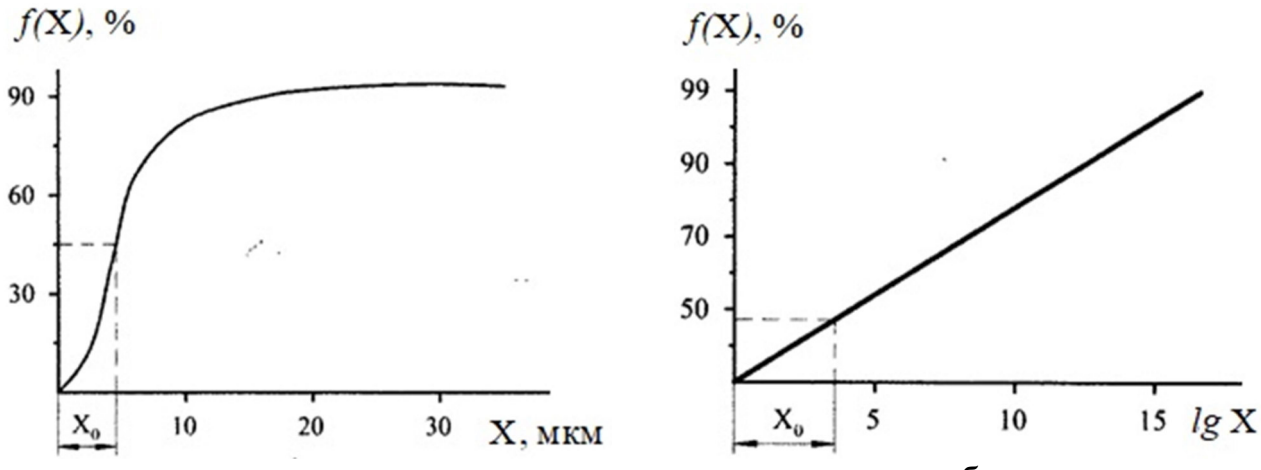
С учетом сказанного выше выражения 2.4.3, 2.4.4 и 2.4.6 примут вид:

$$\upsilon_{\text{ос}} < \frac{2 \cdot r_{\text{ч}}^2 \cdot g}{9 \cdot \nu_{\text{нп0}} \cdot e^{-\kappa \Delta T}} \cdot \left[\frac{\rho_{\text{ч0}}(1 + \beta_{\text{нп}} \Delta T)}{\rho_{\text{нп0}}(1 + \beta_{\text{ч}} \Delta T)} - 1\right], \tag{2.4.11}$$

$$r_{\text{ч}} < 3 \cdot \sqrt{\frac{\upsilon_{\text{ос}} \cdot \nu_{\text{нп0}} \cdot e^{-\kappa \Delta T}}{2 \cdot g} \cdot \left[\frac{\rho_{\text{нп0}}(1 + \beta_{\text{ч}} \Delta T)}{\rho_{\text{ч0}}(1 + \beta_{\text{нп}} \Delta T)} - 1\right]}, \tag{2.4.12}$$

$$\tau_{\text{ос}} < \frac{9 \cdot H \cdot \nu_{\text{нп0}} \cdot e^{-\kappa \Delta T} \cdot \rho_{\text{нп0}}}{2 \cdot r_{\text{ч}}^2 \cdot g \cdot (1 + \beta_{\text{нп}} \Delta T) \cdot \left[\frac{\rho_{\text{ч0}}(1 + \beta_{\text{нп}} \Delta T)}{\rho_{\text{нп0}}(1 + \beta_{\text{ч}} \Delta T)} - 1\right]}. \tag{2.4.13}$$

Исследованиями Лышко Г.П., Дехтерева В.А., Резникова В.А., Рыбакова К.В, Бутова Н.П., Коваленко В.П., Острикова В.В. и др. установлено, что размеры частиц загрязнений находятся в достаточно широком диапазоне и удовлетворительно аппроксимируются логарифмически - нормальным законом распределения, который определяется средним логарифмом размера $\lg X_0$ и среднеквадратичным отклонением логарифма размера частиц (рисунок 2.4) [67, 287, 288, 295, 296].



а б

Рисунок 2.4 – Зависимость содержания количества частиц от их размера в натуральных (а) и логарифмических (б) координатах

Таким образом, размер частиц дисперсной фазы может быть как значительно уменьшен за счет разработки специальных технических средств, уменьшающих дисперсный состав частиц и равномерно распределяющих их по всему объему дисперсионной среды, так и значительно увеличен при помощи специальных веществ – коагулянтов.

Все зависит от того, что представляют собой частицы дисперсной фазы и какую функцию они выполняют: если это загрязнения, то от них необходимо избавиться путем коагуляции и осаждения; если это присадки и добавки, то их необходимо наоборот равномерно распределить по всему объему дисперсионной среды не допуская выпадения в осадок.

Укрупнение частиц может идти двумя путями.

1. *Изотермическая перегонка* – увеличение крупных частиц за счет растворения мелких вследствие переноса вещества, обусловленного различием химических потенциалов. Этот процесс описывается уравнением Кельвина-Томсона [297]:

$$p = p_\infty \cdot e^{\frac{2\sigma V_м}{RTr_ч}} \approx p_\infty \cdot \left(1 + \frac{2\sigma V_м}{RTr_ч}\right), \qquad (2.4.14)$$

где p, p_∞ – растворимость микрочастиц и макрочастиц соответственно, σ – поверхностное натяжение, $V_м$ – молярный объем, R – универсальная газовая постоянная, T – температура, $r_ч$ – радиус частиц.

2. *Коагуляция* – потеря агрегативной устойчивости дисперсной системой, которая в более узком смысле подразумевает слипание частиц дисперсной фазы. Коагуляция протекает в термодинамически неустойчивых дисперсных системах, агрегативная устойчивость которых характеризуется скоростью коагуляции:

$$\upsilon_к = -\frac{dn}{d\tau} = -k_к n^2, \qquad (2.4.15)$$

где $k_к$ – постоянная скорости коагуляции; n – частичная концентрация (частиц/м^3).

Большой вклад в теорию коагуляционных процессов внесли М. Смолуховский, Г. Мюллер, Н. Фукс, Б. Дерягин, Л. Ландау, Э. Фервей, Дж. Овербек [297, 298, 298, 300, 301, 302].

Степень коагуляции α характеризуется отношением числа эффективных столкновений частиц $Z_э$ (т.е. столкновений, приводящих к коагуляции) к общему числу столкновений частиц Z в единицу времени:

$$\alpha = \frac{Z_э}{Z}. \quad (2.4.16)$$

Коллоидная система агрегативно устойчива и коагуляция не происходит при α = 0; если α = 1 каждое столкновение завершается слипанием частиц, происходит быстрая коагуляция. При 0 < α < 1 идет медленная коагуляция – не все столкновения частиц приводят к их объединению.

Константа скорости коагуляции выражается соотношением:

$$k = P8\pi RD \cdot e^{-\frac{E_к}{K_Б T}}, \quad (2.4.17)$$

где P – стерический множитель, учитывающий благоприятное расположение частиц при столкновении; $E_к$ – энергетический барьер коагуляции, Дж; R – расстояние между частицами при их наибольшем сближении (принято равным удвоенному среднему радиусу частиц), м; D – средний коэффициент диффузии, м^2/с; T – температура, К; $K_Б$ – константа Больцмана, Дж/К.

При медленной коагуляции $E_к \neq 0$, $P \neq 0$, тогда константа скорости коагуляции в соответствии с уравнением (2.4.17) равна

$$k_{мк} = \frac{8K_Б T}{3\eta} P \cdot e^{-\frac{E_к}{K_Б T}}, \quad (2.4.18)$$

где η – динамическая вязкость дисперсионной среды, Па·с.

Для практических исследований при разработке методов коагуляционной очистки нефтепродуктов основной интерес представляет быстрая коагуляция. Быстрой коагуляции отвечает условие $E_к = 0$ и $P = 1$, тогда константа скорости коагуляции в соответствии с уравнением (2.4.17) равна

$$k_{бк} = 8\pi RD = 16\pi r_{ср} \cdot \frac{K_Б T}{6\eta\pi r_{ср}} = \frac{8K_Б T}{3\eta}. \quad (2.4.19)$$

Как видно из выражения (2.4.19), константа скорости коагуляции зависит от значений температуры дисперсной среды и динамической вязкости. Преобразовав с учетом (2.4.19) выражение (2.4.15), Смолуховский получил формулу для определения концентрации частиц в момент времени τ:

$$n_\tau = \frac{n_0}{1 + n_0 k_{бк} \tau} = \frac{n_0}{1 + (\frac{\tau}{\theta})}, \quad (2.4.20)$$

где n_0 – концентрация частиц загрязнений в начальный момент времени; n_τ – концентрация частиц загрязнений в момент времени τ, θ – время половины коагуляции, т.е. время уменьшения агрегатов вдвое:

$$\theta = \frac{1}{n_0 k_{бк}}. \quad (2.4.21)$$

Тогда функция времени может быть записана как:

$$n(\theta) = \frac{n_0}{2}. \quad (2.4.22)$$

Допустив, что зависимость *n(τ)* имеет экспоненциальный характер, начальное количество агрегатов n_0, изменяется экспоненциально т.е.:

$$n(\theta) = Ae^{-\lambda\theta}, \quad (2.4.23)$$

где λ – параметр эффективности коагуляции, тогда при $\tau = 0$

$$n(0) = A = n_0, \quad (2.4.24)$$

и при $\tau = \theta$

$$n(\theta) = n_0 e^{-\lambda\theta} = \frac{n_0}{2}. \quad (2.4.25)$$

Откуда после преобразований получаем параметр эффективности коагуляции:

$$\lambda = \frac{ln2}{\theta}. \quad (2.4.26)$$

С учетом этого:

$$n(\tau) = n_0 e^{-ln2\frac{\tau}{\theta}} = n_0 2^{-\frac{\tau}{\theta}}. \quad (2.4.27)$$

Графически это можно представить как снижение количества агрегатов *n* от времени *τ*, кратном *θ* (рисунок 2.5).

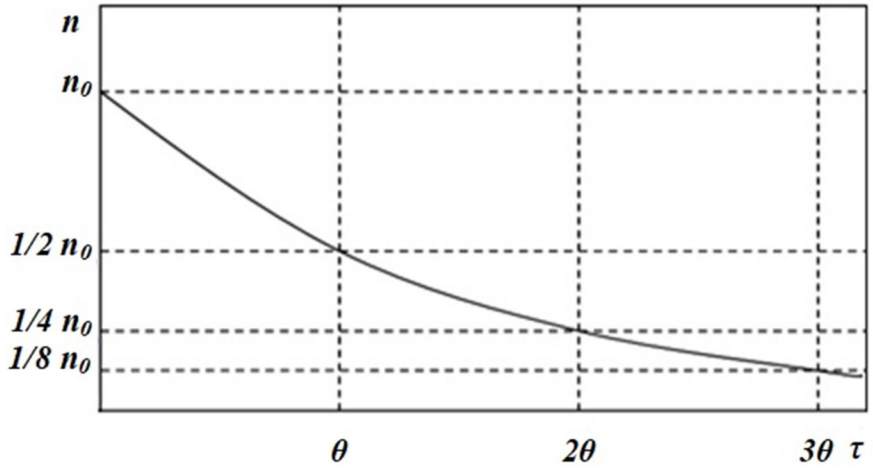


Рисунок 2.5 – Зависимость снижения количества агрегатов загрязнений (*n*) от времени (τ)

Как видно из приведенных выше соображений для кинетических закономерностей быстрой коагуляции большое значение имеют вязкостно-температурные характеристики нефтепродуктов, размеры и изменение во времени количественного содержания частиц загрязнений.

На агрегативную устойчивость реальных дисперсных систем оказывают влияние одновременно несколько факторов, которые принято разделять на термодинамические (электростатический, адсорбционно-сольватный, энтропийный) и кинетические (структурно-механический и гидродинамический). Особенно высокая устойчивость наблюдается при совокупности действия термодинамических и кинетических факторов, для её разрушения необходимо целенаправленно подействовать на эти факторы устойчивости.

Например, действие электромагнитного фактора значительно снижается при введении в систему электролитов, которые вызывают сжатие двойного электрического слоя и при этом снижается потенциальный электрический барьер отталкивания частиц, препятствующий их слипанию при столкновении.

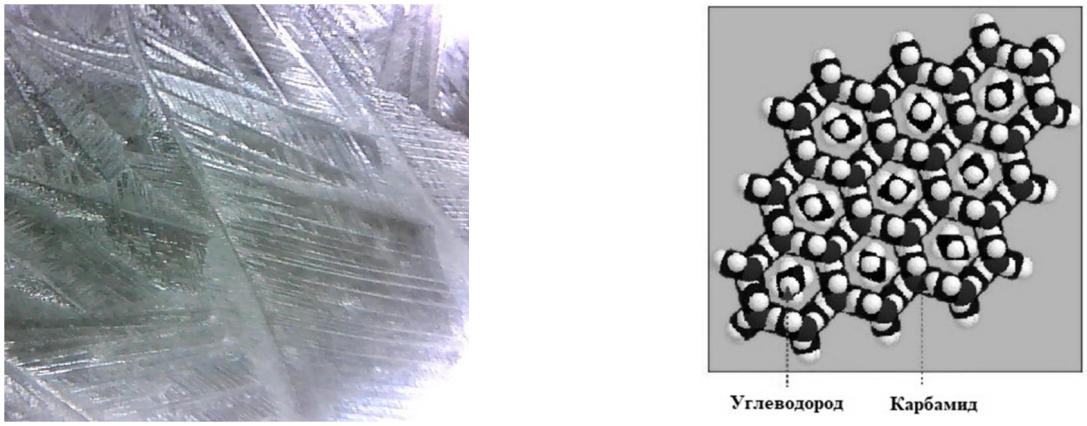
Сольватация при адсорбционно-сольватном факторе может быть исключена лиофобизацией частиц дисперсной фазы с помощью адсорбции соответствующих веществ.

Действие структурно-механического фактора можно уменьшить с помощью веществ, разжижающих и растворяющих другие структурированные слои на поверхностях частиц.

Например, для коагуляции частиц загрязнений в минеральных моторных маслах достаточно снизить действие электростатического фактора добавкой небольших количеств электролитов – карбамид, тиомочевина, сульфат аммония, диаммоний, гидрохинон, различного рода щелочи и кислоты. Особенно следует отметить карбамид, который может образовывать комплексы (аддукты) с линейными н-алканами и другими углеводородами, молекулы которых имеют достаточно длинный алкильный неразветвленный радикал (рисунок 2.6) [83, 84, 193, 303, 304]. Его кристаллы имеют тетрагональную кристаллическую решетку, которая при образовании комплекса изменяется на гексагональную. Полагают, что

этому способствуют действие Ван-дер-Ваальсовых либо дисперсионных сил, или сил, обусловленных индукционированным электростатическим напряжением. Так как частицы загрязнений имеют на своей поверхности присадку и вовлечены в процесс перегруппировки с образованием прочных связей (агент-присадка-частицы загрязнений), то достаточно сильные столкновения частиц с веществом агента и между собой при перемешивании могут привести к укрупнению частиц (дестабилизации дисперсной фазы) [305].

Процесс образования аддуктов происходит без изменения химических свойств продуктов взаимодействия, не за счет возникающих валентных связей, а представляет собой образования соединений включения, существующих только в твердом, кристаллическом состоянии. Такие соединения являются чисто пространственными образованиями, в которых одни молекулы оказываются включенными в пустоты (полости) других каркасных молекул или в пустоты кристаллических решеток других молекул (рисунок 2.6б) [84].



а б

Рисунок 2.6 – Внешний вид кристаллов карбамида (а)
и модель аддукта с углеводородом (б)

Для снижения вязкости среды и улучшения массообмена к раствору карбамида в нефтепродукте добавляют растворитель (изооктан, бензин, хлористый метилен), а для ускорения комплексообразования – активаторы (низкий алифатический спирт, кетон, хлорорганические соединения и т.п.) [306].

В отработанных синтетических моторных маслах многие электролиты, особенно в небольших количествах не эффективны. Для их очистки необходимо по-

добрать реагенты, действующие и на другие факторы устойчивости. Поэтому, помимо коагулянта в смесь дополнительно необходимо вводить активаторы, в качестве которых в первую очередь можно рассматривать различные спирты и растворители.

Таким образом, в качестве разделяющего агента для коагуляции предполагается использовать карбамид, а в случае высокой насыщенности отработанных масел диспергирующими присадками карбамид целесообразно активировать растворителями.

Далее для интенсификации процесса удаления скоагулировавших частиц дисперсной фазы могут использоваться традиционные средства очистки – фильтры, сепараторы, центрифуги. В литературе имеются рекомендации по выбору агрегатов очистки, например, в работе [84, 307] предлагается выбирать агрегат в зависимости от вязкости системы, разности плотностей фаз, температуры. Фракции частиц с условным размером более 5 мкм обычно удаляют центробежными очистителями. Для оценки эффективности работы центрифуги Соколовым В.И. предложено уравнение для минимальной частоты вращения ротора n_{min}, необходимой для удаления частиц определенного размера и плотности [84, 308]:

$$n_{min} = \frac{64}{\pi}\sqrt{\frac{\mu \cdot Q \cdot ln\frac{R}{R_0}}{\pi \cdot R^2 \cdot H_{\text{Р}} \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{дс}}) \cdot r_{\text{ч}}^2}}, \quad (2.4.28)$$

где R – радиус внутренней поверхности ротора (осадка); $R_{\text{о}}$ - радиус колонки ротора; Q – расход масла через ротор; $H_{\text{Р}}$ – высота ротора; r – радиус частиц загрязнений, $\rho_{\text{ч}}$, $\rho_{\text{дс}}$ – плотности частиц (дисперсной фазы) и дисперсионной среды соответственно, μ – динамическая вязкость системы.

Частицы меньше определенного (критического) размера не могут быть отделены центрифугированием. Кроме того, вследствие влияния диффузии высокодисперсные частицы, оседающие в жидкости под влиянием поля центробежных сил инерции, могут остаться во взвешенном состоянии, как бы ни была велика продолжительность воздействия силового поля на суспензию.

Г.И. Бремером предложена формула для определения критического размера частиц (предел центрифугирования) не обладающих силами адгезии [84, 309]:

$$d_{\text{кр}} = 1{,}73 \cdot \sqrt[4]{\frac{T \cdot K_{\text{Б}}}{(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{дс}}) \cdot r_{\text{ч}} \cdot \omega^2}}, \tag{2.4.29}$$

которая доработана В.А. Бербером с учетом сил адгезии, создающимися при введении в жидкость коагулянта и уменьшающими предел центрифугирования:

$$d_{\text{кр}} = \sqrt[4]{\frac{\frac{T \cdot K_{\text{Б}}}{1 + \frac{1}{30}\sqrt{\frac{A}{T \cdot K_{\text{Б}}}}} - \frac{0{,}12 \cdot A}{\left(1 + 0{,}22 \cdot \sqrt{\frac{A}{T \cdot K_{\text{Б}}}}\right)^3}}{0{,}153 \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{дс}}) \cdot r_{\text{ч}} \cdot \omega^2}}, \tag{2.4.30}$$

где A – константа Ван-дер-Ваальса, которая для большинства загрязнений технических масел составляет около 10^{-19} Дж, T – абсолютная температура жидкости; $K_{\text{Б}}$ – постоянная Больцмана, ω – угловая скорость вращения [84, 308].

Анализируя поведение частицы загрязнения в масле динамической системы «центрифуга – жидкое тело» Н.П. Бутов привел ряд выражений, позволяющих оценить в частности предельное значение угловой скорости ротора, при которых частицы удерживаются на внутренней боковой поверхности ротора за счет сил трения, порождающихся центробежными силами [295]:

$$\omega_{\text{р}} = \sqrt{\frac{6\pi \cdot U + \frac{4\mu \cdot r_{\text{ч}} \cdot Q}{R_1 \cdot (R_1^2 - R_2^2)}}{\frac{4}{3g}\pi \cdot r_{\text{ч}}^2 \cdot \rho_{\text{ч}} \cdot C_{\text{тр}}}}, \tag{2.4.31}$$

где U – скорость жидкости в роторе [295]:

$$U = \frac{2Q}{\pi \cdot (R_1^2 - R_2^2)}, \tag{2.4.32}$$

μ – динамическая вязкость жидкости; $r_{ч}$ – радиус частицы; Q – объемный расход (подача) жидкой фазы через центрифугу; R_1 – максимально возможное расстояние частицы на поверхности ротора от центра вращения (внутренний радиус ротора); R_2 – радиус начального расположения частицы в роторе; $\rho_{\text{ч}}$ – плотность частицы; $C_{\text{тр}}$ – коэффициент трения частиц по поверхности ротора, который будут меняться вследствие осаждения частиц загрязнений. При этом угловая скорость ротора $\omega_{\text{р}}$ связана с оборотами $n_{\text{р}}$ выражением:

$$n_{\text{р}} = \frac{30 \cdot \omega_{\text{р}}}{\pi}. \tag{2.4.33}$$

Время осаждения частицы загрязнений можно определить по формуле:

$$\tau_{\text{ос}} = \frac{18\mu}{4r_{\text{ч}}^2 \cdot (\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{дс}}) \cdot {\omega_{\text{ч}}}^2} \cdot ln\frac{r_2}{r_1}, \quad (2.4.34)$$

где r_1 и r_2 – радиусы вращения внутренней и наружной поверхностей слоя жидкости [310, 311**]**.

При вращении ротора жидкость с частицами загрязнения будет несколько отставать по угловой скорости вращения – $\omega_{\text{ж}} < \omega_{\text{р}}$ и [295]:

$$\omega_{\text{ч}} \approx \omega_{\text{ж}} = \frac{\omega_{\text{р}}}{2} + \frac{\omega_{\text{р}}}{2 - A_1}, \quad (2.4.35)$$

где A_1 – некоторая постоянная величина, зависящая от расхода жидкости в единицу времени; момента инерции жидкого тела в роторе; касательного напряжения на боковой поверхности ротора.

Анализируя приведенные зависимости можно отметить, что для процесса центрифугирования помимо конструкционных особенностей центрифуги важное значение имеют вязкость и плотность очищаемой жидкости и разница в плотностях жидкости и загрязнений, которые в свою очередь зависят от температуры. Кроме того, приведенные зависимости получены для определенных условий формирования осадка на стенке ротора и при допущениях о применимости молекулярно-кинетической теории. В реальных условиях, центробежному разделению в сложных системах может препятствовать сольватация, образование адсорбционных слоев ПАВ, расклинивающее давление и даже капиллярные силы при групповом сближении частиц. В зависимости от полного состава разделяемой смеси (с примесями, ПАВ, адсорбированными и диспергированными газами и пр), от конструкции центрифуги и условий разделения критический размер частиц могуд значительно отличаться от расчетных [84].

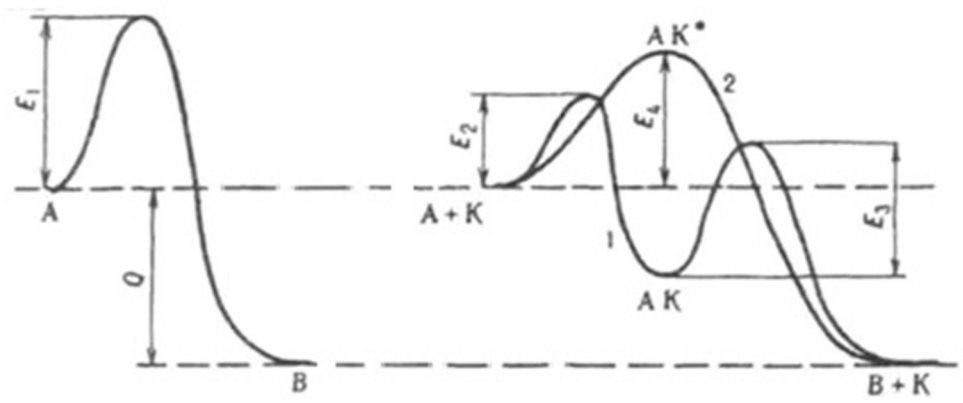
2.5. Механизм синтеза биодобавок к нефтепродуктам на основе возобновляемого сырья для повышения их эксплуатационных свойств

В настоящее время алкиловые эфиры получают путем переэтерификации или этерификации жиров растительного или животного происхождения. Протекание реакции можно инициировать самым простым способом – нагревом исходных

веществ, однако реакция только за счет нагрева протекает настолько медленно, что по соображениям экономичности для ее осуществления требуется использование катализатора [14, 35, 36, 37, 85, 86, 204, 209, 213, 215, 216, 217, 219, 223, 225, 227, 228, 229, 234, 237, 243, 312, 313, 314, 315, 316, 317].

С точки зрения термодинамики использование катализатора в реакционной системе не изменяет величины свободной энергии химического процесса, в котором одновременно действуют два противоположных фактора – энтропийный (ΔS) и энтальпийный (ΔH). Суммарный эффект этих факторов в квазистатических изобарических и изотермических процессах определяет изменение свободной энтальпии (потенциал Гиббса ΔG), показывающей что только часть теплоты может быть использована для совершения работы, а другая часть расходуется на увеличение энтропии, обуславливая потерю энергии.

Использование катализатора не изменяет величины стандартной свободной энергии химического процесса ΔG, поскольку химический состав катализатора не изменяется (рисунок 2.7).



а б

E_1, E_2, E_3, E_4 – потенциальные барьеры, разделяющие исходное и конечное состояния системы, *Q* – тепловой эффект реакции

Рисунок 2.7 – Энергетическая диаграмма реакции типа $A \rightarrow B$ без катализатора (а) и с катализатором (б) при стадийном (1) и ассоциативном (2) механизме катализа

Преимущество каталитических реакций заключается в интенсивности протекания процесса. Из закона Гесса следует, что катализаторы не влияют на термодинамические изменения, связанные с реакцией, меняется только скорость, с ко-

торой реагенты и продукты реакции превращаются друг в друга.

В настоящее время при промышленном производстве используется гомогенный катализ, который позволяет проводить реакции алкоголиза липидного сырья со спиртом в мягких условиях. Однако при этом предъявляются высокие требования к качеству исходного сырья по содержанию свободных жирных кислот и присутствию воды, что вызывает необходимость проведения дополнительных процессов, включающих рафинацию масла, нейтрализацию остаточного катализатора, промывку и удаление влаги из готового продукта, обуславливающих в конечном итоге увеличение общей стоимости производства.

Помимо состава жирового сырья важными показателями, определяющими технологию получения эфиров, являются тип используемого катализатора и спирта. Для переэтерификации одной молекулы триацилглицерина из стехиометрических соотношений необходимо три молекулы спирта, однако стехиометрические соотношения не обеспечивают высокого выхода реакции, поэтому спирт берется в избытке по отношению к триацилглицерину. Как привило, двукратный избыток спирта по отношению к стехиометрическому количеству (соотношение 1:6) в случае использования щелочных катализаторов обеспечивает степень конверсии до 93 %. В случае использования кислотного катализатора необходимо создание большего избытка спирта. Наибольшую степень конверсии при использовании кислотного катализатора можно получить при соотношении масло к спирту 1:30.

Химизм реакции переэтерификации в присутствии гомогенного основного катализатора основан на образовании алкоголята в результате взаимодействия спирта с основанием, который в свою очередь является катализатором переэтерификации.

Промежуточные стадии процесса переэтерификации в присутствии кислотного и щелочного катализатора различны, однако в обоих процессах имеет место нуклеофильная атака спиртом или алкоголятом соответственно карбонильной группы алифатической кислоты. При этом, так как алкоголят обладает более сильными нуклеофильными свойствами, чем спирт, скорость процесса переэтерификации в присутствии основного катализатора выше, чем в присутствии кис-

лотного катализатора.

В обобщенном виде система химических взаимодействий при метанолизе триацилглицеридов может быть записан в виде схемы, где щелочной агент первоначально взаимодействует с метанолом с образованием алкоголята:

$$[\text{Спирт}] + [\text{MeOH}] \xrightarrow{\upsilon_0} [\text{Алкоголят}] \tag{2.5.5}$$

$$[\text{ТАГ}] + [\text{Алкоголят}] \underset{\upsilon_2}{\overset{\upsilon_1}{\rightleftarrows}} [\text{ДАГ}] + [\text{Э}] + [\text{MeOH}] \tag{2.5.6}$$

$$[\text{ДАГ}] + [\text{Алкоголят}] \underset{\upsilon_4}{\overset{\upsilon_3}{\rightleftarrows}} [\text{МАГ}] + [\text{Э}] + [\text{MeOH}] \tag{2.5.7}$$

$$[\text{МАГ}] + [\text{Алкоголят}] \underset{\upsilon_6}{\overset{\upsilon_5}{\rightleftarrows}} [\text{Глицерин}] + [\text{Э}] + [\text{MeOH}] \tag{2.5.8}$$

где ТАГ – триацилглицерин; ДАГ – диацилглицерин; МАГ – моноацилглицерин; Э – эфиры высших алифатических кислот; MeOH – щелочной катализатор, υ_0, υ_1, υ_2, υ_3, υ_4, υ_5, υ_6 – скорости прямых и обратных реакций.

По данной схеме обратимые реакции всех трех стадий можно рассматривать как элементарные реакции, следующие второму или первому порядкам без учета влияния концентрации щелочного катализатора. Отсюда скорости изменения концентраций реагентов можно выразить в виде системы уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dC_{[\text{Спирт}]}}{d\tau} = -\upsilon_0 \\ \frac{dC_{[\text{MeOH}]}}{d\tau} = -\upsilon_0 + \upsilon_1 + \upsilon_3 + \upsilon_5 - \upsilon_2 - \upsilon_4 - \upsilon_6 \\ \frac{dC_{[\text{Алкоголят}]}}{d\tau} = \upsilon_0 - \upsilon_1 - \upsilon_3 - \upsilon_5 + \upsilon_2 + \upsilon_4 + \upsilon_6 \\ \frac{dC_{[\text{ТАГ}]}}{d\tau} = -\upsilon_1 + \upsilon_2 \\ \frac{dC_{[\text{ДАГ}]}}{d\tau} = \upsilon_1 - \upsilon_2 - \upsilon_3 + \upsilon_4 \\ \frac{dC_{[\text{МАГ}]}}{d\tau} = \upsilon_3 - \upsilon_4 - \upsilon_5 + \upsilon_6 \\ \frac{dC_{[\text{Глицерин}]}}{d\tau} = \upsilon_5 - \upsilon_6 \\ \frac{dC_{[\text{Э}]}}{d\tau} = \upsilon_1 - \upsilon_2 + \upsilon_3 - \upsilon_4 + \upsilon_5 - \upsilon_6 \end{cases}, \tag{2.5.9}$$

где скорости элементарных реакции могут быть представлены в виде (2.5.10),

$$\begin{cases} \upsilon_0 = k_0 \cdot C_{[\text{Спирт}]} \cdot C_{[\text{MeOH}]} \\ \upsilon_1 = k_1^* \cdot C_{[\text{ТАГ}]} \cdot C_{[\text{Алкоголят}]} \\ \upsilon_2 = k_2^* \cdot C_{[\text{ДАГ}]} \cdot C_{[\text{MeOH}]} \cdot C_{[\text{Э}]} \\ \upsilon_3 = k_3^* \cdot C_{[\text{ДАГ}]} \cdot C_{[\text{Алкоголят}]} \\ \upsilon_4 = k_4^* \cdot C_{[\text{МАГ}]} \cdot C_{[\text{MeOH}]} \cdot C_{[\text{Э}]} \\ \upsilon_5 = k_5^* \cdot C_{[\text{МАГ}]} \cdot C_{[\text{Алкоголят}]} \\ \upsilon_6 = k_6^* \cdot C_{[\text{Глицерин}]} \cdot C_{[\text{MeOH}]} \cdot C_{[\text{Э}]} \end{cases}, \quad (2.5.10)$$

а k_i^* – константа скорости i-ой реакции, $с^{-1}$.

На начальной стадии реакционная масса состоит из двух фаз (спиртовой и липидной) и представляет собой гетерогенную систему. Гетерогенные реакции протекают на границе раздела фаз или только в объёме одной из фаз в результате диффузии в неё компонента из другой фазы (рисунок 2.8).

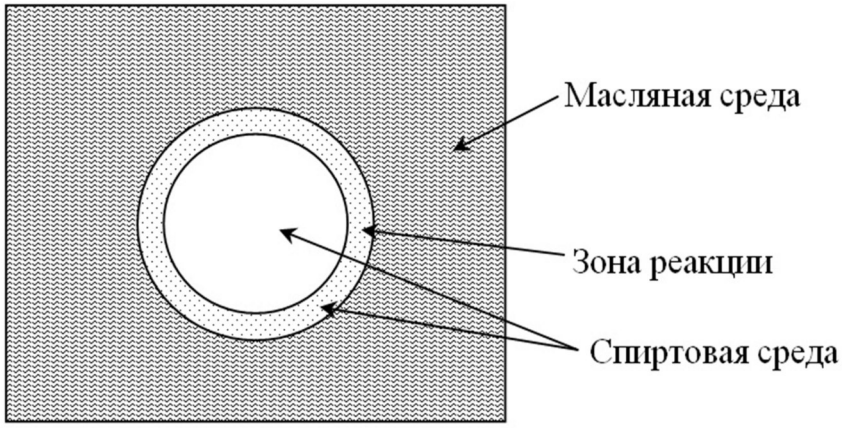


Рисунок 2.8 – Схема реакции в гетерогенной системе

Следовательно, кинетику процесса в начале реакции контролирует массопередача реагентов через диффузионный пограничный слой, тогда суммарный коэффициент скорости элементарного процесса можно представить как:

$$k_i^* = \frac{k_i \cdot \beta_i}{k_i + \beta_i} S, \quad (2.5.11)$$

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

К настоящему времени разработаны различные представления о механизме переноса вещества через границу раздела фаз: пленочная модель, модель пограничного диффузионного слоя, модель обновления поверхности (пенетрационная) [318].

При анализе массоотдачи в жидкой фазе наибольшее распространение получила распространение Пенетрационная модель, согласно которой вблизи поверхности раздела фаз идет постоянное обновление – за счет турбулентных пульсаций подводятся новые порции непрореагировавшей жидкости, а слой прореагировавшей – смывается. Согласно варианту этой модели от Р. Хигби, усредненный по времени коэффициент массоотдачи β для жидкой фазы определяется выражением [318, 320]:

$$\beta = 2\sqrt{\frac{D}{\pi \cdot \tau}}, \tag{2.5.12}$$

где D – коэффициант диффузии, а τ – время обновления поверхности контакта фаз. Однако на практике τ является трудноопределимой величиной, в силу чего формула (2.5.12) не может быть использована на практике.

П. Данквест в развитии модели обновления поверхности исходил из более широкого спектра времен контакта и усреднил изменяющиеся степени проницания. На основании этой модели коэффициент массоотдачи определяется выражением:

$$\beta = \sqrt{DS}, \tag{2.5.13}$$

где S – доля поверхности, на которой происходит замещение свежей жидкостью, отнесенная ко времени. Однако и в этой модели значения скорости обновления поверхности оставались неизвестными.

Теория обновления поверхности допускает, что решающую роль в массопереносе распределяемого вещества играет не общая поверхность контакта фаз, а вновь образованная поверхность. Следовательно, ускорение вихревого движения на границе раздела фаз системы «жиры-спирт», в которой сосредоточено основное сопротивление переносу массы реагентов реакции, неизбежно приведет и к интенсификации процесса массопередачи в локальной зоне. При определении механизма массопереноса через поверхность раздела фаз, считаем, 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 μ липидов по сравнению с вязкостью спирта.

Для определения скорости диссипации энергии G выделим элементарную кубическую ячейку объемом dV. Диссипацию энергии вихрей в объеме системы «жиры-спирт» при градиенте скорости $\frac{dW}{dx}$ представим в виде:

$$G = gdF\frac{dz}{\tau_c dV} = \mu\left(\frac{dW}{dx}\right)^2, \quad (2.5.14)$$

где dV – объем произвольно взятой элементарной кубической ячейки (м^3), составленной из ребер длиной dx, dy, dz (м); $\tau_c = \frac{dz}{dW}$ – время (с) перемещения (сдвига) противоположной грани куба на расстоянии dz при градиенте скорости $\frac{dW}{dx}$; $dF = dy \cdot dz$ – площадь боковой грани ячейки (м^2), $g = \mu\frac{dW}{dx}$ – касательное напряжение трения, Па.

Поскольку турбулентные вихри (размером d_B) вызывают пульсации скорости потока ΔW, то градиент скорости можно представить в виде

$$\frac{dW}{dx} = k_w\frac{\Delta W}{d_B}, \quad (2.5.15)$$

где k_w – коэффициент.

Время обновления гомогенных турбулентных вихрей у поверхности раздела фаз «жиры-спирт» выразим в виде:

$$\tau = k_\tau\frac{d_B}{\Delta W}, \quad (2.5.16)$$

где k_τ – коэффициент. Объединив выражения 2.5.14 – 2.5.16 и выразив из них τ, которое подставим в 2.5.12, получим теоретическое значение коэффициента массоотдачи:

$$\beta = 2\sqrt{\frac{D}{\pi k_\tau k_w}\sqrt{\frac{G}{\mu}}} = k\sqrt{D\sqrt{\frac{G}{\mu}}}, \quad (2.5.17)$$

где коэффициент k представлен в виде $k = \frac{2}{\sqrt{\pi k_\tau k_w}}$. Величина этого коэффициента обычно изменяется в пределах k = 0,2...0,56.

Спирто-масляная реакционная среда представляет собой классический случай дисперсной системы, поэтому значение площади поверхности раздела фаз S в формуле (2.5.11) может быть получено из уравнения поверхности контакта фаз полидисперной системы [321]:

$$S = \int_0^{r_{max}} 4\pi r^2 \, dz = 4\pi r_{max}^2 z\Psi, \tag{2.5.18}$$

$$\Psi = \int_0^1 \alpha^2 \phi(\alpha) \, d\alpha, \tag{2.5.19}$$

где z – число всех частиц в единице реакционного объема, r_{max} – максимально возможный радиус капли дисперсной фазы, $\alpha = r_i / r_{max}$ – относительный радиус капель, $\phi(\alpha)$ – функция распределения капель по радиусам (функция распределения Вейбула), которой отвечает плотность распределения (плотность вероятности) [321]:

$$\phi(\alpha) = \frac{n}{\alpha_x^n} \cdot \alpha^{n-1} \cdot e^{-\left(\frac{\alpha}{\alpha_x}\right)^n}. \tag{2.5.20}$$

Входящая в уравнение величина характерного радиуса капли α_x может быть определена как [321, 322]:

$$\alpha_x = \frac{\sqrt[3]{\frac{\varepsilon^2}{16\pi\sigma D'}}}{r_{max}}, \tag{2.5.21}$$

где ε – электрический заряд, определяемый параметрами внешнего электромагнитного поля, σ – поверхностное натяжение, D' – диэлектрическая постоянная.

Таким образом, процесс получения моноалкиловых эфиров на начальной стадии состоит из двух фаз и протекает не во всем объеме системы, а только в объеме одной из фаз (спиртовой) в результате диффузии в нее компонента из другой фазы. По мере накопления в объеме продуктов реакции контроль смещается в кинетическую область [323]. Для увеличения скорости реакции в кинетической области необходимо применять катализаторы и проводить синтез при оптимальных температуре и давлении. Увеличение скорости процесса в диффузионной области может быть достигнуто главным образом повышением турбулентности взаимодействующих фаз, в результате которого происходит уменьшение диффузионного сопротивления и непрерывное обновление межфазной поверхности. Увеличение межфазной поверхности достигается изменением гидродинамических условий процесса. Выход целевого продукта также зависит от наличия примесей в исходном сырье, типа спирта и катализатора.

2.6. Интенсификация процессов получения биодобавок, обработки и смешения нефтепродуктов импульсно-кавитационным воздействием

Если количественную характеристику интенсивности рассматриваемого процесса И выразить в виде отношения, связывающего количество перенесенного вещества (энергии) – M, кг (Дж) через единицу площади (объема) – S, м^2 (м^3) за единицу времени – τ, с, то из него следует, что для увеличения И при неизменных проходном сечении S и массы исходных веществ M нужно уменьшить время протекания процесса τ, поскольку при $\tau \to 0$ величина И $\to \infty$:

$$\text{И} = \frac{M}{S \cdot \tau}. \qquad (2.6.1)$$

К одним из перспективных направлений интенсификации химико-диффузионных процессов в жидкости можно отнести методы, основанные на комплексном использовании различных физико-химических эффектов, в основе которых заложено применение внутренних и внешних источников энергии: пульсации скорости и давления в жидкости при ее течении (турбулентность); разрыв сплошности жидкости под действием растягивающих напряжений, приводящих к образованию пузырьков, наполненных паром (кавитация); резкое изменение давления в жидкости, вызванное мгновенным изменением скорости течения (гидроудар); наложение полей различной природы (магнитных, электрических, акустических и т.п.).

Под действием механических колебаний в среде образуется акустическое (звуковое) поле. При распространении звуковых волн в жидкости возникает переменное звуковое давление, под действием которого жидкость попеременно испытывает сжатие и растяжение. Это в свою очередь порождает в жидкости кавитационные «пузырьки» – разрывы сплошности, заполненные «паром». Исходное состояние такого «пузырька» является сильно неравновесным, поскольку плотность образовавшегося «пара» на порядок превышает значение плотности, которую должен иметь пар. Согласно принципу Ле Шателье, неравновесность состояния будет стремиться уменьшиться – через увеличение объема. Увеличивающийся «пузырек», попадая в зону повышенного давления деформируется и в итоге схло-

пывается с возникновением ударной волны, которая сопровождается большими локальными перепадами температуры и давления [324, 325, 326, 327, 328].

В режиме развитой кавитации в обрабатываемой среде возникает ряд специфичных физических эффектов, представляющих практический интерес (рисунок 2.9), к которым относятся ударные волны, микроструйки жидкости, позволяющие изменять структуру и свойства веществ, а также возникающие акустические течения, способные за счёт перемешивания обрабатываемой среды повысить однородность ультразвуковой обработки [329].

Кавитация сопровождается преобразованием механической энергии, подводимой к жидкости, в энергию электрическую (искрообразование, ионизация), световую (люминесценция), тепловую (разогрев) и химическую (инициирование и ускорение химреакций) [330].



Рисунок 2.9 – Эффекты, возникающие при кавитации
и реализуемые на их основе технологические процессы

Известно, что кавитация может разрушать связи между отдельными частями молекул за счет временного разрыва Ван-дер-Ваальсовых связей, а при длительном интенсивном воздействии возможно нарушение С–Н и С–С связей, что приводит к изменению физико-химического состава (уменьшение молекулярного веса, температуры кристаллизации и др.) и свойств нефтепродуктов (вязкости, плотности, температуры вспышки и др.). В результате протекания этих процессов в системе накапливаются «активированные» частицы: радикалы, ионы [331].

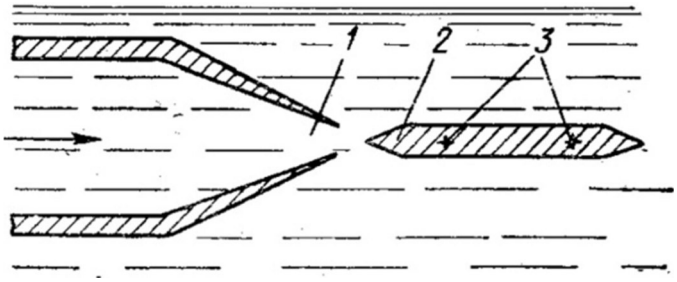
Перемешивание за счет кавитации обеспечит интенсификацию массопередачи, приводит к повышению энергии активации исходных соединений и увеличению скорости химической реакции. Использование кавитационных процессов дает возможность также улучшить характеристики не только сырья для получения биодобавок к минеральному топливу, но и других нефтепродуктов.

Классическим устройством для порождения кавитации в текущей жидкости является трубка, имеющая узкую горловину и расширяющуюся часть (диффузор). Как показали исследования, в гидросистеме, содержащей трубку, при определенных условиях, наблюдаются колебательные режимы. В напорном трубопроводе создается избыточное давление в потоке жидкости, которое обеспечивает перемещение жидкости через сужающиеся и расширяющиеся части системы. Увеличение скорости жидкости в узком сечении трубки вызывает падение местного статического давления. Постепенное увеличение расхода жидкости приводит к понижению давления до критического, равного или близкого к давлению насыщенных паров жидкости, и возникновению кавитации. Кавитация появляется в виде кольцеобразной кавитационной зоны, распространяющейся по мере развития вдоль и вглубь (к оси) потока. При увеличении скорости потока в узкой части трубки кавитационная зона увеличивается внутри потока, в районе максимальных скоростей и образовывает развитую кавитационную каверну [328, 329, 330, 332, 333, 334, 335, 336].

Получение кавитации возможно также путем передачи жидкости энергии колебательных процессов различных гидродинамических ультразвуковых излучателей с пластинчатыми резонансными колебательными устройствами в вихревых, струйных или роторно-пульсационных кавитационных аппаратах, в которых гидродинамическая кавитация ведет к генерации акустических, в том числе ультразвуковых, колебаний [330]. Особенность ультразвука состоит в том, что даже при сравнительно небольших амплитудах колебаний можно получить волны большой интенсивности, поскольку при данной амплитуде интенсивность примерно равна квадрату частоты. При малой амплитуде ультразвуковых волн в жидкости возникает процесс, называемый акустическим истечением, который способствует переносу

массы и перемешиванию жидкостей, а при большой – процесс кавитации [337].

Рассмотрим гидродинамические эффекты в гидравлической системе с кавитирующей трубкой, имеющей узкую горловину и расширяющуюся часть – диффузор и гидродинамическим излучателем – тонкой упругой пластиной (рисунок 2.10). При истечении жидкости из сопла 1 струя ударяется о пластинку 2, которая возбуждается и колеблется на одной из собственных частот в результате чего в жидкости создается акустическое поле [338].



1 – сопло; 2 – пластинка; 3 – узлы крепления пластинки

Рисунок 2.10 – Схема гидродинамического пластинчатого излучателя

Для описания механизма работы гидродинамических излучателей наиболее распространена вихревая теория. Известно, что при обтекании потоком тела несовершенной формы то с одной, то с другой стороны тела периодически срываются вихри, которые вызывают периодические импульсы давления, распространяющиеся со скоростью звука. Достигнув щели сопла, эти импульсы модулируют струю жидкости. При определенном расстоянии между соплом и пластинкой излучается звук с частотой:

$$f = u\frac{n}{H}, \qquad (2.6.2)$$

где u– скорость потока, м/с; n– число вихрей на участке сопло-пластинка; H – расстояние между соплом и пластинкой, м.

Вихревой характер возмущающей силы приводит к возбуждению пластинки не только на основной частоте, но и на гармониках, при этом срывается последовательно не каждый вихрь, а через один, два и т.д.

Исходя из вихревой теории, были получены зависимости для частоты f при разных соотношениях между H и шириной щели сопла – b [338]:

при 0 < Н < 5, u < 25 м/с $$f = 0{,}27\frac{u}{H} \quad (2.6.3)$$

при Н < 5,15b, $f_п H/u \geq 0{,}8$ $$f = 0{,}8n\frac{u}{H} \quad (2.6.4)$$

при Н ≥ 5,15 и $f_п H/u \geq 0{,}8$ $$f = 0{,}8n\frac{u}{b}\left[2{,}78\left(\frac{H}{5b}+0{,}41\right)^{1{,}5}+0{,}41\right]^{-1} \quad (2.6.5)$$

где b – ширина щели сопла; $f_п$ – частота собственных колебаний пластинки. Применяют пластинки разной конфигурации с различными способами крепления. Для пластинки с консольным или центральным креплением частоту собственных колебаний $f_п$ без учета влияния среды определяют по формуле:

$$f_п = 0{,}162\alpha \cdot \alpha' \cdot \mu \cdot \varphi \cdot \varepsilon \frac{Т}{Д^2}\sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (2.6.6)$$

где α и α' – коэффициенты, учитывающие заострение пластинки; μ – коэффициент, учитывающий влияние ширины; φ – коэффициент нежесткости крепления (зависит от соотношения ширины и длины пластины); ε – коэффициент, учитывающий влияние присоединенной массы жидкости; Т и Д – толщина и длина пластины; E – модуль упругости материала; ρ – плотность материала, из которого изготовлена пластинка [338].

Пульсации давления в жидкости, необходимые для возбуждения кавитации при работе всех видов гидродинамических излучателей, возникают за счет преобразования кинетической энергии потока в энергию акустических колебаний. Для возбуждения интенсивных колебаний необходимо совпадение частоты собственных колебаний кавитационной каверны и гидродинамического излучателя. При этом возникнет явление резонанса, интенсивно разрушающего большую кавитационную каверну на несколько малых каверн и создающего развитую межфазную поверхность. Это явление может привести к интенсификации схлопывания каверн и увеличению влияния кавитации на технологический процесс.

Как было сказано в предыдущем разделе, увеличение скорости процесса переэтерификации в диффузионной области может быть достигнуто повышением турбулентности взаимодействующих фаз, в результате которого происходит уменьшение диффузионного сопротивления и непрерывное обновление межфазной поверхности. Допустим, что для ускорения перемешивания в пограничном

слое наиболее эффективными являются акустические колебания, которые создают на границе раздела фаз своеобразные волны, способствующие перемешиванию жидкости в этой зоне за счет разрушения ламинарного пограничного слоя. При действии звукового давления акустических колебаний возникают своеобразные волны, и элементарные участки поверхности системы «жиры-спирт» будут совершать синусоидальные колебания в направлении *y,* тогда можно записать:

$$\rho\delta\frac{d^2y}{d\tau^2} = P_a sin(\omega\tau), \tag{2.6.7}$$

где ρ – плотность соответствующей фазы, кг/м^3; τ – время, с; P_a – максимальная амплитуда звукового давления, Па; ω – круговая частота акустических колебаний, рад/с; δ – толщина колеблющегося пограничного слоя, м [318]:

$$\delta = \sqrt{\frac{2\mu}{\rho\omega}}. \tag{2.6.8}$$

Общий интеграл уравнения (2.6.7):

$$y = -\frac{P_a}{\rho\delta\omega^2}sin(\omega\tau) + \frac{P_a}{\rho\delta\omega}\tau + C_1\tau + C_2. \tag{2.6.9}$$

В случае начальных условий $\frac{dy}{d\tau} = 0$ при $\tau = \frac{\pi}{2\omega}$; $y = 0$ при $\tau = 0$ частное решение имеет вид:

$$y = \frac{P_a}{\rho\delta\omega^2}\cdot sin(\omega\tau), \tag{2.6.10}$$

а с учетом (2.6.8) получим максимальное значение амплитуды колебаний:

$$y_{max} = \frac{P_a}{\sqrt{2\rho\mu\omega^3}}, \tag{2.6.11}$$

Для обеспечения требуемой интенсивности перемешивания в пограничном слое должно выполняться условие, когда максимальное значение амплитуды колебаний превышает толщину пограничного слоя, равную размеру вихря:

$$y_{max} \geq k_w\Delta W\sqrt{\frac{\mu}{G}}, \tag{2.6.12}$$

Для турбулизации пограничного слоя и создания равного по толщине сопротивления переносу массы вещества в объеме системы «жиры-спирт» нужно обработать ее акустическими волнами с некоторой частотой. Оптимальную частоту аккустических волн *f* для турбулизации пограничного слоя можно определить

из условия, при котором период акустических колебаний будет равен времени τ контакта вихрей:

$$f = \tau = \frac{1}{k_\tau k_w}\sqrt{\frac{G}{\mu}}, \tag{2.6.13}$$

тогда прирост коэффициента массоотдачи при акустическом воздействии на поверхность раздела фаз можно получить из формулы (2.5.17), в которой значение частоты обновления поверхности раздела фаз принято равным частоте акустических колебаний и прирост коэффициента массоотдачи пропорционален той доле *y/z* толщины пограничного слоя, которая обусловлена влиянием акустических колебаний на перемешивание в поверхностной пленке контакта фаз на глубину высоты волны при акустическом воздействии:

$$\Delta\beta = k_\text{т} \cdot \sqrt{D \cdot f} \cdot \frac{y}{z}. \tag{2.6.14}$$

Соответственно интегральный коэффициент массоотдачи при воздействии акустических колебаний β* примет вид:

$$\beta^* = \beta + \Delta\beta = \beta \cdot \left(1 + \frac{k_\text{т}}{k} \cdot \frac{y}{z} \cdot \sqrt{f \cdot \sqrt{\frac{\mu}{G}}}\right). \tag{2.6.15}$$

Поскольку основное сопротивление массопереносу сосредоточено в слое толщиной *z*, то увеличение интенсивности акустических колебаний для случая $y > z$ не приведет к дальнейшему существенному росту интегрального коэффициента массоотдачи, поэтому в уравнении (2.6.15) при $y > z$ принимаем $y = z$, т.е. дальнейшее увеличение мощности акустических колебаний нецелесообразно.

С увеличением скорости диссипации энергии для перемешивания жидкостей системы «жиры-спирт» влияние акустических колебаний на интенсификацию процесса массопереноса существенно ослабевает. С ростом частоты колебаний значительно возрастают энергетические затраты на создание акустических колебаний. С уменьшением *G* наблюдается возрастание роли акустических колебаний на увеличение скорости массопередачи.

Таким образом, для интенсификации массообменных процессов и структурных преобразований в обрабатываемой среде с целью изменения ее физико-химических параметров нужно разработать способ акустического воздействия на

компоненты системы «жиры-спирт» приводящий к образованию кавитационных пузырьков вблизи границы раздела фаз. Асимметричное разрушение кавитационных пузырьков нарушает границы раздела фаз, а столкновение исходных компонентов создает микроструи, приводящие к интенсивному перемешиванию системы вблизи границы раздела.

Кавитация может привести к локальному повышению температуры и, как следствие, ускорению реакции, а в некоторых случаях и к крекингу молекул путем изменения молекулярного состава продуктов (деструкция) за счет создания вихревых потоков с необходимой для этого энергией. При этом локальная плотность подводимой энергии, которая главным образом зависит от удельной акустической мощности, также не должна быть ниже определенного значения, чтобы обеспечить при ультразвуковой обработке разрыв связей в углеводородных молекулах. Энергии разрыва связей изменяются в углеводородах в широких пределах от ≈ 240 до ≈ 450 кДж/моль и пропорциональна её кратности. В алканах связи С–Н прочнее связей С–С. Площадь, занимаемая одной молекулой, очень мала (для жирных кислот – $2{,}1\cdot10^{-15}$ см^2). Молекулу жирных кислот можно рассматривать как образование, сильно вытянутое в длину, нечто вроде удлиненного эллипсоида или цилиндра.

Оценка энергетического вклада ультразвукового воздействия в процесс физико-химической обработки нефтепродуктов проведена в работе [339]. Предложено выражение для оценки механической мощности, затрачиваемой при обработке нефтепродукта:

$$N_{\text{м}} = \frac{q_o r^2}{2\alpha^2 N_{\text{А}} \eta \tau}, \qquad (2.6.16)$$

где q_o – энергия разрыва связи на 1 моль вещества, Дж/моль; r^2 – площадь излучающей пластинки, м^2; α – диаметр молекулы, м (для растительного масла рекомендуется принять равным $1{,}7\cdot10^{-9}$); τ – время обработки, с; η – коэффициент полезного действия, характеризующий степень превращения сообщенной акустической энергии в совершаемую механическую работу (рекомендуется принять равным 0,3), $N_{\text{А}}$– число Авогадро ($6{,}022\cdot10^{23}$ моль$^{-1}$).

Таким образом, в первом приближении, для интенсификации процесса переэтерификации нужно создать условия для улучшения растворимости компонентов системы «жиры-спирт» наряду с изменением площади их взаимодействия посредством создания высокой степени турбулентности в этой системе. Для этих целей целесообразно использовать акустические колебания, инициирующие кавитацию в обрабатываемой смеси.

2.7. Оценка влияния модифицированного моторного топлива на показатели работы дизельного двигателя и энергозатраты МТА

Из теории ДВС известно, что основные параметры двигателя связаны соотношением:

$$N_e = \frac{p_e \cdot i \cdot V_h \cdot n}{30 \cdot \tau}, \quad (2.7.1)$$

где N_e – эффективную мощность двигателя, i – количество цилиндров, V_h – рабочий объем цилиндра, τ – тактность двигателя, n – частота вращения коленчатого вала, p_e – среднее эффективное давление, которое можно определить по формуле:

$$p_e = \frac{1}{R} \cdot \frac{p_к}{T_к} \cdot \frac{H_u}{l_0} \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \eta_м \cdot \eta_v, \quad (2.7.2)$$

где R – газовая постоянная, $p_к$ и $T_к$ – давление и температура на впуске, H_u – низшая теплота сгорания топлива, l_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, α – коэффициент избытка воздуха, η_v – коэффициент наполнения, η_i и $\eta_м$ – индикаторный и механический КПД [340].

Низшая теплота сгорания применяемого топлива H_u ($Q_н$), МДж/кг учитывает потери связанные с образованием, нагревом и испарением воды и связана с высшей теплотой сгорания формулой:

$$Q_н = Q_в - 2{,}514 \cdot (9 \cdot H + W), \quad (2.7.3)$$

где H и W – содержание водорода и воды в топливе.

Высшую теплоту сгорания топлива $Q_в$, МДж/кг определяют в соответствии с элементным составом топлива по формуле Д.И. Менделеева:

$$Q_в = 33{,}913 \cdot C + 125{,}604 \cdot H - 10{,}886 \cdot (O - S), \quad (2.7.4)$$

где *C*, *H*, *O*, *S* – соответственно содержание углерода, водорода, кислорода (и азота), серы в топливе [341, 342].

Особенностью эфиров получаемых на основе возобновляемого сырья является присутствие в их составе достаточно большого количества кислорода –10 – 20 %, что способствует более эффективному сгоранию топлива и снижению вредных выбросов, однако уменьшает теплоту сгорания по сравнению с нефтяным топливом. Решающее значение здесь имеет жирнокислотный состав исходного сырья для получения сложных эфиров. [204, 343].

Теплота сгорания топливной смеси $Q_{СМ}$, кДж/кг рассчитывается по принципу аддитивности и равна сумме удельных теплот сгорания компонентов смесевого топлива Q_i, с учетом их массовых долей ω_i [344]:

$$Q_{СМ} = \Sigma\omega_i \cdot Q_i. \qquad (2.7.5)$$

Расчёт высшей теплоты сгорания сложных эфиров можно вести по формулам, предлагаемым в работах [345, 346, 347]:

$$Q_В = \sum[\omega_i\,(46{,}19 - 1794/M_i\ - 0{,}21 \cdot N_i)], \qquad (2.7.6)$$

$$Q_В = \sum[\omega_i\,(25{,}7 + 0{,}057 \cdot M_i\ - 3{,}16 \cdot N_i)]. \qquad (2.7.7)$$

Они учитывают число двойных связей в молекуле эфира N_i, его относительную молекулярную массу M_i, а также массовую долю данного сложного эфира в смеси ωi.

Таблица 2.2 – Расчётные значения высшей теплоты сгорания для метиловых эфиров на основе возобновляемого жирового сырья

Сырье для синтеза	жир птиц	жир с жироуловителя	масло крамбе	масло редьки	подсолнечное масло	рапсовое масло	кукурузное масло	масло рыжика	льняное масло
Значение $Q_В$ по формуле (2.7.6)	39,75	39,78	40,52	39,69	39,68	39,86	39,72	40,96	39,49
Значение $Q_В$ по формуле (2.7.7)	40,85	39,99	41,11	38,44	38,06	38,24	37,65	40,21	35,63

Анализ работоспособности формул (таблица 2.2) показал, что расчёт по формуле (2.7.7) более чувствителен к различиям в жирнокислотном составе. Высокие значения высшей теплоты сгорания получены для при использовании для синтеза твёрдых жиров с содержанием эфиров предельных кислот 66 и 45 % соответственно. Примерно такие же значения высшей теплоты сгорания наблюдаются

у образцов, для синтеза которых использованы масла крамбе и рыжика, которые содержат 62 и 41 % соответственно эруковой кислоты с высокой молекулярной массой и одной двойной связью. Для сравнения в метиловых эфирах, сырьём для которых служили растительные масла, содержание эфиров предельных кислот колеблется от 5 до 26 %.

Таким образом, теплота сгорания сложных эфиров и их смесей возрастает с ростом молекулярной массы и длинны углеводородной цепи у индивидуальных эфиров, а также зависит от числа двойных связей (степени непредельности) в молекуле.

Теоретически необходимое количество воздуха l_0, кг (L_0, кмоль) для сгорания 1 кг топлива определяется из выражения [340, 341]:

$$l_0 = L_0 \cdot M_{\text{в}} = \left[\frac{1}{0{,}208} \cdot \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32}\right)\right] \cdot 28{,}93. \qquad (2.7.8)$$

Здесь также применим принцип аддитивности, аналогично (2.7.5).

Коэффициент избытка воздуха α – отношение действительного количества воздуха к стехиометрическому – на практике находят по формуле:

$$\alpha = \frac{l}{l_0} = \frac{G_{\text{В}}}{G_T \cdot l_0}, \qquad (2.7.9)$$

где $G_{\text{В}}$ и G_T измеренные часовой расход воздуха и топлива на исследуемом режиме работы двигателя. При проектировании и расчетах дизельных двигателей с неразделенными камерами сгорания обычно принимают α ≥ 1,5 (номинальный режим), при разделенных – не ниже 1,3 [340, 348].

При α ≥ 1,0 происходит полное сгорание топлива продуктами которого являются CO_2, H_2O (пар), O_2, N_2, суммарное количество которых можно определить по выражению [340, 349]:

$$M_2 = M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{O_2} + M_{N_2} = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0{,}208 \cdot (\alpha - 1) \cdot L_0 + 0{,}792 \cdot \alpha \cdot L_0. \qquad (2.7.10)$$

При α < 1,0 происходит неполное сгорание топлива, в продуктах которого присутствует CO, а их количества можно определить по выражениям [340, 349]:

$$M_{CO_2} = \frac{C}{12} - 2 \cdot \frac{1 - \alpha}{1 + K} \cdot 0{,}208 \cdot L_0, \qquad (2.7.11)$$

$$M_{CO} = 2 \cdot \frac{1 - \alpha}{1 + K} \cdot 0{,}208 \cdot L_0, \qquad (2.7.12)$$

$$M_{H_2O} = \frac{H}{2} - 2 \cdot K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0{,}208 \cdot L_0, \quad (2.7.13)$$

$$M_{H_2} = 2 \cdot K \cdot \frac{1-\alpha}{1+K} \cdot 0{,}208 \cdot L_0, \quad (2.7.14)$$

$$M_{N_2} = 0{,}792 \cdot \alpha \cdot L_0, \quad (2.7.15)$$

где K – постоянная, приближенно выражающая отношение массовой доли водорода H к массовой доле углерода C в топливе:

$$K = 1{,}12\sqrt{\frac{H}{C}}. \quad (2.7.16)$$

Коэффициент наполнения η_v учитывает отклонение условий внутри цилиндра от условий на впуске:

$$\eta_v = \varphi_{\text{дз}} \cdot \frac{\varepsilon}{\varepsilon - 1} \cdot \frac{p_{\text{а}}}{p_{\text{к}}} \cdot \frac{T_{\text{к}}}{T_{\text{к}} + \Delta T + \varphi_{\text{дз}} \cdot \varphi_{\text{теп}} \cdot \gamma_{\text{г}} \cdot T_{\text{г}}}, \quad (2.7.17)$$

где ε – степень сжатия; $p_{\text{а}}$ – давление в конце такта впуска, ΔT – подогрев воздушного заряда, $\varphi_{\text{дз}}$ – коэффициент дозарядки, $\varphi_{\text{теп}}$ – коэффициент, учитывающий неравенство теплоемкостей воздушного заряда и отработавших газов; $\gamma_{\text{г}}$ – коэффициент остаточных газов; $T_{\text{г}}$ – температура остаточных газов. Для упрощения часто считают $\varphi_{\text{дз}} = \varphi_{\text{теп}} = 1$. Для двигателя без наддува параметры состояния заряда на впуске $p_{\text{к}}$ и $T_{\text{к}}$ принимаются равными давлению и температуре окружающей среды p_0 и T_0.

Значения η_v для дизелей без наддува лежат в диапазоне 0,80…0,90, с наддувом – 0,92…0,98 [348, 350, 351].

Индикаторный η_i и механический $\eta_м$ КПД могут быть выражены через среднее индикаторное давление P_i и среднее давление механических потерь $P_{\text{М}}$ [340, 349]:

$$\eta_i = \frac{R \cdot P_i \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot T_{\text{к}}}{P_{\text{к}} \cdot \eta_v \cdot Q_{\text{н}}}, \quad (2.7.18)$$

$$\eta_{\text{м}} = \frac{P_e}{P_i} = \frac{P_i - P_{\text{м}}}{P_i}. \quad (2.7.19)$$

Среднее индикаторное давление P_i определяется как произведение среднего индикаторного давления расчетного цикла $P_{i\text{р}}$ на коэффициент полноты диаграммы $\varphi_{\text{п}}$, который для дизелей составляет 0,92…0,95 [340]:

$$P_i = \varphi_{\text{п}} \cdot P_{i\text{p}} = \varphi_{\text{п}} \cdot \frac{p_{\text{c}} \cdot \varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \cdot \left[\lambda \cdot (\rho - 1) + \frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}}\right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}}\right)\right], \quad (2.7.20)$$

где n_1, n_2 – показатели политропы сжатия и расширения, ε – степень сжатия, δ – степень последующего расширения, ρ – степень предварительного расширения, λ – степень изохорного повышения давления.

Среднее давление механических потерь $P_{\text{м}}$ – часть среднего индикаторного давления, затрачиваемого на механические потери (трение) – определяют по эмпирическим зависимостям вида:

$$P_{\text{м}} = A + B \cdot \upsilon_{\text{п}} = A + B \cdot \left(\frac{S \cdot n}{30}\right), \quad (2.7.21)$$

где $\upsilon_{\text{п}}$ – средняя скорость поршня, S – ход поршня, n – частота вращения вала двигателя, A и B – коэффициенты, зависящие от особенностей двигателя (для дизелей 0,090 – 0,103 и 0,0118 – 0,0153 соответственно) [340].

Часовой и удельный эффективный расход топлива определяются по выражениям [340]:

$$G_T = \frac{N_e \cdot g_e}{1000}, \quad (2.7.22)$$

$$g_e = \frac{3600}{\eta_e \cdot Q_{\text{н}}} = \frac{3600 \cdot P_{\text{к}} \cdot \eta_v}{R \cdot P_i \cdot M_1 \cdot T_{\text{к}} \cdot \eta_{\text{м}}}, \quad (2.7.23)$$

где M_1 – количество свежего заряда (горючей смеси), кмоль/кг топлива. Для дизельных двигателей $M_1 = \alpha \cdot L_0$.

Как видим на удельный расход топлива оказывают влияние как теплота сгорания топлива (его состав), так и параметры внешней среды (поступающего воздуха для топливо-воздушной смеси) [352]:

$$g_{ex} = g_e \cdot \left[1 - \left(\frac{T_0}{T_{0x}} - 1\right) \cdot 0{,}22\right] \cdot \left[1 - \left(\frac{T_s}{T_{sx}} - 1\right) \cdot 0{,}11\right] \cdot \left[1 - \left(\frac{p_0}{p_{0x}} - 1\right) \cdot 0{,}09\right] \cdot \frac{Q_{\text{н}}}{Q_{\text{нx}}}, \quad (2.7.24)$$

где T_0, T_{0x}, p_0, $p_{0\text{x}}$ – соответственно стандартные и действительные температуры и барометрические давления, T_s, T_{sx}, – спецификационная и действительная температуры в ресивере, $Q_{\text{н}}$, $Q_{\text{нx}}$ — соответственно стандартная и действительная низшая удельная теплота сгорания топлива.

Полные (общие) удельные энергозатраты МТА также пропорциональны теплотворной способности применяемого топлива и его удельному расходу:

$$E_0 = \Theta \cdot Q_н = \frac{K_м \cdot g_e}{360 \cdot \eta_т} \cdot \left(1 + \frac{T_х \cdot G_{Tх} + T_о \cdot G_{Tо}}{T_р \cdot G_{Tр}}\right) \cdot Q_н, \quad (2.7.25)$$

где E_0 – общие удельные энергозатраты, МДж/га, $Q_н$ – низшая теплота сгорания применяемого топлива, МДж/кг, Θ – удельный расход топлива на гектар, кг/га, $K_м$ – удельное тяговое сопротивление сельскохозяйственной машины, кН/м, $\eta_т$ – тяговый КПД трактора, $T_х$, $T_о$, $T_р$, и $G_{Tх}$, $G_{Tо}$, $G_{Tр}$ – 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 [353, 354, 355, 356, 357].

Анализ имеющихся в лиретатуре экспериментальных данных, показателей работы двигателей, рассчитанных с использованием приведенных выше формул, программы «Дизель-РК», показал, что в большинстве случаев применение смесевого моторного топлива с добавлением растительных масел приводит к некоторому снижению мощности двигателя и увеличению расхода топлива, что снижает эффективность работы МТА, однако, даже небольшое количество кислородсодержащей добавки повышает смазывающие свойства и снижает количество вредных выбросов в отработавших газах. Применение продуктов переработки возобновляемого сырья, в частности метиловых эфиров растительных масел, приводит к значительному снижению выбросов оксидов азота и углерода, сажи при сохранении эффективных показателей работы двигателя [341, 358, 359, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376].

Кроме того, для более полной оценки теплотворной способности следует уточнить теплоты сгорания горючей и рабочей смесей [349]:

при $\alpha \geq 1{,}0$

$$Q_{РС} = \frac{Q_н}{M_1 \cdot (1 + \gamma_г)} = \frac{Q_н}{\alpha \cdot L_0 \cdot (1 + \gamma_г)}, \quad (2.7.26)$$

при $\alpha < 1{,}0$

$$Q_{РС} = \frac{Q_н - \Delta Q_н}{M_1 \cdot (1 + \gamma_г)} = \frac{Q_н - [119{,}95 \cdot (1 - \alpha) \cdot L_0]}{\alpha \cdot L_0 \cdot (1 + \gamma_г)}. \quad (2.7.27)$$

С учетом этого если, например, теплота сгорания смесевого (90 % РыжМ, 10 % Дт) и дизельного топлив отличается, на 12,3 % [377], то теплота сгорания их

рабочих смесей с учетом коэффициента избытка воздуха, количества свежего заряда и коэффициента остаточных газов будут отличаться только на 0,8 %.

Кроме того, имеются данные о том, что дополнительная обработка топливо-воздушной смеси может улучшить качество смесеобразования, что может повысить эффективность и полноту сгорания, а также снизить вредные выбросы. Например, ультразвуковая обработка топлива значимо не влияет на теплоту сгорания веществ, но может приводить к структурным изменениям в молекулах компонентов моторного топлива, повышать их взаимную растворимость и степень дисперсии, увеличить коэффициент избытка воздуха, тем самым изменяя условия смесеобразование и горения топлива [143, 375, 377, 379, 380, 381].

Таким образом, теоретический анализ показателей работы дизельного двигателя и энергозатрат машинно-тракторного агрегата при использовании смесевого топлива с возобновляемым компонентом (растительным маслом или его производными) указывает на некоторое снижение мощности и возрастание расхода моторного топлива, пропорциональное содержанию возобновляемого компонента. Вместе с тем, в зависимости от жирнокислотного состава и физико-химических показателей биодобавки эти отклонения могут быть как достаточно ощутимыми, так и незначительными – в пределах погрешности практических измерений. Основной причиной отклонений является различие в соотношениях углерода, водорода и кислорода в молекулах минерального дизельного топлива и биодобавки, и соответствующей разнице в теплоте сгорания чистого дизельного и смесевого топлив. Поэтому в первом приближении меньшее содержание биодобавки в смесевом топливе приближает характеристики работы двигателя к таковым для чистого минерального дизельного топлива. В то же время полнота сгорания и количество вредных веществ в отходящих выхлопных газах зависит и от условий и качества смесеобразования, поэтому их улучшение, например за счет ультразвукового диспергирования смесевого топлива, может повысить эффективность и теплоту сгорания в расчете на единицу массы топлива. Кроме того, как показывает практика, при возрастании содержания биодобавки значительно снижается содержание CO, CO_2, несгоревших углеводородов и дымность в выхлопных газах,

что в свете экологизации производства может являться решающим условием при переходе на смесевое топливо, а его лучшая смазывающая способность должна положительно сказаться на ресурсе топливной аппаратуры. Необходимо стремиться, чтобы при их использовании показатели работы ДВС и МТА как можно меньше отличались от таковых при работе на минеральном дизельном топливе без дополнительной настройки и доработки.

2.8. Аналитическая оценка изменения смазывающих свойств нефтепродуктов за счет введения пленкообразующих добавок

Рассматривая эксплуатацию сельскохозяйственной техники с точки зрения химмотологии, где нефтепродукты являются равноправными элементами химмотологической системы (раздел 1.3), следует подробнее остановиться на условиях работы ключевых узлов машин, так как они определяют как требования к эксплуатационным свойствам применяемых нефтепродуктов, так и процессы их изменения, характеризуемые показателями качества. Большое значение имеют триботехнические процессы, которые в них происходят. В механизмах сельскохозяйственной техники встречаются разные виды трения – сухое (между зубьями венца маховика и шестерни стартера), жидкостное (в коренных и шатунных подшипниках при работающем двигателе), граничное (в вариаторах и зубчатых передачах, топливо, находящееся в зазоре между плунжером и втулкой).

В присутствии смазочной среды работоспособность узлов трения определяется видом смазки: гидродинамическим, эласто-гидродинамическим, граничным или смешанным, из которых наиболее неблагоприятным и опасным для нагруженных узлов трения является граничная смазка [283, 382].

Известно, что если трущиеся поверхности полностью разделены пленкой масла, то трение между металлами заменяется трением между частицами масла – обеспечивается жидкостное трение [382, 383]. Для этого минимальная толщина смазочной пленки должно быть больше, чем суммарная высота микровыступов, имеющихся на поверхности трения.

Относительная толщина смазочного слоя h^* определяет вид трения в трибосистеме:

$$h^* = \frac{h}{(R_1 + R_2)}, \quad (2.8.1)$$

где h – толщина смазочного слоя, R_1 и R_2 – средние отклонения от центральной линии неровностей поверхностей трибосопряжения (шероховатость поверхности) [283, 384].

Гидродинамический режим смазки реализуется в случае $5 \leq h^* \leq 100$. Если $1 \leq h^* \leq 10$ то трение происходит при эласто-гидродинамической смазке. При работе узла трения в гидродинамическом режиме смазки главной характеристикой смазочного материала, определяющей его противоизносные свойства, является вязкость (а также плотность). Надежность масляного слоя (пленки) увеличивается с повышением вязкости масла. Однако при этом увеличиваются затраты энергии на преодоление внутреннего трения. Химическая природа не оказывает заметного влияния на указанные свойства [385]. Согласно гидродинамической теории трения Н.И. Петрова коэффициент жидкостного трения $f_{\text{ТР}}$ определяется формулой [386]:

$$f_{\text{тр}} = \frac{\eta \cdot \upsilon}{h \cdot P}, \quad (2.8.2)$$

где η – динамическая вязкость смазочного материала, υ – относительная скорость перемещения трущихся поверхностей; h – толщина смазочного слоя, P – удельная нагрузка.

Вязкостные свойства можно корректировать вязкостными добавками (присадками), загущающая способность которых зависит от их молекулярной массы, а также от природы масла [212]:

$$lg\, \nu = lg\, \nu_0 + kc, \quad (2.8.3)$$

где ν и ν_0 – вязкость загущенного и исходного масел; k– коэффициент загущающей способности добавки; c – содержание добавки.

При $h^* \leq 5$ можно говорить о смешанном режиме смазки, а при $h^* \leq 1$ – граничной. Смешанный (полужидкостный) режим трения возникает, когда между поверхностями трения наблюдается разрушение масляного слоя, происходит кон-

такт микронеровностей. Многие сборочные единицы, работающие в установившемся режиме при жидкостном трении, имеют смешанное трение в период пуска, прогрева и остановки.

Поверхности многих механизмов периодически работают в режиме граничной смазки. Коэффициент трения в этом случае ниже сухого, но выше жидкостного. В этих условиях работоспособность узлов трения определяется способностью граничных смазочных слоев разделять поверхности трения, предотвращая непосредственный металлический контакт, повышенный износ. В этом случае свойства граничной пленки становятся отличными от объемных свойств и коэффициент трения будут зависеть уже не от вязкости смазки, а от наличия в ней поверхностно-активных веществ (ПАВ), имеющих полярные молекулы [382, 385]. Надежность и прочность пленок зависят от смазочных свойств масел, а также от физико-химических свойств металлов, на которых адсорбируются пленки.

Наиболее прочные адсорбционные слои на металлах образуют такие ПАВ, как жирные кислоты, их спирты и эфиры, животные и растительные жиры, амины, амиды и их производные, а также асфальто-смолистые, серосодержащие и другие вещества. В этом направлении наиболее перспективно использование биологических смазок, полученных из жиров, растительных масел или отходов их производства.

При граничном трении адсорбционная пленка способна защищать трущиеся поверхности от износа при сравнительно невысоких температурах и нагрузках. Увеличение температуры приводит к резкому возрастанию силы трения и повреждению поверхностей, что свидетельствует о разрушении граничного смазочного слоя, связаном с дезориентацией и десорбцией молекул ПАВ, следующей за этим потерей смазывающей способности и возникновением заедания [283]:

$$T_1^{\,*} = \frac{E_x + \Delta Q}{R \cdot ln\left(\frac{B_1 p_{\text{н}}}{H \cdot C^{\sigma} \cdot \upsilon^{m}}\right)} \leq T_{\text{ПТ}}, \qquad (2.8.4)$$

где $T_1^{\,*}$ – первая критическая температура, E_x – энергия активации образования металлических связей; ΔQ – дифференциальная теплота адсорбции; R – универсальная газовая постоянная; $p_н$ – номинальное давление в контекте; C – концентрация ПАВ; H – твердость более мягкого материала пары трения (по Бринеллю);

υ – скорость скольжения; B_1, σ, m – постоянные трибосопряжения; $T_{ПТ}$ – температура поверхности трения, T_1^* – первая критическая температура смазочного материала. Если условие отсутствия задания $T_1^* > T_{ПТ}$ выполняется, то смазочный материал может быть использован при данном режиме трения.

Для снижения трения и защиты поверхности от износа при высоких нагрузках и температурах в смазочный материал вводят химически активные соединения, обеспечивающие образование на поверхностях трения модифицированного поверхностного слоя. Такими добавками являются эфиры кислот фосфора, галогены (наиболее часто хлор) в сочетании с металлами (свинцом, сурьмой, молибденом), вещества, содержащие неактивную серу и др. В присутствии таких добавок повышение температуры приводит к возникновению на поверхностях трения химически модифицированных слоев, обеспечивающих снижение трения и повышающих работоспособность деталей машин при повышенных температурах. В этом случае условие отсутствия заедания имеет вид [283]:

$$T_2^* = \frac{E_x - E_М - E_И}{R \cdot ln\left(B_З \cdot \frac{\upsilon^{y-m}}{C^n} \cdot \frac{p_н}{H}\right)} > T_{ПТ}, \qquad (2.8.5)$$

где T_2^* – вторая критическая температура, $E_М$ – наблюдаемая энергия активации процесса образования модифицированного слоя, $E_И$ – наблюдаемая энергия активации процесса изнашивания, n – наблюдаемый порядок процесса химической модификации, $B_З$, y – постоянная трибосопряжения.

Если условие 2.8.5 не выполняется, необходимо использовать смазочный материал, обеспечивающий более высокую вторую критическую температуру за счет большей скорости образования более износостойкого модифицированного слоя с меньшей энергии активации химической модификации. Дальнейшее возрастание температуры может привести к разрушению таких модифицированных слоев, возникновению металлического контакта и быстрому износу деталей вследствие нарушения равновесия между процессами образования модифицированных слоев и их разрушениея.

Таким образом, механизм действия химически активных добавок может включать следующие стадии: образование добавками граничных пленок на металлических поверхностях; хемосорбция молекул добавки на поверхности трения,

происходящая при сравнительно низких температурах; химическое взаимодействие активных элементов добавки с поверхностью металла, начинающиеся при более высокой температуре. Основной причиной разрушения граничных слоев также является увеличение температуры в контакте трения выше критических значений для соответствующего сочетания материалов поверхностей и смазочного материала.

Биодобавки на основе возобновляемого сырья при эксплуатации в технике способны проявлять как адсорбционную, так и химическую активность к смазываемым поверхностям. За счет этого должно обеспечиваться снижение трения, замена интенсивного адгезионного износа более мягким коррозионно-механическим. Оценить пределы эффективности смазывающей способности таких добавок, а также температуру химической модификации можно по диаметру пятна износа на четырехшариковой машине трения при разных температурах. При повышении температуры смазывающего материала износ должен увеличиваться при отсутствии в составе смазки специальных присадок. Снижение износа при повышении температуры смазки может являться следствием как химической модификацией поверхностей трения смазочным материалом, так и сменой режима смазки, например на гидродинамический, где износ во многом зависит от вязкости смазочного материала.

Согласно проведенным в ФГБНУ ВНИИТиН исследованиям были выявлены зависимости диаметра пятна износа шариков на машине трения $D_{И}$ от температуры смазывающего материала $T_{СМ}$ [387]:

$$D_{И} = a\ T_{СМ}^{2} - b\ T_{СМ} + c. \qquad (2.8.6)$$

Коэффициент a отвечает за общую смазывающую способность масла, чем он больше, тем хуже смазывающая способность. Коэффициент b показывает на возможность химической модификации поверхности трения. Коэффициент c относится к природе смазочного материала.

Таким образом, введение пленкообразующих добавок в нефтепродукты должно преследовать цель поддержания необходимой вязкости при гидродинамической (жидкостной) смазке и образовании дополнительных граничных пленок, ответственных за процессы снижения коэффициента трения и изнашивания при гра-

ничном и смешанном режиме смазки. При использовании в качестве добавок соединений на основе возобновляемого сырья увеличение температуры в зоне трения должно приводить к увеличению вязкости за счет процессов быстрого окисления и полимеризации, что благоприятно скажется на смазывающих свойствах – трение уменьшится, износ снизится. Вместе с тем, введенная добавка будет оказывать влияние на другие эксплуатационные характеристики смазки, поэтому при подборе добавок целесообразно выявлять их разностороннее действие на свойства масла.

2.9. Выводы

1. Анализ изменения качества нефтепродуктов с позиции термодинамики позволяет утверждать, что снижение уровня качества нефтепродукта прямо пропорционально росту энтропии, а его предельная работоспособность обратно пропорциональна скорости протекающих в нем химических превращений. В объеме нефтепродукта и на границе раздела жидкой и газообразной фаз протекают окислительные реакции, а коррозионные процессы развиваются на всей внутренней поверхности резервуаров, особенно интенсивно в зоне подтоварной воды. Результатом этих процессов являются качественные и количественные изменения нефтепродуктов.

2. Анализ термодинамических закономерностей процессов, протекающих в топливе при хранении, показал, 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.

Долю низкокипящих компонентов в топливе можно снизить при введении в него высококипящих компонентов, например, алкиловых эфиров высших алифатических кислот, имеющих более высокие молекулярные массы и, следовательно, температуры кипения, чем углеводороды нефтяного топлива. Это приведёт к уменьшению энтальпии испарения и соответственно меньшему росту энтропии системы, т.е. к снижению количественных потерь топлива при хранении.

3. В работающих моторных маслах одновременно проходит несколько про-

цессов, влияющих на изменение их качества – попадание загрязняющих веществ, окисление масляной основы с образованием кислых продуктов и срабатывание присадок масла. Полученные аналитические зависимости для этих процессов показали, что для адекватной оценки качества работающих масел необходим контроль таких показателей как вязкость, количество загрязняющих примесей и воды, содержание топлива, щелочное и кислотное число.

4. Анализ закономерностей изменения состояния дисперсной фазы нефтепродуктов под действием гравитационных сил показал, что на процесс осаждения помимо размера и количества частиц непосредственное влияние оказывает вязкость нефтепродукта, соотношение плотностей нефтепродукта и оседающих частиц, которые в свою очередь зависят от температуры. Укрупнение частиц и повышение скорости их осаждения, можно провести при помощи коагулянтов – веществ, нарушающих агрегативную устойчивость дисперсных систем, например карбамида, который в случае высокой насыщенности отработанных масел диспергирующими присадками целесообразно активировать растворителями.

Для интенсификации процесса удаления скоагулировавших частиц дисперсной фазы могут использоваться традиционные средства очистки – фильтры, сепараторы, центрифуги. Анализ параметров эффективности процесса центрифугирования показал, что помимо вязкости и плотностей очищаемой жидкости и загрязнений, размеров частиц, важное значение имеют конструкционные особенностей центрифуги: угловая скорость ротора, его геометрические размеры, объемный расход жидкой фазы через центрифугу.

5. Анализ кинетических закономерностей процесса получения алкиловых эфиров из возобновляемого сырья показал, что на начальной стадии он протекает не во всем объеме системы, а только в объеме одной из фаз (спиртовой) в результате диффузии в нее компонента из другой фазы. 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. Интенсификация процесса в диффузионной области может быть достигнута главным образом повышением турбулентности взаимодействующих фаз, в результате которого происходит уменьше-

ние диффузионного сопротивления и непрерывное обновление межфазной поверхности. Для этих целей целесообразно использовать акустические колебания, инициирующие кавитацию в обрабатываемой смеси.

7. Анализ показателей работы дизельного двигателя и энергозатрат МТА при использовании смесевого топлива с возобновляемым компонентом указывает на некоторое снижение мощности и возрастание расхода моторного топлива, пропорциональное содержанию возобновляемого компонента. Основной причиной отклонений является различие в соотношениях углерода, водорода и кислорода в молекулах минерального дизельного топлива и биодобавки, и соответствующей разнице в теплоте сгорания чистого дизельного и смесевого топлив. Однако, при возрастании содержания биодобавки значительно снижается содержание CO, CO_2, несгоревших углеводородов и дымность выхлопных газов, что в свете экологизации производства может являться решающим условием при переходе на смесевое топливо, а его лучшая смазывающая способность должна положительно сказаться на ресурсе топливной аппаратуры. Необходимо стремиться, чтобы при их использовании показатели работы ДВС и МТА как можно меньше отличались от таковых при работе на минеральном дизельном топливе без дополнительной настройки и доработки. Этого можно достичь улучшением условий и качества смесеобразования, например за счет кавитационной обработки смесевого топлива.

8. В присутствии смазочной среды работоспособность узлов трения определяется видом смазки из которых наиболее неблагоприятным и опасным для нагруженных узлов трения является граничная смазка. Введение пленкообразующих добавок в нефтепродукты должно преследовать цель поддержания необходимой вязкости при гидродинамической (жидкостной) смазке и образовании дополнительных граничных пленок, ответственных за процессы снижения коэффициента трения и изнашивания при граничном и смешанном режиме смазки. При использовании в качестве добавок соединений на основе возобновляемого сырья увеличение температуры в зоне трения должно приводить к увеличению вязкости за счет процессов быстрого окисления и полимеризации, что благоприятно скажется на смазывающих свойствах – трение уменьшится, износ снизится.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Программа и общая методика проведения исследований

Разработана программа проведения теоретических и экспериментальных исследований, в которой приведены методы, использованные в работе по обоснованию рационального использования нефтепродуктов в условиях предприятий АПК. Программа включает следующие пункты:

– изучение современного состояния проблемы;

– постановка цели и определение задач исследований;

– теоретическое обоснование процессов изменения качества нефтепродуктов, переработки отходов их использования, создание и совершенствование математических моделей процессов, лежащих в основе разрабатываемых методов и технических средств, определение и оценка параметров технологических процессов;

– разработка методик экспериментальных исследований, которые в связи с большим разнообразием исследуемых процессов (оценка качества нефтепродуктов, очистка нефтепродуктов от загрязнений и продуктов старения, обработка нефтепродуктов химическими реагентами и физическими полями различной природы, получение присадок и добавок, а также утилизация и переработка отходов использования нефтепродуктов с получением вторичных масел и смазок) в работе разбиты на группы по целевому назначению;

– проведение экспериментальных исследований, и обработка полученных данных;

– оценка эффективности от внедрения результатов в производство.

Информационное обеспечение исследований проводится за счет анализа научных публикаций и патентного поиска по разработанным и применяемым в промышленности способам сохранения, восстановления и повышения качества нефтепродуктов, техпроцессам получения биодизельного и смесевого моторного топлива, методам утилизации и переработки отработанных нефтепродуктов и отходов сельскохозяйственного производства.

Работа проводилась с использованием материально-технической и лабораторной базой ФГБНУ ВНИИТиН, Кафедры химии ТГУ им. Г.Р. Державина, Тамбовской лаборатории судебной экспертизы Министерства Юстиции РФ, 25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России, ОАО «Пигмент», а также в сотрудничестве с сельскохозяйственными организациями Тамбовской, Саратовской, Воронежской и Липецкой областей. Разработанное оборудование и технические средства, стенды и модельные установки изготавливались на базе экспериментального производства ФГБНУ ВНИИТиН.

Для уменьшения величины ошибок, возникающих при проведении замеров исследуемых величин, был принят следующий порядок проведения измерений:

– в соответствии с общей методикой исследований и учетом метрологических и технико-экономических факторов выбирались методы и средства измерения, предусмотренные соответствующими ГОСТ, обеспечивающие наибольшую точность;

– все параметры измерялись в 3 – 5 кратной повторности;

– поддерживали постоянство всех факторов, которые согласно методикам исследований не должны изменяться;

– при построении функциональных зависимостей, производилось сглаживание кривых;

– относительные ошибки определяли по результатам 5 параллельных опытов с одной и той же пробой. Результаты считались достоверными, если величина относительной ошибки не превышала 5 – 10 %.

В случае, когда исследование проводилось при неполном знании механизма изучаемых явлений и аналитическое выражение функции (форма математической модели) неизвестно, для построения зависимости функции отклика от факторов использовалось общее разложение функции в ряд Тейлора:

$$Y = B_0 + \sum_{i=1}^{k} B_i X_i + \sum_{\substack{i=1 \\ j \geq i}}^{k} B_{ij} X_i X_j + \cdots \qquad (3.1)$$

где Y – функция отклика, X_i, X_j – факторы исследуемого процесса, B_0, B_i, B_{ij} – теоретические коэффициенты регрессии. Вычисление и оценку числовых значений

коэффициентов регрессии этого уравнения производили по результатам планирования и проведения эксперимента [388, 389, 390, 391, 392, 393].

Методика активного полного факторного эксперимента и её варианты применялась для определения влияния параметров ультразвуковой обработки на процесс протекания реакции переэтерификации триацилглицеридов твердых и жидких жиров растительного и животного происхождения, а также действия используемых катализаторов, определения параметров механообработки исследуемых топлив и др.

3.2. Определение физико-химических показателей нефтепродуктов

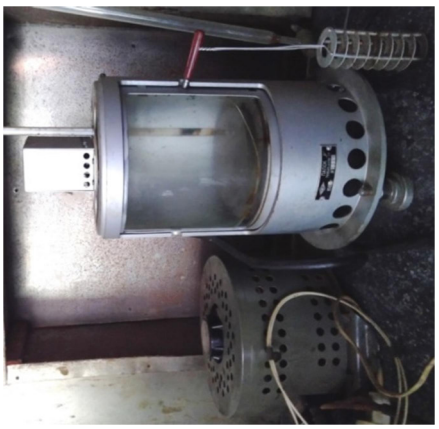
Отбор проб и определение физико-химических показателей моторных топлив, смазочных материалов, синтезированных соединений проводили в соответствии со стандартными методиками испытаний по ГОСТ 2517–2012; 51069–97; 3900–2022; 33–2016; 5066–2018; 20287–91; 6356–75; 11362–96; 2177–99; 6307–75; 1461–75; 12417–94; 51947–2002; 8489–85; 2477-2014; 6370–83; 10577–78; 6321–92; 23175–78; 6793–74; 2917–76; Р 53605–2009 (ЕН 14214:2003); Р ЕН 14103–2008; ISO 3679–2017; ISO 3987–2013; Р 54281–2022; EN 12662–2016; ISO 2160–2013; Р ЕН 14104–2009; Р ЕН 14111–2010; Р ЕН 14110–2010; Р ЕН 14105–2008; Р ЕН 14538–2009; Р ЕН 14107–2009. Некоторое оборудование для определения физико-химических показателей показано на рисунке 3.1.

3.3. Методика ИК-спектроскопии

Для установления функциональных групп углеводородов и проведения сравнительного исследования пользовались методом молекулярной спектроскопии в области инфракрасного излучения, с использованием ИК-Фурье спектрометра «Infralum FT-801» (рисунок 3.2а). Перед началом эксперимента проводится юстировка прибора. Для этого берутся два монокристалла, которые помещаются в специальный держатель (рисунок 3.2б), далее собранный узел устанавливается в измерительную камеру прибора, и снимаются спектры чистых монокристаллов.



Измерение концентрации веществ в растворах



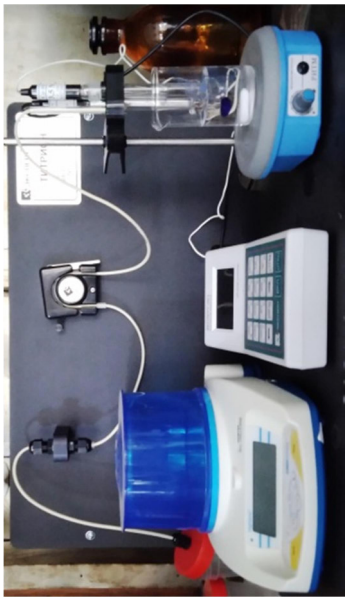
Определение термоокислительной стабильности



Определение динамической вязкости



Определение содержания фактических смол



Определение кислотности, кислотного и щелочного числа



Определение содержания металлов



Определение температуры вспышки в закрытом тигле

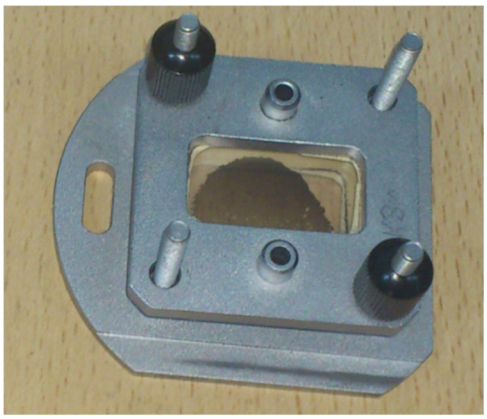


Определение фракционного состава

Рисунок 3.1 – Некоторое оборудование для определения физико-химических показателей



а



б

Рисунок 3.2 – ИК-Фурье спектрометр Infralum FT-801 (а)
и держатель для образцов (б)

После проведения подготовительной операции держатель разбирается и на поверхность монокристаллов наносится проба нефтепродукта объемом 0,02 г (максимальная толщина поглощаемого слоя – 0,08 мм), после чего они помещаются обратно.

Далее прибор снимает спектрограмму с установленного образца и результат в виде графика выводит на монитор компьютера.

Регистрация спектров и расшифровка пиков на графике производится лицензионной программой «ZaIR 3.5», заложенной в память компьютера прибора. Количество сканов 16, разрешение – 4см$^{-1}$, усиление -1.

3.4. Методика хроматографического анализа

Для количественного определения содержания индивидуальных органических соединений в нефтепродуктах применяются хроматографические методы. С их помощью можно контролировать, например, содержание в смесевых топливах биодизельного топлива, моно-, ди- и триглицеридов, а также глицерина; кислородсодержащих и ароматических соединений (в том числе бензола) в био- и нефтяных топливах.

Для проведения анализа используется метод внутреннего стандарта. Анализ проводился на аппаратно-программном комплексе «Кристалл 2000М» с колонками ZB-1 (неполярная фаза) и FAPP (полярная фаза), а также пламенно-

ионизационным детектором с делением потока 1 : 30 и диапазоном формируемых давлений 20 – 250 кПа (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Общий вид аппаратно-программного комплекса на основе хроматографа «Кристалл 2000М»

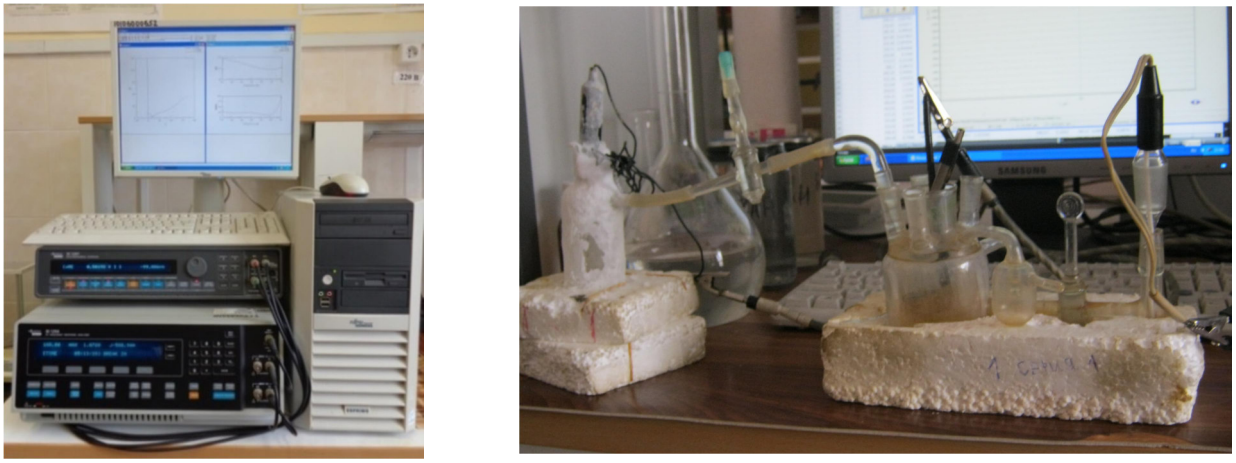
Обработка результатов измерений проводилась в автоматическом режиме входящим в комплекс программным обеспечением «Хроматэк-Аналитик». При расчете использовался метод внутренней нормализации, когда сумма площадей всех пиков на хроматограмме принимается за 100 %, тогда массовую долю каждого определенного вещества можно вычислить по доле площади его пика от суммы площадей всех пиков.

3.5. Определение защитных и противокоррозионных свойств

Помимо стандартных методик проведения испытаний на коррозионную активность исследуемые нефтепродукты подвергались ускоренным коррозионным испытаниям в солевом растворе. Испытания проводили на предварительно подготовленных образцах из стали Ст 3 или меди размером 70х30х3 мм в 0,5 М растворе хлорида натрия. На образцы окунанием наносится пленка нефтепродукта, после чего их полностью погружают в емкости, заполненные 0,5 М раствором хлорида натрия в вертикальном положении. Испытания проводятся при температуре 20 °С обычно в течение 14 или 30 суток.

Обработку результатов испытаний (определение толщины покрытия, снятие покрытия и продуктов коррозии, расчет скорости коррозии и защитной эффективности) проводят в соответствии с ГОСТ 9.909–86 «Единая система защиты от коррозии и старения. Металлы, сплавы, покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы испытаний на климатических испытательных станциях».

Исследования электрохимической коррозии проводили при помощи поляризационных измерений в трехэлектродной электрохимической ячейке из стекла «Пирекс» с разделенным шлифом анодным и катодным пространствами, которую подсоединяют к электрохимическому измерительному комплекс Solartron 1287A. В качестве рабочих электродов в работе использовали углеродистую сталь СтЗ ($S_{эл.}$ = 0,14 см^2), медь М-1 ($S_{эл}$ = 0,4 см^2), латунь Л-62 ($S_{эл.}$ = 1 см^2), армированные в оправку из эпоксидной смолы ЭД-5 с отвердителем полиэтиленполиамином. Вспомогательный электрод – гладкая платина. Потенциалы измеряют относительно насыщенного водного хлорсеребряного электрода сравнения и пересчитывают по нормальной водородной шкале (рисунок 3.4).



а б

Рисунок 3.4 – Электрохимический измерительный комплекс Solartron (а) и электрохимическая ячейка (б)

Поляризационные измерения проводят в 0,5 М растворе NaCl под пленкой исследуемого нефтепродукта фиксированной толщины сразу после погружения рабочего электрода в раствор.

Полученные результаты представляют графически в координатах $\varphi_{исс}$ – lg i

или полулогарифмических координатах. Величины тока *I*, измеренные при каждом потенциале, пересчитывают на плотность тока *i* по формуле [394]:

$$I = i\,S, \tag{3.2}$$

где *S* – видимая поверхность электрода, $см^2$.

Пересчет электрохимических данных в весовые единицы проводят посредством экстраполяции линейных тафелевых катодных и анодных участков на потенциал коррозии с последующей оценкой тока коррозии [394]:

$$K = \gamma\, i_к, \tag{3.3}$$

где $i_к$ – ток коррозии, $А/м^2$; γ – электрохимический эквивалент железа с учетом его перехода в раствор (окисление) в виде Fe^{2+} (1,04 г/А-час); *K* – скорость коррозии, $г/м^2$ час.

Защитную эффективность рассчитывают по формуле [394]:

$$Z = \frac{K_0 - K}{K_0} \cdot 100\ \%, \tag{3.4}$$

где K_0 и *K* – скорости коррозии металла в отсутствии и при наличии покрытия, соответственно.

На основании полученных данных делается заключение о защитных, антикоррозионных свойствах исследуемого нефтепродукта.

3.6. Определение дисперсного состава примесей и загрязнений нефтепродуктов

Численная концентрация загрязнений и их дисперсный состав оценивались методом микроскопии согласно разработанной в ФГБНУ ВНИИТиН методике с применением микроскопа «Биолам-70» с микрофотонасадкой МФН-12 (рисунок 3.5а).

Сущность метода заключается в заполнении камеры Горяева (модель 851) исследуемым образцом топлива, подсчете частиц загрязнителя под микроскопом и определении соответствующего класса чистоты жидкости. При исследовании масла отбирается порция в 1 мл и разбавляется отфильтрованным дизельным топливом, после чего помещается в камеру Горяева. Для улучшения просмотра содержащейся в нефтепродукте воды её подкрашивается реактивом «фуксин».



а



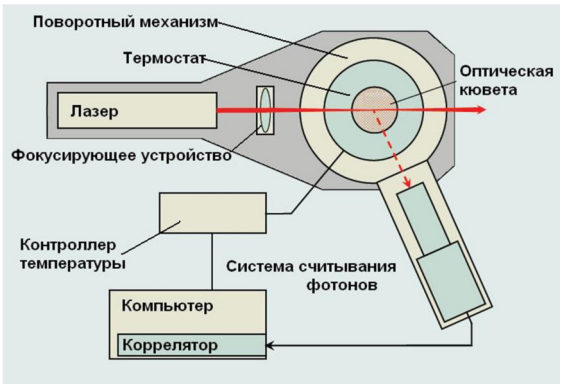
б

Рисунок 3.5 – Микроскоп «Биолам-70» с микрофотонасадкой МФН-12 (а) и прибор для подсчета количества частиц ФС – 151 (б)

Подсчет капель воды и частиц механических примесей для каждого интервала размеров проводились в определенном количестве квадратов счетной сетки 4х4 (0,000064 см^3) с последующим пересчетом на объем всей камеры (0,0009 см^3). Для увеличения точности и снижения времени определения численной концентрации загрязнений исследуемого нефтепродукта в диапазоне от 5 до 500 мкм использовали прибор ФС – 151 (рисунок 3.5б) [83].



а



б

Рисунок 3.6 – Общий вид спектрометра динамического рассеяния света Photocor Complex (а) и его принципиальная схема (б)

Для измерения количества и размеров наночастиц использовался метод динамического рассеяния света, определяющий коэффициент диффузии дисперсных частиц в жидкости путем анализа корреляционной функции флуктуаций интенсивности рассеянного света, из которого затем рассчитывается радиус наноча-

стиц. Для этого использовался фотонный корреляционный спектрометр динамического рассеяния света Photocor Complex (Photocor – FC) (рисунок 3.6а).

В приборе рассеянный свет принимается фотоприемником (рисунок 3.6б), сигнал с которого обрабатывается цифровым коррелятором с получением автокорреляционной функции из которой компьютер вычисляет распределение дисперсных частиц по размерам или их средний параметр [36, 395, 396].

Продолжительность измерений составляла 48 часов. В течение первого часа измерения проводили с интервалом 10 минут, в последующие часы с промежутком в 30 минут (12 пятисекундных измерений за 1 минуту).

3.7. Методика проведения исследований смазывающих и противоизносных свойств нефтепродуктов

Исследование проводилось с использованием четырехшариковой машины трения типа КТ-2 в которой 4 стальных шарика (диаметром 8 мм) располагаются в форме пирамиды – верхний шарик которой вращается (частота вращения 10 об/мин) и прижимается с заданной осевой нагрузкой к трем неподвижным нижним шарикам. В результате на них образуются пятна износа, диаметр которых определяется с помощью микроскопа с окулярным микрометром МОВ–1–15^{X} (рисунок 3.7)



Рисунок 3.7 – Четырехшариковая машина трения и микроскоп микрометром

На основании анализа изменения размеров диаметров пятен износа и их сравнения определяется относительный уровень смазывающей способности нефтепродукта и его противоизносные свойства.

В зависимости от типа нефтепродукта моделируются предполагаемые условия его работы в узлах трения, задается соответствующая температура, нагрузка и время испытаний.

3.8. Методика исследования изменения содержания смол в нефтепродуктах под действием коагулянтов

Известны коагулянты, позволяющие удалить из минеральных моторных масел смолы и асфальтены, но для очистки и удаления из отработанных синтетических масел даже этих соединений известные коагулянты не подходят. Поэтому в рамках данной работы проводились исследования по разработке способа очистки синтетических масел для использования их в качестве дисперсионной среды для создания вторичных масел и смазок.

Для подбора коагулянтов с целью укрупнения находящихся в нефтепродуктах смол, асфальтенов, продуктов окисления проводились исследования действия различных реагентов – соляная и серная кислоты, едкий натр и едкое кали, водные растворы технической соды, гидроперита, а также наиболее распространенных минеральных удобрений (аммофоса, диаммонийфосфата, диаммофоски, суперфосфата, карбамида), этиловый и изопропиловый спирты, растворы на их основе, аминоспирты, производные растительных масел, растворители: Р – 646, фурфурол, этилцеллозольв, н – гексан, метилэтилкетон. Выбор этих реагентов обусловлен теоретическими предпосылками исследований и анализом известных способов очистки.

Общая методика исследований заключалась в том, что в нефтепродукты (дизельное топливо или отработанное масло) при температуре окружающей среды в различных концентрациях вносился мелкоизмельченный сухой реагент или его раствор. После чего смесь нефтепродукта с реагентом тщательно перемешивалась (5 – 10 мин) и по завершении перемешивания смесь отстаивалась. При необходи-

мости производился нагрев реакционной смеси.

Диапазон концентраций (масс. или объемн.) вносимых реагентов составлял 0,5 – 30 % для топлива и до 50 % для отработанного масла в зависимости от используемого реагента. Концентрации растворов реагентов варьировались в зависимости от их растворимости в соответствии с известными справочными данными [397, 398].

Контроль эффективности процесса коагуляции проводили при помощи микроскопа «Биолам» и экспресс-методом капельной пробы на фильтровальной бумаге. При этом часть нефтепродукта оставляли отстаиваться под действием силы тяжести, а другую часть помещали в лабораторную центрифугу для ускорения процесса осаждения. Физико-химические характеристики нефтепродуктов до и после экспериментов определяли в соответствии с методиками из раздела 3.2.

3.9. Методика исследования влияния кавитационного воздействия

С целью исследования кавитационного воздействия на моторное топливо, а также процесс синтеза биотоплива из возобновляемого сырья использовали ультразвуковые диспергаторы Qsonica sonicator Q700 (20 кГц, 700 Вт) и Scientz JY 92 – IIN (20 – 25 кГц, 650 Вт) (рисунок 3.8).



а б

Рисунок 3.8 – Внешний вид ультразвуковых диспергаторов Qsonica sonicator Q700 (а) и Scientz JY 92 – IIN (б)

Емкость с испытуемым образцом помещалась в камеру шумоизоляции, где в нее погружался зонд, создающий продольные колебания высокой частоты. Быстрая вибрация в жидкости вызывает кавитацию – образование и разрушение микроскопических пузырьков, схлопывание которых высвобождает энергию, что является основным механизмом обработки жидкости.

На блоке управления задавались параметры интервальной и непрерывной обработки (время, амплитуду, максимальную температуру). Диапазон времени работы и паузы в интервальном режиме устанавливались в процессе эксперимента. На протяжении всего времени обработки при помощи меню на дисплее основного устройства контролировались значения температуры испытуемого образца и мощности в реальном времени.

В лабораторных опытах использовался зонд 1/2", который может обрабатывать объем до 250 мл. Время обработки варьировали в пределах 1 – 15 минут в зависимости от исследуемого образца. Максимальную температуру обрабатываемого дизельного топлива ограничивали 50 °С, при синтезе биодобавок – 70 °С. Амплитуду колебаний устанавливали в пределах 50 – 100 % в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора. При проведении исследований использовались методы планирования экспериментов (раздел 3.1).

3.10. Методика анализа технического состояния баз хранения и фактического качества нефтепродуктов в условиях предприятий АПК

Для анализа реального состояния вопросов приобретения и использования топлив и смазочных материалов проводилась оценка схем их приобретения по данным сельскохозяйственных предприятий Тамбовской, Воронежской, Липецкой областей. Сбор данных проводился с помощью опроса руководителей или представителей инженерных служб хозяйств, при этом отмечались название и местоположение предприятия; виды, количество и марки сельскохозяйственной техники; количество и объемы резервуаров для хранения топлив и масел; объемы приобретаемых нефтепродуктов; реквизиты фирм-поставщиков; отзывы специа-

листов хозяйства об используемых топливах и смазочных материалах; необходимость и частота контроля качества приобретаемых нефтепродуктов; наличие в хозяйствах средств контроля качества нефтепродуктов; в какие организации обращаются сельские товаропроизводители для контроля качества.

Для оценки технического состояния нефтебаз предприятий АПК и фактического качества хранящихся и используемых нефтепродуктов осуществлялись командировки в сельскохозяйственные предприятия, где в полевых условиях проводились следующие мероприятия [399, 400, 401, 402]. Визуальным осмотром с применением средств фотофиксации оценивалось: состояние территории, дорог и тротуаров нефтехозяйства, обвалование резервуарных парков, наличие ограждений, средств охраны и освещения, систем водоснабжения и пожаротушения, указателей и обозначений; состояние помещений складов, резервуаров и тары для хранения нефтепродуктов, наличие паспорта и технологической карты на каждый резервуар; оснащение резервуаров необходимым оборудованием – дыхательными и предохранительными клапанами, приборами контроля уровня нефтепродуктов, противопожарным оборудованием и т.п. (в соответствии с проектной документацией); наличие соответствующей документации (паспортов, инструкций по эксплуатации) на основное и вспомогательное оборудование, насосные секции; наличие и состояние фундамента, заземления, защиты от коррозии, покраски резервуаров и трубопроводов; наличие в помещениях вентиляционных системам и газоанализаторов.

Затем в заранее приготовленную чистую посуду производился отбор проб нефтепродуктов из резервуаров, емкостей хранения, колонок выдачи. Отбор проб преимущественно проводился из среднего уровня емкости, за исключением случаев, когда необходимо было сравнить характеристики нефтепродукта на разных уровнях емкости.

Дизельное топливо для анализа отбиралось в объеме 1 л, смазочное масло – 0,5 л из ёмкостей хранения и 0,3 л – из сельскохозяйственной техники при подготовке или проведении полевых работ. В технике, находившейся под наблюдением, отбор проб масел проводился с интервалом 100 ± 50 часов наработки при помощи пробоотборника (рисунок 3.9) [51, 52, 53].

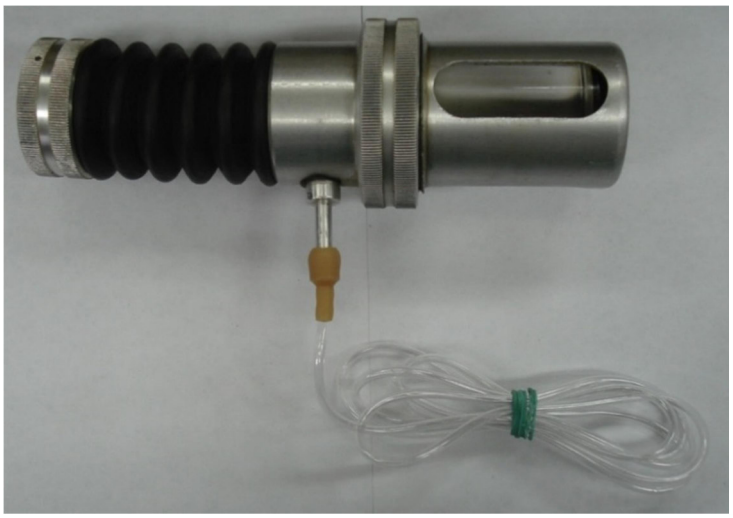


Рисунок 3.9 – Пробоотборник

Отобранная проба анализировалась на месте экспресс-методами и далее доставлялась для исследования по описанным выше методикам (раздел 3.2) в химической лаборатории ФГБНУ ВНИИТиН, после чего оформлялось заключение о соответствии или несоответствии качества нефтепродуктов нормативным требованиям.

3.11. Синтез присадок и добавок к нефтепродуктам

3.11.1. Методика оксидирования, полимеризации и эпоксидирования триглицеридов растительных масел

Оксидирование возобновляемого сырья проводится кислородом воздуха при температуре от 90 до 150 °С в течение нескольких часов. В установку (рисунок 3.10а) заливается масло на 1/3 его объема, которое затем нагревается до температуры окисления на песочной бане. После чего через масло со скоростью 0,5 л/мин продувается воздух в течение определенного времени (8 – 20 часов).

В результате оксидирования образуются преимущественно олигомеры триглицеридов (в основном ди- и тримеры), содержащие в своем составе значительное количество кислородосодержащих функциональных групп и структурных фрагментов. Межмолекулярные связи в димерах и тримерах будут в основном двух типов: диалкилпероксидные – С – О – О – С – и простые эфирные – С – О – С –. В тоже время процесс оксидирования масел сопровождается целым рядом

побочных реакций, приводящих к образованию кислородосодержащих функциональных групп (альдегидные, эпоксидные, карбональные, гидроксильные) и низкомолекулярных продуктов деструкции, доля которых относительно невелика.



а б

Рисунок 3.10 – Установки для оксидирования (а), полимеризации и эпоксидирования (б) триглицеридов возобновляемого сырья

Для проведения полимеризации в установку (рисунок 3.10б) заливается масло и добавляется необходимое количеством катализатора – оксиды цинка, кальция или свинца. Смесь нагревается до 250 – 300 °С и выдерживается при этой температуре в течение 3 – 4 часов.

В качестве эпоксидирующего агента использовали надуксусную кислоту. В установку (рисунок 3.10б) помещается подсолнечное масло (49,36 %), уксусная кислота (8,24 %) и толуол (14,75 %), включается механическая мешалка и содержимое колбы нагревается до 50 ^{o}С. При этой температуре постепенно вводится предварительно приготовленная смесь перекиси водорода (26,52 %) и серной кислоты (1,13 %). После этого температура в колбе повышается до 63 – 65 ^{o}С и поддерживается в течение 2,5 часов. Из нижнего водного слоя отбирают пробу для определения содержания перекиси водорода. По достижении 5 – 7 % концентрации перекиси водорода в нижнем водном слое массу при работающей мешалке нагревают в течение 1 часа до 90 ^{o}С и выдерживают при этой температуре до содержания перекиси водорода в водном слое не более 3 % (пробу отбирать сразу

после 45 мин выдержки при 90 °С, а затем через каждые 15 мин). По окончании процесса массу переносят в делительную воронку, нижний водяной слой сливают, а толуольный раствор эпоксидированного масла 6 – 8 раз промывают теплой водой (45 °С) до получения pH, равного pH промывной воды. Промытый толуольный раствор эпоксидированного масла переносят в прибор для перегонки под вакуумом и отгоняют толуол при 95 °С.

3.11.2. Методика синтеза эфиров на основе растительных масел и твердых жиров

Сущность методики заключается в получении из триглицеридов растительных масел и твердых жиров эфиров. В стакан помещают навеску масла массой 100 г. Готовят спиртовой раствор алкоголята калия. В 20 г. спирта растворяют 1,12 г KOH при нагревании.

На электрическую плитку помещают водяную баню с четырехгорлой колбой (рисунок 3.11). В центральное горло помещают мешалку, в боковые соответственно холодильник, подключенный к источнику воды, термометр, делительную воронку. Число оборотов мешалки задается регулятором напряжения электродвигателя.



Рисунок 3.11 – Установка для проведения синтеза биодизельного топлива

В колбу загружают масло, включают нагрев водяной бани и мешалку. При достижении температуры масла 60 °С при перемешивании вносят спиртовой раствор алкоголята и продолжают нагрев. При температуре 58 – 62 °С выдерживают в течение одного часа. По окончании выдержки отключают обогрев, останавливают мешалку, дают отстояться в течение двенадцати часов при естественном охлаждении.

После отстаивания образуется два слоя. Нижний содержит глицерин, верхний – эфиры высших карбоновых кислот. Полученные эфиры отделяют, промывают водой для отделения мыла, сушат.

3.11.3. Методика синтеза амидов и их алкильных производных на основе растительного сырья

Для синтеза амидов и их алкильных производных из сложных эфиров используется реакция аммонолиза (в том случае, если реагентом является аммиак) или аминолиза (если реагентом является амин). В трехгорлую колбу с термометром, мешалкой и обратным холодильником (рисунок 3.12) наливали 250 мл растительного масла (например рыжикового), 55 мл моноэтаноламина, доводили температуру до 100 °С и добавляли 0,5 г измельченного NaOH.



Рисунок 3.12 – Лабораторная установка для проведения синтеза амидов и их алкильных производных

После этого температуру доводи до 120 – 130 °С и выдерживали реакционную смесь в таких условиях в течении трех часов, периодически перемешивая. Далее смесь выливали в подготовленную тару и оставляли на 10 – 12 часов. Аналогично проводили реакцию с метиловым эфиром растительного масла (МЭРМ), а также триэтаноламином, содержащим моно- и диэтаноламины. В случае последнего выдержку реакционной смеси проводили при 160 – 180 °С [36].

3.12. Получение модельных топлив, масел и смазок

На их основе полученных добавок готовились модельные моторные топлива для дизельных двигателей с различным содержанием эфиров: 5 %, 10 %, 20 %, 25 %, 50 %, 75 %, 80 %, 100 %. Для этого эфиры смешивались с товарным дизельным топливом, свойства которого определялись по методикам из раздела 3.2. Смешивание первоначально проводили в вихревом аппарате (рисунок 3.13).



Рисунок 3.13 – Лабораторный аппарат вихревого смешения

Исследования по оценке эффективности действия депрессорных добавок (синтезированные амиды и их алкильные производные на основе растительного сырья, а также промышленно выпускаемые Keroflux 3501, Difron 3319, Infineum R442M, Keropur DP604T, ДДП-антигель) проводили на образцах топливах с температурой помутнения до –5 °С и температурой застывания до –30 °С. Концентрация добавок варьировалась в пределах от 0,5 до 2 % от массы топлива.

Внесение проводилось в соответствии с рекомендациями изготовителя, путем приготовления концентрата добавки в топливе при температуре 40 °С и последующем его перемешивании с основным объемом топлива. Готовые образцы смесевого топлива или топлива с присадками отстаивались в течение суток, после чего определяли их характеристики.

Как известно, смазочные материалы в общем случае представляют собой дисперсные системы, состоящие из дисперсионной среды – базового масла, и дисперсных фаз – присадки, добавки, загуститель. Перед использованием отработанные масла анализировались по основным физико-химическим показателям в соответствии с методиками, изложенными в разделе 3.2, проводилась оценка состава и количества загрязнений. Для использования таких масел в качестве дисперсионной среды их подвергали очистке под действием различных коагулянтов по методике, изложенной в разделе 3.8. После окончания очистки проводился анализ очищенных масел на основании которого давалось заключение о пригодности полученных масел для использования в качестве базового масла.



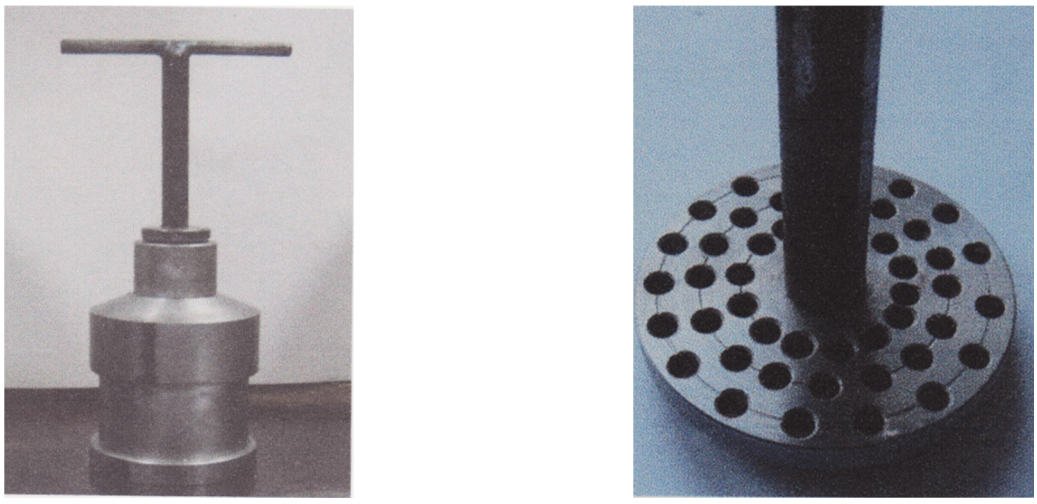
Рисунок 3.14 – Экспериментальная установка
для подготовки смазочной композиции

Полученное базовое масло смешивалось с присадками или добавками с помощью экспериментальной установки (рисунок 3.14), состоящей из емкости для

масляной основы и присадок, диспергатора (смеситель-активатор), насоса с электроприводом, манометра, термодатчика. В зависимости от того какой вторичный продукт готовится на базе этой масляной основы производится выбор присадок или добавок, необходимых для доведения свойств базового масла до нужного уровня.

Масляная основа закачивается в емкость и подогревается там с помощью ТЭНов до температуры 70 – 80 °С. Одновременно часть разогретого масла заправляется в емкость для присадок, после чего в нее вносится необходимое количество присадок. Эта смесь перемешивается ручной мешалкой, после чего с помощью насоса подается в диспергатор, к которому подводится масляная основа из основной емкости. В результате происходит смешивание и диспергирование присадок или добавок по всему объему масляной основы.

При изготовлении модельных пластичных смазок в полученное базовое масло добавляли дисперсную фазу – гидратированное кальциевое мыло жирных кислот (аналог Солидола Ж) или литиевое мыло оксистеариновой кислоты (аналог Литола – 24), а также присадки – ДФ–11, графит, производные углерода – графеновые нанопластины (ГНП) и углеродные нанотрубки (УНТ). При этом в случае аналога Солидола загуститель готовился в процессе получения смазки, а в случае аналога Литола – приготовленный заранее загуститель добавляли в базовое масло в различном количестве. Гомогенизацию смазок проводили с помощью лабораторного гомогенизатора (рисунок 3.15).



а б

Рисунок 3.15 – Лабораторный гомогенизатор пластичных смазок

У полученных смазочных композиций определяли физико-химические характеристики и сравнивали со значениями, характерными для товарных смазок.

3.13. Проведение стендовых испытаний

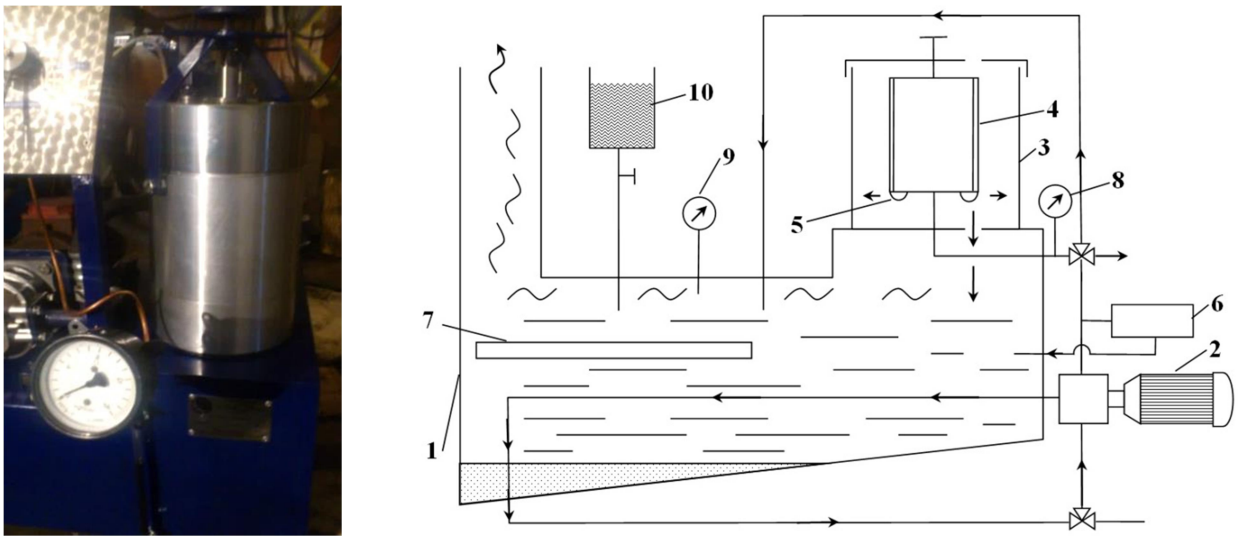
Стендовые испытания нефтепродуктов, модифицированных добавками, а также вторичных масел и смазок проводились по специально разработанным методикам испытаний с использованием установок и стендового оборудования произведенного на экспериментальном производстве ФГБНУ ВНИИТиН.

3.13.1. Методика проведения исследований по интенсификации очистки нефтепродуктов и повышению их эксплуатационных характеристик

Для контроля степени очистки дизельного топлива от механических примесей и воды готовился искусственный загрязнитель, состоящий из 10 г алюминиевого порошка ПА-4 и 4 г комплексного загрязнителя, включающего следующие компонентов (масс. %): волокно (измельченный в отношении не менее 10:1 хлопчатобумажный материал) – 1 %; маслобензостойкая резина, измельченная на наждачном круге до размеров не более 200 мкм – 3 %; углеграфитовый материал АГ-1500-005, измельченный с помощью напильника – 3 %; бронзовая пудра – 10 %; песчано-глинистая почва или кварцевая пыль – 30 %; электрокорунд белый с фракциями М5-П, М7-П, М28-П, М40-П по 6 % каждой фракции и 26 % фракции М10-П, протландцемент – 3 %.

Загрязнитель засыпается в колбу вместимостью 0,5 л, заполненную на 2/3 дизельным топливом, и тщательно перемешивается в течение 5 – 10 мин, после чего необходимое количество содержимого колбы вносится в исследуемое дизельное топливо и перемешивается. Под микроскопом рассматривается равномерность распределения частиц загрязнений в топливе.

Загрязненное топливо центрифугировалось на модельной центрифуге (рисунок 3.16) при различных оборотах ротора центрифуги (2 – 9 тыс. об.) и времени очистки – от 20 до 90 минут, после чего оценивалось содержания примесей.



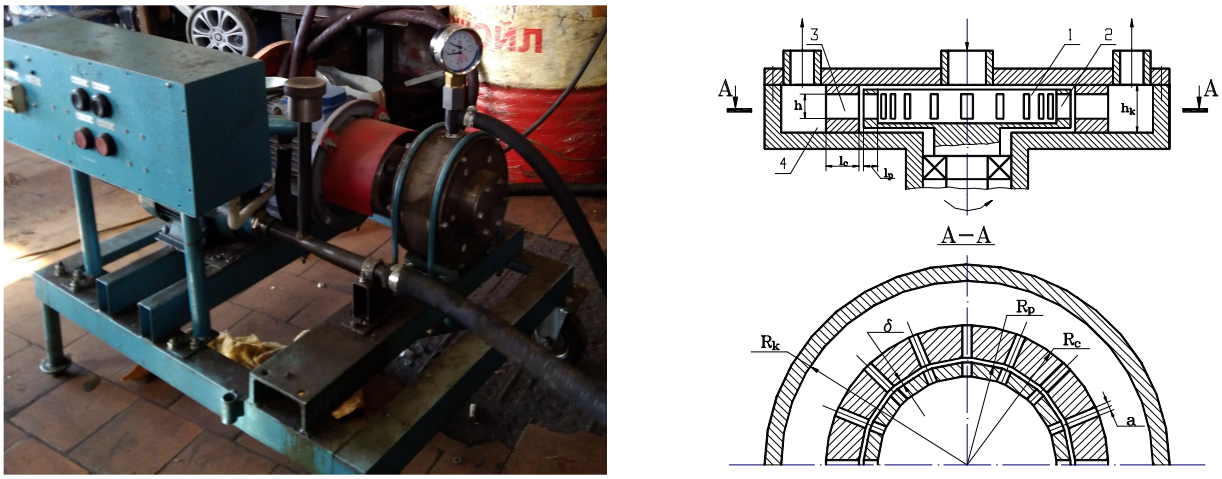
а б

1 – бак-реактор, 2 – насос НШ-32 с электроприводом, 3 – модельная реактивная центрифуга, 4 – ротор, 5 – сопла, 6 – предохранительный клапан для регулировки давления, 7 – нагревательное устройство, 8 – манометр, 9 – термометр, 10 – емкость с дозатором.

Рисунок 3.16 – Внешний вид (а) и схема (б) модельной центрифуги

Аналогично исследовали степень очистки нефтепродуктов после проведения операций укрупнения смол и асфальтенов по методике из раздела 3.8.

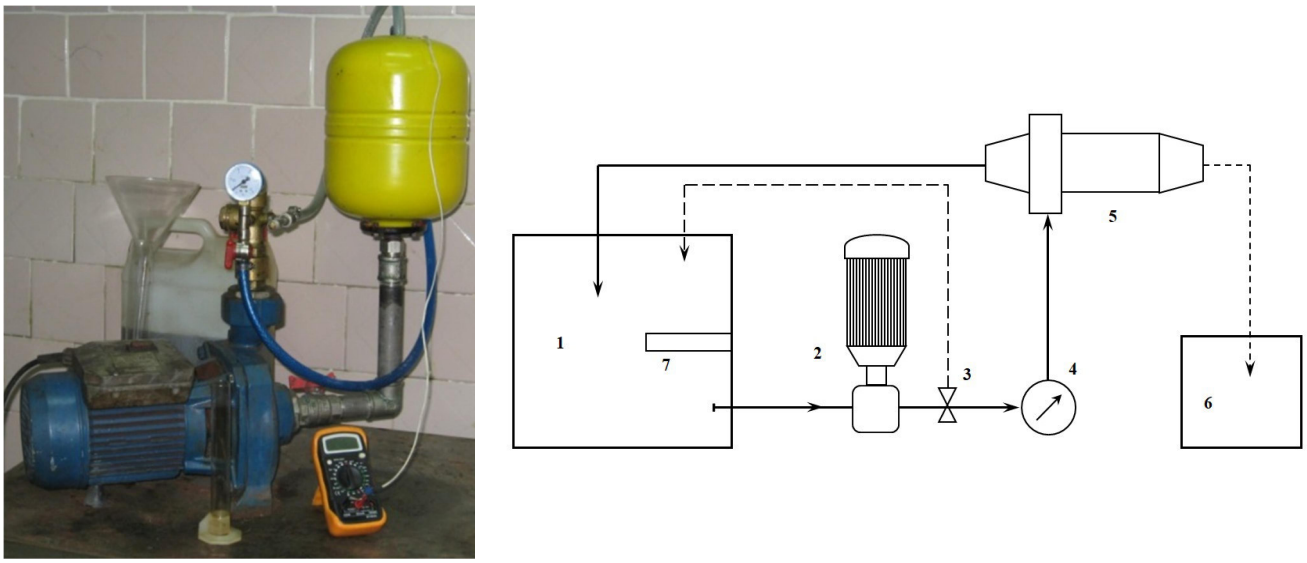
Сравнение способов обработки топлива, позволяющих повысить их эксплуатационные характеристики, проводили с помощью специальных стендов (рисунки 3.17, 3.18).



а б

1 – ротор, 2 – каналы ротора, 3 – статор, 4 – каналы статора: $R_к$ – радиус камеры; $R_р$ – радиус ротора; $R_с$ – радиус статора; δ – зазор между ротором и статором; a – ширина канала; h – высота канала; $h_к$ – высота камеры; $l_с$ – длина статора; $l_р$ – длина ротора

Рисунок 3.17 – Общий вид (а) и схема (б) аппарата РИКА для создания импульсно-пульсационного воздействия на нефтепродукты



а б

1 – емкость; 2 – насос; 3 – редукционный клапан; 4 –датчик давления (манометр); 5 – камера обработки топлива; 6 – резервная емкость; 7 – датчик температуры.

Рисунок 3.18 – Общий вид (а) и схема (б) стенда для определения параметров механохимического воздействия на нефтепродукты

Исследовались процессы механического (гидродинамического) воздействия на нефтепродукты, механодеструкции углеводородов и сопутствующие этому процессы растворения и смешения тяжелых органических соединений (например, парафинов) в более легких (светлых нефтепродуктах).

Определение влияния параметров обработки на состав и свойства нефтепродуктов) проводили в соответствии с методикой планирования эксперимента (раздел 3.1) с использованием некондиционного топлива сельскохозяйственных предприятий и поставщиков, показатели качества которого определялись по методикам из разделов 3.2 – 3.4. Топливо обрабатывалось на стенде в течение 1 – 10 циклов. 1 цикл соответствовал времени полной перекачки исследуемого объема топлива из исходной емкости через камеру обработки в резервную емкость. Химическими реагентами для обработки топлива на этом этапе исследований выступали водные и спиртовые растворы карбамида, гидроперита.

Отобранные в процессе испытаний пробы анализировались на изменение физико-химических показателей качества по описанным ранее методикам в лабораторных условиях.

3.13.2. Методика исследования работы дизеля на обработанном и альтернативном топливе

Сравнительные стендовые испытания моторных топлив по параметрам рабочего цикла, мощностным, экономическим и экологическим показателям проводились на тормозном стенде КИ–5543 ГОСНИТИ с тракторным дизелем МТЗ (модели Д–240, Д–243, Д–245.12С) в штатной комплектации, отрегулированном в соответствии с инструкцией по эксплуатации тракторов МТЗ–80/82 (рисунок 3.19а). Измерение дымности отработавших газов осуществляется дымомерами Инфракар Д1 и СМОГ–2 (рисунок 3.19б, 3.19в), а определение содержания в отработавших газах углеводородов и оксида углерода проводилось газоанализатором ГИАМ–29М-4 (рисунок 3.19г).



а



б



в



г

Рисунок 3.19 – Тормозной стенд КИ–5543 ГОСНИТИ с двигателем Д–240 (а), дымомеры Инфракар Д1(б) и СМОГ–2 (в), газоанализатор ГИАМ–29М-4 (г)

Эквивалентом служило товарное дизельное топливо с которым сравнивались очищенное и обработанное по разработанным методам некондиционное дизельное топливо, синтезированные из растительных масел (рыжик, рапс, подсолнечник) биотоплива (В100), а также смесевые моторные топлива, полученные путем смешивания дизельного топлива и биотоплива в диапазоне концентраций от 5 % до 90 %.

Показатели рабочего процесса дизеля на исследуемых топливах в условиях установившихся нагрузочно-скоростных и тепловых режимах работы оценивали в соответствии с ГОСТ 18509–88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний» и ГОСТ 14846–81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний». Определение показателей осуществлялось на холостом ходу и в условиях нагрузочной характеристики.

Перед проведением замеров двигатель регулировали в соответствии с рекомендациями изготовителя и прогревали до рабочей температуры (температура охлаждающей жидкости: 85 – 90 °С, температура масла: 90 – 95 °С). Далее устанавливали нужную частота вращения коленчатого вала путем перемещения рычага регулятора частоты вращения (РЧВ), давали проработать двигателю 3 – 5 мин, после чего 3 – 5 раз проводили измерение показателей.

При снятии нагрузочной характеристики устанавливали постоянную частоту вращения коленчатого вала и последовательно увеличивали подачу топлива до нагрузок, соответствующих полной подаче. Измерение параметров проводили для нескольких постоянных частот вращения выбранных в диапазоне 1500 – 2200 оборотов.

В процессе измерений измеряли значения таких показателей как частота вращения коленчатого вала двигателя (n, об/мин); нагрузка на тормозе (Р, кгс); заданная порция топлива (ΔG, г); время работы двигателя на заданной порции топлива (t, мин); рабочая температура охлаждающей жидкости (Тох, °С); рабочая температура масла двигателя (Тм, °С); давление масла в системе смазки ($Р_м$, кгс/f); давление в конце такта сжатия по цилиндрам (Компрессия, МПа); уровень шума (Шум, дБ); концентрация диоксида углерода ($С_{CO2}$, %); концентрация оксида уг-

лерода (C_{CO}, %); содержание несгоревших углеводородов (C_{CxHy}, %); содержание оксидов азота (C_{NOx}, %); коэффициент поглощения света (k, $м^{-1}$); коэффициент ослабления света (N, %); температура отработавших газов ($T_{ОГ}$, °C).

По измеренным значениям производился расчет эффективных и индикаторных показателей рабочего цикла дизеля: крутящий момент (Ме, Нм); условное среднее давление механических потерь ($P_{мп}$, МПа); условная мощность механических потерь ($N_{мп}$, кВт); эффективная мощность двигателя (N_e, кВт); часовой расход топлива ($G_т$, кг/ч); удельный эффективный расход топлива (g_e, г/кВт ч); среднее эффективное давление (P_e, МПа); среднее индикаторное давление (P_i, МПа); средняя индикаторная мощность (N_i, кВт); условный механический, эффективный и индикаторный КПД двигателя [340, 403, 404, 405, 406, 407].

Также проводились сравнительные испытания работы двигателя Д-240 на товарном дизельном топливе и очищенном и обработанном некондиционном топливе в течение 100 ч. Помимо указанных выше показателей в этом случае контролировались износ комплекта поршневых колец в каждом цилиндре, износ коренных и шатунных вкладышей, физико-химические показатели мотрного масла до и после испытаний. Для этого поршневые кольца и вкладыши до и после испытаний взвешивались на аналитических весах (рисунок 3.20в) с точностью до 4 знака после запятой, а также измеряли среднюю высоту и радиальную толщину колец согласно ГОСТ 621–87, ГОСТ Р 53843–2010.



а б в

Рисунок 3.20 – Шумомер МЕГЕОН 92140 (а), копрессометр Автодело 40064 (б), аналитические весы СартоГосм 224-С (в)

Перед измерениями поршень, поршневые кольца и вкладыши ополаскивали

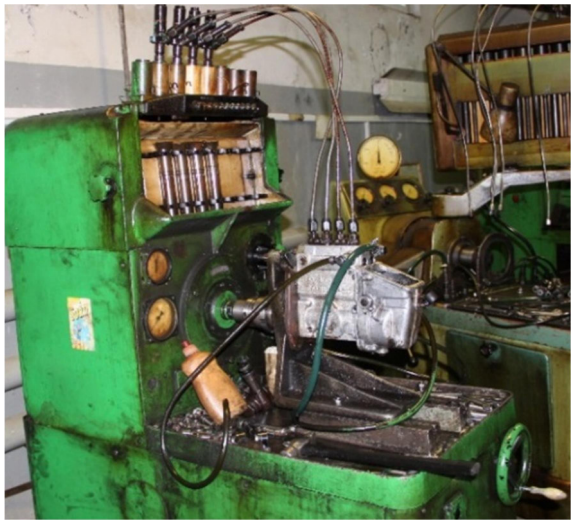
в бензине-калоше, просушивали и осматривали, отмечая обнаруженные повреждения.

Для удаления отложений с поршневых колец готовился раствор, состоящий из 100 г хозяйственного мыла и 100 г технической кальцинированной соды, а также по 10 г жидкого натриевого стекла и дихромата калия на 10 л воды. Кольца помещали в раствор с температурой 85 – 90 °С и выдерживали 3 часа, после чего протирали хлопчатобумажной тканью, промывали горячей водой и просушивали. Прилипшие отложения очищали деревянным или медным скребком [83].

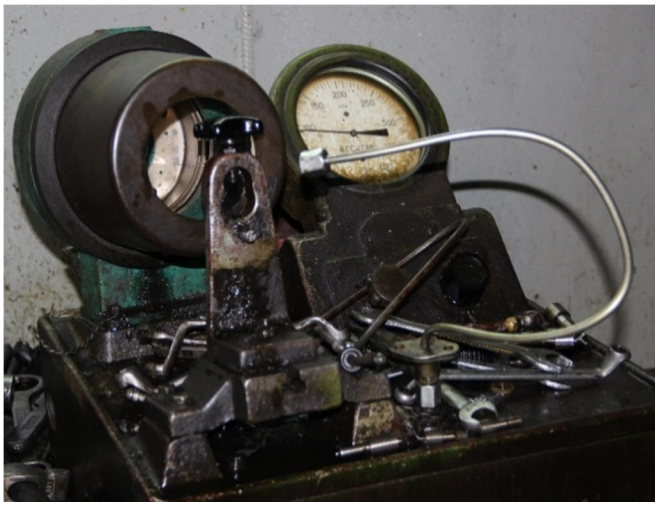
Из масляной системы двигателя после завершения этапа испытаний отбирали пробу масла 0,5 л для анализа физико-химических показателей и сравнивают их со значениями для исходного масла.

3.13.3. Методика стендовых испытаний топливной аппаратуры

Проверку работы топливной аппаратуры сельскохозяйственной техники на различных видах моторного топлива проводили при помощи стенда КИ-921М (рисунок 3.21а). Перед ними производилась проверка технического состояния и регулировка и форсунок на приборе КИ-3333 (рисунок 3.21б) по качеству распыливания топлива и давлению начала впрыскивания.



а



б

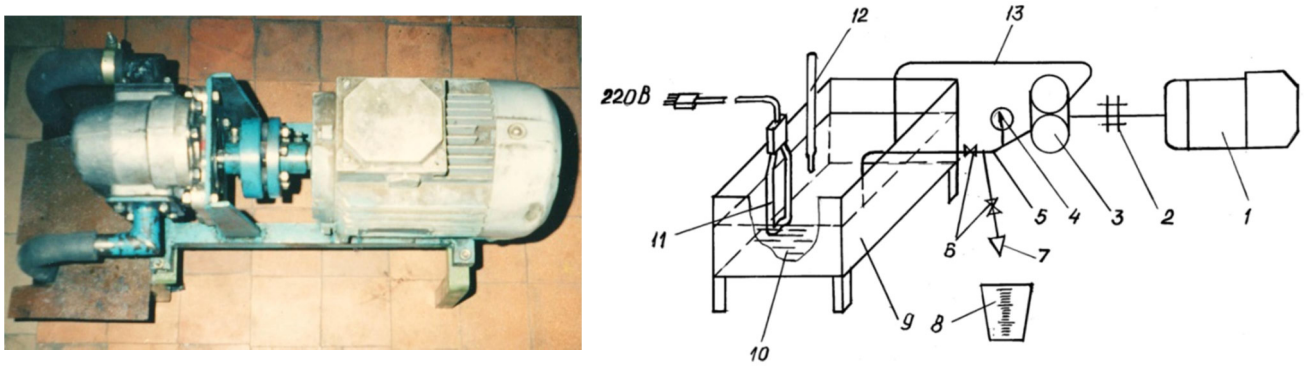
Рисунок 3.21 – Стенд испытания топливной аппаратуры КИ-921М (а) и прибор для регулирования форсунок КИ-3333

Мероприятия по настройки и регулированию ТНВД включают следующие операции: контроль работы насоса на частоте вращения вала на 200 об/мин выше номинальной; проверку давления топлива в головке насоса при 600 об/мин и полностью включенной подаче топлива; проверку угла начала нагнетания топлива первой (базовой) секцией; проверку герметичности и давления открытия нагнетательных клапанов. Не должно наблюдаться стуков, заеданий рейки, единичных прихватов плунжера, подтеканий топлива, местных нагревов свыше 80 °С. Разница в давлении открытия нагнетательных клапанов не должна превышать 0,3 МПа.

После проведения настройки и регулировки топливной аппаратуры сравнивали основные показатели ее работы на разных видах топлива. За исходное принималось летнее дизельное топливо. Через 120 часов проверку повторяли.

3.13.4. Методика стендовой оценки гидродинамических свойств масел

Противоизносные добавки должны улучшать смазывающую способность и изменять гидродинамические характеристики масел. Экспериментальная оценка влияния добавок на свойства масел осуществляется по контролю расхода жидкостей через калиброванную насадку установки с шестеренчатым насосом НШ–32 (рисунок 3.22).



а б

1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – насос шестеренчатый; 4 – манометр; 5 – патрубок; 6 – вентили; 7 – калиброванная насадка; 8 – мерная емкость; 9 – емкость; 10 – исследуемый состав; 11 – нагреватель; 12 – термометр; 13 – патрубок всасывающий

Рисунок 3.22 – Общий вид (а) и принципиальная схема (б) экспериментальной установки для исследования гидродинамических свойств масел

Теоретический расход жидкости Q, м^3/с можно определить по уравнению:

$$Q = \mu F \sqrt{2gH}, \tag{3.7}$$

где F – площадь сечения отверстия насадки, м^2; H – напор, м; μ – коэффициент истечения жидкости через насадку, g – ускорение свободного падения.

Исследуя истечение через насадку при постоянном давлении эталонного масла и масла с добавкой в различной концентрации можно выявить зависимости и определить концентрации добавки, приводящие к нужному эффекту – значительному снижению гидродинамического сопротивления.

По степени износа деталей насоса, определяемой по результатам осмотра, микрометража и гравиметрии деталей до и после испытаний, можно судить о смазывающих свойства модифицированных масел (рисунок 3.23).

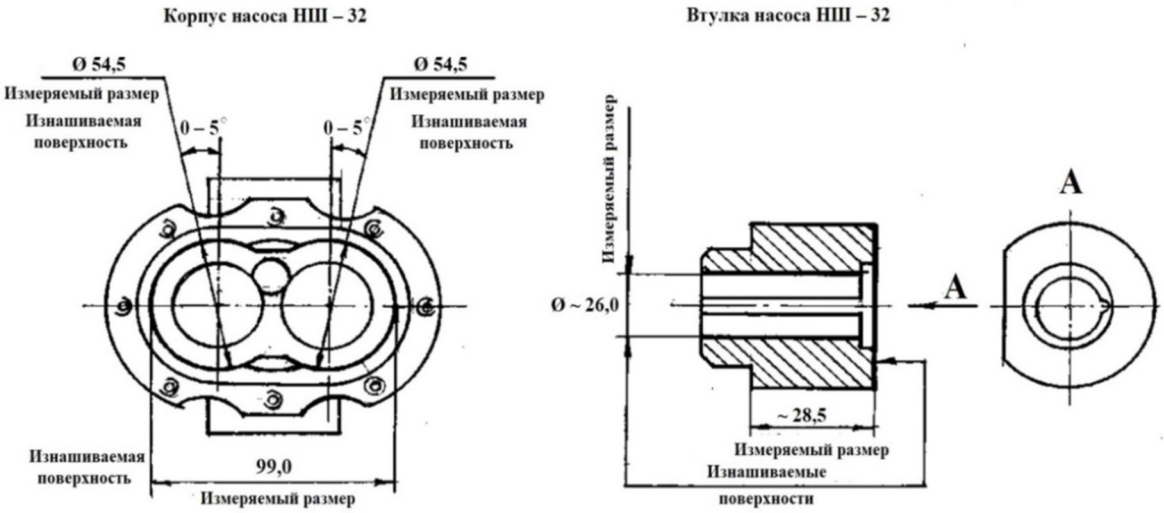
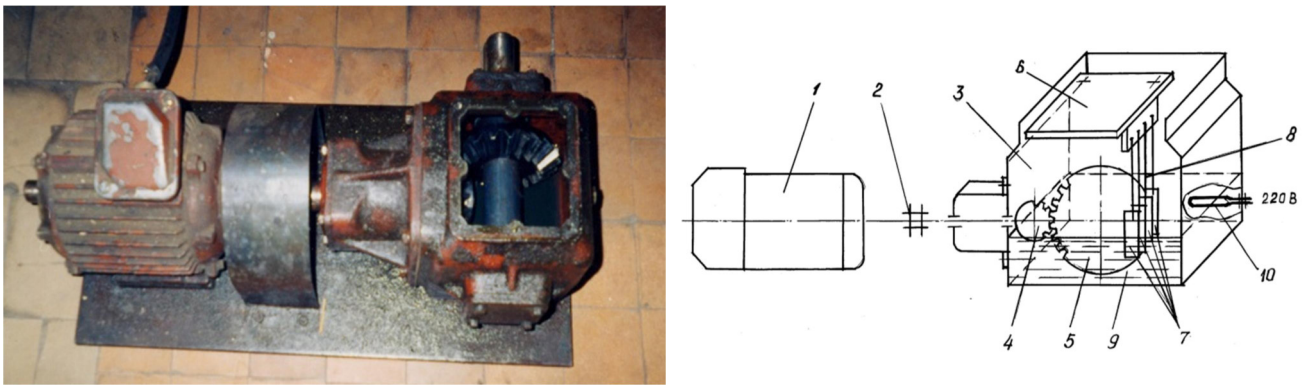


Рисунок 3.23 – Контролируемые параметры деталей насоса НШ–32

Длительность испытаний составляет 50 – 100 ч при контролируемом давлении – 3 – 5 кгс/см^2.

3.13.5. Методика стендовой оценки пенообразования, моющих и антикоррозионных свойств масел

Для исследования пенообразующей способности в стенд-редуктор (рисунок 3.24) заливается исследуемая композиция необходимой температуры и в течение 5 мин осуществляется перемешивание. После этого мерной линейкой несколько раз измеряется высота образовавшегося слоя пены вплоть до её полного оседания.



а б

1 – электродвигатель; 2 – муфта; 3 – корпус редуктора; 4 – ведущая коническая шестеренка редуктора; 5 – ведомая коническая шестеренка редуктора; 6 – крышка редуктора с кронштейном для подвеса пластин; 7 – исследуемые пластины; 8 – проволочные подвески; 9 – исследуемый состав; 10 – электронагреватель

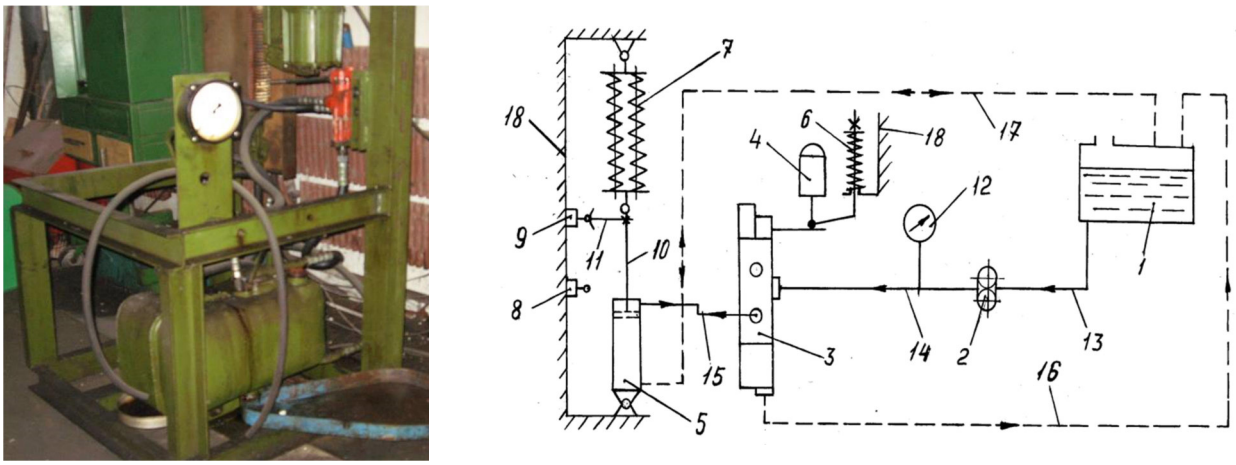
Рисунок 3.24 – Общий вид (а) и принципиальная схема (б) экспериментальной установки для исследования пенообразования, моющих и антикоррозионных свойств масел

Для исследования моющих свойств подготовленные металлические пластины с нанесенными на них загрязнениями, а также контрольные чистые пластины подвешиваются на специальном приспособлении крышки редуктора и заливается исследуемое масло. При оборотах ведомой шестерни 1000 об/мин пластины выдерживаются в работающей смеси в течение 60 мин, после чего помещаются в емкость для стекания излишков жидкости и через 1 час взвешиваются, визуально анализируются.

Коррозионное действие исследуемого масла оценивается аналогично по предварительно очищенным пластинам из железа и меди. В редукторе пластины выдерживаются в течение 100 часов работы. Коррозионное воздействие определяется визуально.

3.13.6. Методика проведения стендовых испытаний гидравлических масел и их аналогов

Испытания гидравлических масел осуществлялись на специально разработанном в ФГБНУ ВИИТиН стенде, моделирующем работу гидравлической системы навески трактора (рисунок 3.25).



а б

1 – масляный бак; 2 – шестеренный насос; 3 – гидрораспределитель; 4 – электромагнитный блок; 5 – гидроцилиндр; 6 – устройство возврата электромагнита в исходное положение; 7 – нагрузочное устройство; 8 – включатель счетчика рабочих циклов гидроцилиндра; 9 – включатель электромагнита; 10 – шток гидроцилиндра; 11 – штанга управления включателями; 12 – манометр; 13 – всасывающая гидролиния; 14, 15 – напорные гидролинии; 16 – сливная гидролиния; 17 – линия, соединяющая нерабочую полость гидроцилиндра с баком; 18 – рама стенда

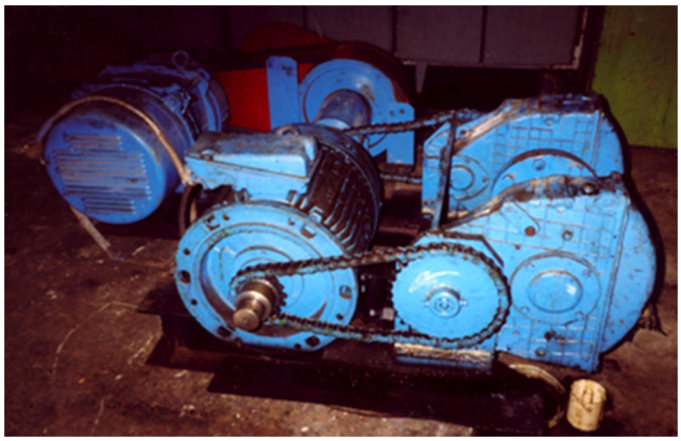
Рисунок 3.25 – Общий вид (а) и принципиальная схема (б) стенда, моделирующего работу гидравлической системы навески трактора

В процессе испытаний в маляный бак стенда заправляется исследуемая гидравлическая жидкость (масло) и после включения стенда выполняется рабочий цикл гидроцилиндра, через который из гидрораспределителя нагнетается исследуемое масло. Количество циклов работы гидросистемы – 10000. По результатам испытания оценивалась смазывающая способность модельных гидравлическихжидкостей по работоспособности и уровню износа основных трущихся деталей стенда – насоса НШ-10ЕЛ и гидрораспределителя Р–75–22, а также контролировалась динамика «старения» масла по изменению его вязкости, кислотного числа, содержанию механических примесей и железа.

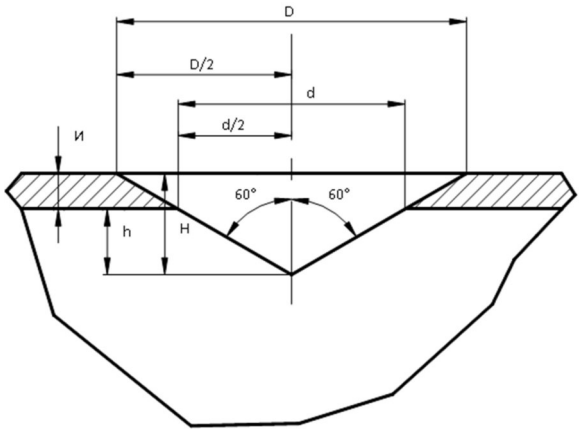
3.13.7. Методика проведения стендовых испытаний трансмиссионных масел и их аналогов

Для проведения сравнительных стендовых испытаний трансмиссионных масел был разработан стенд, моделирующий работу трансмиссии, состоящий из

2-х бортовых редукторов трактора Т–40А, нагрузочного устройства, электропривода, закрепленных на станине, шкафа управления (рисунок 3.26а).



а



б

Рисунок 3.26 – Общий вид стенда, имитирующий работу редукторов трактора (а) и схема измерения параметров износа шестерен (б)

При проведении испытаний каждые 100 часов наработки контролировалось изменение физико-химических показателей исследуемых масел и износ зубьев шестерен редукторов. Для этого на шестернях произвольно выбирались пять зубьев подряд на поверхности которых конусным наконечником наносились метки произвольной глубины, расположенные в середине зуба по ширине и на расстоянии 2 – 3 мм от поверхности окружности выступов. Диаметр метки должен был быть не более 1 мм. Измерение диаметров нанесенных меток проводили микроскопом с окулярным микрометром МОВ–1–15^{X} (цена деления шкалы – 0,01 мм, увеличение окуляра – 15).

В соответствии со схемой измерения меток на шестернях редукторов (рисунок 3.26б) износ зубьев определяется как разность глубины метки при начальном и последующем измерении диаметров меток:

$$И_i = H - h_i, \qquad (3.8)$$

где $И_i$ – износ после i часов наработки, мм; H – глубина метки при начальном измерении (до испытаний), мм; h_i – глубина метки при последующем измерении через i часов наработки.

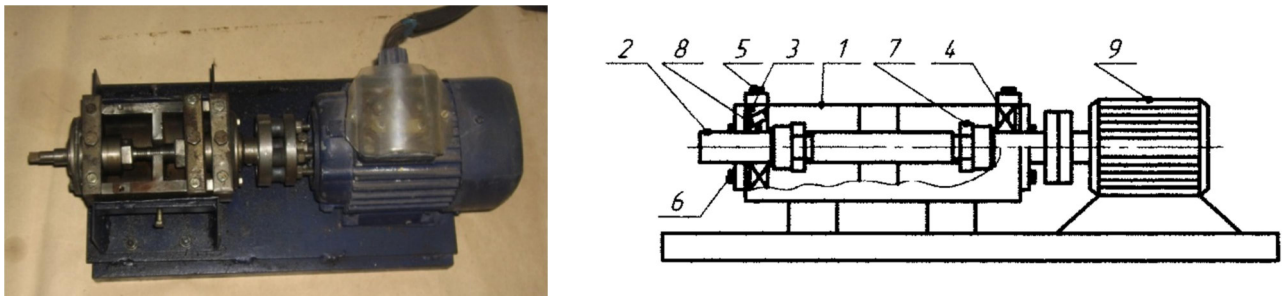
Учитывая, что $H = D\ (2\ tg\ 60°)^{-1}$, а $h_i = d_i\ (2\ tg\ 60°)^{-1}$, где где D – диаметр метки при начальном измерении, мм; d_i – диаметр метки при последующем изме-

рении через i часов наработки, мм, $tg\ 60°$ – тангенс угла между вертикальной осью, проходящей через вершину конусной метки, и конусной поверхностью метки, окончательное выражение для подсчета величины износа после каждого цикла наработки будет иметь вид:

$$И_i = 0{,}2887\ (D - d), \tag{3.9}$$

3.13.8. Методика проведения стендовых испытаний пластичных смазок

Для испытаний смазок в подшипниках качения использовался стенд, обеспечивающий оценку степени износа подшипников качения и расхода смазочного материала в жестких условиях работы (рисунок 3.27).



а б

1 – ванна-корпус, разделенная на две части; 2 – вал; 3, 4 – конические подшипники;
5 – внешняя часть подшипника; 6 – фиксатор; 7 – прижимная гайка;
8 – внутренняя часть подшипника, 9 – электродвигатель

Рисунок 3.27 – Общий вид (а) и схема (б) стенда для испытания смазок в подшипниках качения

Для проведения сравнительных испытаний модельных смазок использовались новые конические подшипник качения марки G – 78049 или № 7203А, предварительно промытые, высушенные и взвешенные на аналитических весах. В подшипники закладывалась исследуемая смазка, после чего они закреплялись на валу 2 с помощью крепежных элементов 6 и 7, обеспечивающих неподвижность внешней части и вращение внутренней части совместно с валом. Нагрузка задавалась динамометрическим ключом.

Частота вращения вала составляла 1000 об/мин. Для имитации работы подшипников в реальных условиях эксплуатации в корпус-ванну 1 стенда заливалась вода.

В качестве исследуемых смазок выступали товарные пластичные смазки типа «Солидол Ж» и «Литол», а также их аналоги, полученные на основе очищенных отработанных масел, растительного сырья. В ходе испытаний оценивали температуру и износ поверхностей обоймы подшипника. После проведения испытаний – массу оставшейся в подшипнике смазки, а также наличие в ней механических примесей и содержание железа.

3.14. Проведение производственных, полевых испытаний

По результатам сравнительных стендовых испытаний (раздел 3.13), выбирались наилучшие по эксплуатационным характеристикам составы моторных топлив, гидравлических, трансмиссионных масел и пластичных смазок, полученные с помощью разработанных технологических процессов и технических средств. Они использовались при проведении полевых испытаний в условиях повседневной работы сельскохозяйственной техники. Помимо полученных образцов определялись особенности применения разрабатываемых технологических процессов и технических средств рационального использования нефтепродуктов на действующих предприятиях.

Полевые испытания новых методов экспресс-анализа показателей качества проводились в хозяйствах Тамбовской и Воронежской областей параллельно с лабораторным анализом отобранных проб нефтепродуктов. После чего результаты сравнивались и определялось их соответствие.

Перед проведением полевых испытаний в наблюдаемой технике проводился слив работавшего масла, промывка смазочной системы, очистка центрифуг и замена фильтрующих элементов, после чего заливалось свежее товарное масло. Отбор проб и анализ показателей проводился в соответствии с методиками, представленными в разделах 3.2, 3.10 через каждые 100 часов наработки.

Испытания технологического процесса очистки топлива и улучшения его свойств включали следующие этапы:

1. Производственная проверка технологического процесса на базе ООО «Акцент Агро» (г. Тамбов), поставщика ТСМ в сельхозпредприятия.

2. Производственная проверка технологического процесса получения модифицированного топлива с добавками на основе возобновляемого сырья на базе ООО «НИЦ ТЕАС–МО» (г. Саратов), ООО «КИЦЭМ» (г. Калуга).

3. Полевые испытания моторного топлива с улучшенными свойствами, полученного по разработанному технологическому процессу, в сельскохозяйственной технике, работающей в сельхозпредприятиях Тамбовской и Саратовской областей.

На первом этапе анализировалось качество дизельного топлива, хранящегося на нефтескладе поставщика. Обнаруженное некондиционное топливо очищалось и обрабатывалось с использованием технических средств, изготовленных на экспериментальном производстве ФГБНУ ВНИИТиН (патенты РФ № 2477303, 2645676 [4, 13]), после чего в него при температуре топлива 40 – 60 °С вносилась низкотемпературная добавка ДДП-антигель. Перемешивание и подогрев топлива при этом осуществлялось с помощью смесителя-активатора. Контроль физико-химических показателей топлива в производственных условиях осуществлялся при помощи экспресс-лаборатории ЭЛТ–1. При их соответствии нормативным требованиям топливо отправлялось на реализацию потребителям.

На втором этапе испытывали технологический процесс получения биодобавки к дизельному топливу из возобновляемого жирового сырья (некондиционное растительное масло). Причем в ООО «НИЦ ТЕАС–МО» технологический процесс проверялся в условиях небольшого предприятия (аналогичного фермерскому хозяйству) с помощью набора оборудования меньшей производительности, чем в ООО «КИЦЭМ», где испытания проходила опытно-промышленная установка получения биотоплива. Такое разделение позволило опробовать различные сценарии использования разработанного технологического процесса и его аппаратурного оформления в зависимости от исходных требований, условий и возможностей потребителя.

На предприятии ООО «НИЦ ТЕАС–МО» получение компонента смесевого топлива проводили из двух видов растительных масел – «Крамбе» и «Редьки масличной». Для приближения к реальным условиям сельскохозяйственных производств масло из редьки ($К_ч$ = 2,7 мг КОН/г) было отжато перед процессом синтеза

на малогабаритном маслопрессе для фермерских хозяйств, производства ООО «НИЦ ТЕАС–МО», а масло крамбе хранилось несколько лет и было определено как «некондиционное» ($К_ч$ = 24,3 мг КОН/г).

В связи с этим синтез из масла «Крамбе» в соответствии с разработанным технологическим процессом проводили в две стадии: I – реакция этерификации с использованием как катализатора серной кислоты (0,5 % от массы масла), II – реакция переэтерификации с добавлением гидроксида калия (2 %). Спирт – метиловый, 20 % на стадии I и 2 % на стадии II.

Синтез из масла «Редьки масличной» проводим в одну стадию – реакция переэтерификации с добавление гидроксида калия (2,5 %) и метилового спирта (20 %) при температуре 50 – 55 °С в течение 45 минут.

Полученные эфирные фазы смешивали с дизельным топливом с помощью стенда очистки СОГ-913 – соотношение МЭРМ : ДТ составляло 40 : 60. Определяли физико-химические характеристики и хроматограммы состава приведены полученного смесевого топлива.

В ООО «КИЦЭМ» испытания проходила опытно-промышленная установка получения биотоплива УБТРМ–600. В качестве исходного сырья использовано 600 кг рыжикового масла повышенной кислотности масла (7 мгКОН/г), 120 л метанола, 12 кг щелочи КОН, 3.8 л ортофосфорной кислоты, 220 л проточной воды. Так как кислотность масла не значительно превышает показатель для нерафинированного масла было решено проводить синтез в 1 стадию увеличив количество катализатора до 3 %.

В процессе испытаний проводилось проверка автоматического управления стадиями процесса, корректности работы оборудования, времени операций. Рыжиковое масло по счетчику насосами закачалось из емкости для хранения в емкость предварительного смешивания. Туда же насосом закачался приготовленный алкоголят – смесь метанола и щелочи. После этого включалась циркуляции смеси через вихревой реактор. После прохождения цикла переэтерификации смесь насосом автоматически сливалась в отстойник для разделения эфира и глицерина. После разделения программа автоматически добавила кислоту в эфир для нейтрализации остаточной щелочи. Далее через 3 – 4 минуты насос перекачивал нейтрали-

зованный эфир в емкость для промывки с одновременным заливом воды. Через 10 мин перемешивания и отстаивания происходил слив воды в бак для отходов. Далее эфир переливался в предварительно подогретый бак для выпаривания где жидкость нагревали до 100 °С, после чего происходил процесс выпаривания в течение 10 – 15 мин. В процессе выпаривания для ускорения процесса конденсации паров воды несколько раз включался компрессор. После завершения пароотделения процесс выпаривания останавливался и начинался процесс откачки полученного продукта в емкость для хранения. В процессе откачки была взята проба жидкости для лабораторного анализа на соответствие требованиям ГОСТ Р 53605–2009 (ЕН 14214:2003).

На заключительном этапе модифицированные топлива проходили проверку в хозяйствах Тамбовской и Саратовской областей на тракторах МТЗ–80, ЮМЗ–6Л, ДТ–75. Проводилась сравнительная оценка среднего расхода топлива, загрязненности выхлопных газов, форсунок при работе тракторов на модифицированном и не модифицированном топливе. Проводилось сравнение изменения характеристик топливной аппаратуры трактора МТЗ-80 при использовании дизельного топлива и дизельного смесевого топлива по методике, описанной в разделе 3.13.

Перед началом испытаний в тракторы заправлялось свежее моторное масло, менялись топливные фильтры. Перед заправкой очередного образца топлива производили замену фильтров грубой и тонкой очитки, проводили прокачку всей топливной системы.

Полевые испытания аналогов трансмиссионных и гидравлических масел проводились в тракторах марок МТЗ–80, МТЗ–82.1, ДТ–75М, Т–150К, эксплуатирующихся в СПК «Комсомолец», ФГУП ПЗ «Пригородный» Тамбовской области. Перед началом испытаний из узлов и агрегатов сливалось работающее масло, проводилась промывка трансмиссий и гидросистем, после чего заправлялось испытуемое масло. Через каждые 100 часов наработки из картеров и баков узлов и систем отбиралась проба масла объемом 150 – 200 мл и проводился анализ основных физико-химических показателей наблюдаемых масел. До и после завершения испытаний оценивались трибологические свойства наблюдаемых масел по пятну износа на четырехшариковой машине трения.

Испытания пластичных смазок проводили в узлах трения зерноуборочных комбайнов и прицепной жатки, эксплуатировавшихся с июля по сентябрь в СХПК ПЗ – колхоз им. Ленина Тамбовской области. Для проведения испытаний по разработанным технологиям готовили по 5 кг смазок аналогов Солидол Ж и Литол – 24. В полевых условиях смазываемый узел разбирали, промывая от загрязнений и старой смазки, оценивали его состояние. Затем наблюдаемый узел собирали обратно и при помощи смазконагнетателя в него заправлялось испытуемая смазка. Параллельно с экспериментальными образцами смазки в симетричные узлы заправлялись образцы товарных смазок Солидол Ж и Литол – 24.

В процессе испытаний измерялась температура подшипников. После завершения испытаний оценивались температура каплепадения, содержание железа и наличие загрязнений в отработанной смазке.

3.15. Выводы

1. Разработано и изготовлено экспериментальное оборудование для исследований процессов очистки и способов обработки моторных дизельных топлив, оказывающее на проходящую через них жидкость специфическое физико-химическое воздействие.

2. Разработано и изготовлено приборно-стендовое оборудование для экспериментальных исследований процессов получения добавок к нефтепродуктам на основе возобновляемого сырья, приготовления дизельного смесевого топлива различного состава.

3. Разработано и изготовлено стендовое оборудование для экспериментальных исследований процессов получения вторичных масел и смазок, их поведения в узлах и агрегатах сельскохозяйственной техники, в том числе стенды моделирующие работу подшипников качения, гидравлической системы и трансмиссии трактора в жестких условиях работы.

4. Разработаны частные методики сравнительных экспериментальных исследований эксплуатационных свойств моторных топлив, масел и смазок с помощью изготовленного стендового оборудования.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В соответствии с поставленными задачами исследований и методиками их проведения были получены экспериментальные результаты, анализ которых позволил разработать для применения, прежде всего в условиях предприятий АПК, новые методы контроля, восстановления и улучшения качества нефтепродуктов, с приоритетом, подтвержденным соответствующими патентами. Они базируются на теоретических предпосылках, приведенных в разделе 2 и лежат в основе технологических процессов, представленных далее в разделе 5. Их можно разделить на методы восстановления и улучшения качества дизельного топлива и методы очистки и восстановления свойств отработанных масел, создания на их основе вторичных продуктов.

4.1. Результаты оценки состояния качества и свойств нефтепродуктов, используемых в сельскохозяйственном производстве

4.1.1. Изменения качества дизельного топлива в процессе хранения и анализ состояния нефтескладского оборудования сельхозпредприятий

Как уже упоминалось в разделе 1 массового мониторинга качества топлив и смазочных материалов в сельскохозяйственном производстве не проводится. Более-менее регулярно такой деятельностью занимаются только машинно-испытательные станции (МИС), которые иногда публикуют свои отчеты в открытом доступе. Так по данным обследований, проведенных ФГБНУ «Алтайская МИС» в период с 2010 по 2012 г., количество проб бензинов и дизельных топлив, не соответствующих требованиям нормативной документации, составило в 2010 г. 7 %, в 2011 г. – 9,6 %, в 2012 г. – 13,7 % [34, 408, 409]. В 2013 – 2014 г. ФГБНУ «Центрально-Черноземная МИС» отметила наличие несоответствия требованиям по октановому числу, фракционному составу, плотности, содержанию механических примесей и воды у 15 % исследованных проб светлых нефтепро-

дуктов [34, 408, 410]. По данным мониторинга ГСМ, проведенного ФГБНУ «Владимирская МИС» в период с 2011 по 2013 г., около 30 % из всех отобранных проб дизельного топлива оказались недоброкачественными. При этом топливо, произведенное по ГОСТ 305, не соответствовало ему по показаниям кинематической вязкости и температуре застывания, а топливо Евро (ГОСТ 52368) – по фракционному составу и плотности [34, 408, 411].

Что касается качества топлива в целом по стране, контрольно-надзорные мероприятия в отношении организаций нефтепродуктообеспечения проводит Росстандарт. В 2022 году такие мероприятия были проведены на 347 объектах нефтепродуктообеспечения, нарушения были обнаружены на 72 АЗС. Было отобрано и испытано 259 образцов автомобильного бензина и дизельного топлива, из них 10 образцов не соответствовали установленным нормам, что составило 3,9 %. Доля нарушений в 2021 году составила 4,9 %, в 2020 – 7,8 %, а в 2015 году - более 20 %.Наиболее характерными нарушениями были нарушения таких физико-химических показателей, как «массовая доля серы» и «температура вспышки в закрытом тигле» [412].

В соответствии со своей областью деятельности ФГБНУ ВНИИТиН в течение многих лет проводит мониторинг качества нефтепродуктов, поступающих сельскохозяйственным производителям Тамбовской, Воронежской, Липецкой областей. Автор работы неоднократно участвовал как в непосредственном отборе и анализе проб нефтепродуктов, так и руководил процессом, утверждая и выдавая заключения. Установлено, что в разные периоды наблюдений от 7 до 25 % из отобранных проб бензинов и дизельных топлив имели несоответствия по одному или нескольким показателям качества. Уже при закупке часть ТСМ, попадающих в хозяйства, не соответствует нормам качества и характеризуется измененным химическим составом (завышенное содержание серы, полициклических и ароматических соединений), сильно облегченным или утяжеленным фракционным составом, наличием большого количества парафиновых углеводородов и даже запрещенных к применению присадок (таблица 4.1) [34, 396, 408, 413].

Таблица 4.1 – Примеры недоброкачественных проб дизельного топлива, поставлявшихся в хозяйства Тамбовской области

Показатели	№ образца						ГОСТ Р 52368 – 2005 Умеренный / Холодный и арктический климат	ГОСТ 305–82 Летнее / Зимнее	ТР ТС 013/2011
	1	2	3	4	5	6			
Цетановый индекс, не менее	42	41	41	45	43	42	46 / 43…46	–	–
Фракционный состав:									
до температуры 180 °С, % (об.)	28	3	14	1	8	15	– / ≤ 10	– / –	–
при температуре 250 °С, % (об.)	67	40	49	42	62	38	≤ 65 / –	– / –	–
до температуры 340 °С, % (об.)	95	85	90	86	92	90	– / ≥ 95	– / –	–
при температуре 350 °С, % (об.)	97	89	93	90	96	91	≥ 85 / –	– / –	–
50 % (об.) перегоняется при темп., °С	229	267	252	263	234	275	– / –	≤ 280 / ≤ 280	–
95 % (об.) перегоняется при темп., °С	340	379	357	380	345	–	≤ 360 / –	– / –	≤ 360
96 % (об.) перегоняется при темп., °С	346	384	361	383	350	–	– / –	≥ 360 / ≥ 340	–
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм^2/с	2,2	3,8	3,0	3,8	2,9	5,5	2,0…4,5* / 1,2…4,0*	3,0…6,0 / 1,8…5,0	–
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	23	56	35	55	46	38	> 55	≥ 40…62 / ≥ 35…40	40
Температура помутнения, °С (не выше)	-11	+1	-2	-10	-12	-4	– / – 10…– 34	– 5 / – 25…– 35	–
Предельная температура фильтруемости, °С	-18	-10	-13	-17	-15	-11	+5…– 20 / – 20…– 44	– 5 / – 25…– 35	– 15…– 38
Температура застывания, °С	-35	-25	-35	-27	-35	-12	– / –	– 10 / – 35…– 45	–
Плотность при 15 °С, кг/м^3	810	830	815	840	807	849	820…845 / 800…845	≤ 860 / ≤ 840**	–
Кислотность, мг КОН/100 см^3	1,0	1,5	2,1	3,6	1,7	2,4	– /–	≤ 5	–
Общее загрязнение, мг/кг	82	56	25	48	30	250	≤ 24	отсутствие	–
Содержание воды, мг/кг	200	100	200	300	500	400	≤ 200	отсутствие	
Содержание серы, мг/кг	310	1987	321	192	463	5000	10…350	2000…5000	10…500
Содержание меркаптановой серы, %	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,03	–	≤ 0,01	–
Содержание ПАУ, %	8	5	7	3	11	4	11	– / –	8…11
Концентрация фактических смол, мг/100 см^3	56	39	21	27	42	104	–	30…40	–
Зольность, %	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,03	≤ 0,01	≤ 0,01	–
Скорректированный диаметр пятна износа при 60 °С, мкм	472	455	474	460	482	392	≤ 460	–/ –	460

* При температуре 40 ºС

** При температуре 20 ºС

Большое количество проб имеют повышенную загрязненность механическими примесями и водой образующимися в процессе транспортировки и хранения, превышения по концентрации фактических смол, особенно у хранящихся топлив, являющиеся следствием неудовлетворительной химической стабильности; небольшие несоответсвия по цетановому числу; отклонения по фракционному составу.

В целом применение некондиционных топлив снижает мощность двигателя на 10 – 25 %, увеличивает расход топлива на 20 – 30 %, а также приводит к резкому росту количества и канцерогенности компонентов отработанных газов. Отработанные газы в этом случае содержат канцерогенные полиароматические углеводороды, их нитропроизводные, а также большое количество сажи и оксидов азота, которые соединяясь с парами воды, создают ядовитый туман – смог. При этом затраты на ремонт и техническое обслуживание техники возрастают на 40 – 60 %, а себестоимость производства сельскохозяйственной продукции увеличивается на 10 – 15 % [414].

Значительное влияние на качество дизельного топлива оказывают технические средства его хранения [415], в первую очередь нефтескладское оборудование. Техническое состояние нефтескладского оборудования является одним из основных факторов, влияющих на загрязненность и обводненность дизельного топлива, используемого в сельском хозяйстве. Проведенные обследования средств доставки и заправки нефтепродуктов, резервуарного парка нефтескладов сельскохозяйственных предприятий (рисунок 4.1) показал, что срок службы резервуаров составляет 35 и более лет, до 70 % из них находятся в аварийном состоянии. Заправка сельскохозяйственной техники, зачастую, происходит с использованием внештатных средств, а заправочные операции производятся на полевых станах или непосредственно в поле, что ведет к попаданию влаги и механических примесей как в бак топливозаправщика, так и в баки заправляемой техники. Кроме того, суточные колебания температуры также влекут за собой усиление образования свободной воды в ёмкостях, которые затем вместе с топливом попадает в топливную систему тракторов и комбайнов.



КФХ
(с. Маховищи, Липецкая область)







ООО «Славянка»
(с. Казьминка, Мордовский район Тамбовской области)



ООО «Бахаревское»
(д. Бахаревка, Сампурский район Тамбовской области)











СХПК «Родина» (с. Лавровка, Мордовский район Тамбовской области)

СХПК «Серп и Молот»
(с. Шульгино, Мордовский район Тамбовской области)

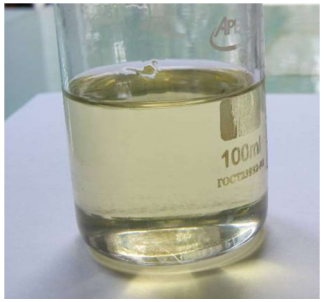


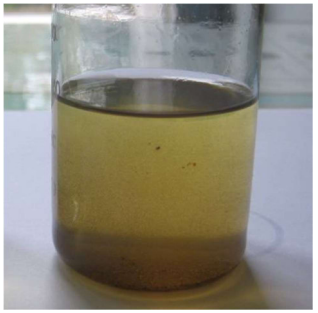


ООО «Никольское» (с. Никольское Рассказовский район Тамбовской области)



ООО «Русь» (с. Кужное, Мордовский район Тамбовской области)





Топливо «до» и «после» заливки в резервуар

Рисунок 4.1 – Примеры неудовлетворительного состояния нефтехранилищ сельскохозяйственных предприятий

Поверхность металла, покрытая продуктами коррозии или соединениями, обладающими свойствами пористых сорбентов, способна, вследствие капиллярной конденсации, поглощать из воздуха большое количество водяных паров при давлениях ниже давления насыщенного пара. Это особенно характерно для условий, когда практически «сухое» топливо заливается в емкости и топливные системы, длительное время находившиеся незаполненными.

Наличие 1 % воды в топливе увеличивает интенсивность изнашивания плунжерных пар примерно в 1,6 раза [31, 34, 416], способствует увеличению скорости коррозии, нарушению нормального процесса сгорания топлива, ухудшению его прокачиваемости и фильтруемости, что значительно повышает износ двигателя. Наличие воды ухудшает работоспособность элементов фильтра тонкой очистки, снижаются эффективность очистки топлива и ресурс работы фильтра [31, 34]. При отрицательных температурах происходит кристаллизация микрокапель воды. Установлено, что до 18 % фильтрующих элементов набухают и деформируются из-за наличия свободной воды в топливе, более 35 % фильтров тонкой очистки теряют свою работоспособность. Ресурс фильтра тонкой очистки часто снижается с 1500 до 200 часов. Кроме того, присутствие свободной воды приводит к неравномерному распыливанию топлива [31, 34, 185]. Например в одном из наблюдаемых хозяйств в течение нескольких сезонов происходил выход из строя тракторов New Holland и CLASS из-за «некачественного», по словам обслуживающих организаций топлива, особенно в весенний и осенний периоды, хотя по закупочным документам, топливо соответствовало всем нормам. Как выяснилось в процессе отбора и анализа проб в хозяйстве применялось топливо с несоответствующими условиям низкотемпературными свойствами, которое дополнительно при хранении обогащалось сконденсировавшейся водой из-за недостатков в состоянии нефтехранилищ. В результате выходила из строя топливная аппаратура, забивались топливные фильтры, отказывали форсунки в двигателе. Из восьми зарубежных тракторов неисправность в той или иной степени успела проявиться у пяти машин.

Ресурс топливного насоса высокого давления (ТНВД) и форсунки на 80 % обусловлен износом деталей и в первую очередь износом плунжерных пар. Определяющим видом изнашивания является гидроабразивное. Топливо, перетекая из

полостей низкого давления, увлекает за собой твердые механические частицы, которые снимают с поверхностей прецизионных деталей микростружку. Плунжерные пары и клапаны ТНВД в результате такого вида изнашивания имеют местный износ (рисунок 4.2).



Плунжерная пара 445-16С-15 трактора ДТ-75



Клапан нагнетательный ТНВД УТН-5 трактора МТЗ-80



Игла распылителя 171 трактора МТЗ-1221

Рисунок 4.2 – Примеры износа элементов топливной аппаратуры дизельной техники, вызванные влиянием воды и механических примесей

Анализируя влияние износа плунжерной пары на подачу топлива можно отметить, что в результате износа снижается цикловая подача, растет неравномерность топливоподачи секциями, уменьшается производительность насосной секции, а угол начала впрыска смещается в сторону запаздывания. Кроме того, изменяется продолжительность впрыска топлива. Изношенные пары подают значительно меньше топлива, чем новые. Изношенные плунжерные пары не обеспечивают подачу необходимого количества топлива на малых оборотах и при малых активных ходах плунжера. В зависимости от загрязненности топлива срок службы ТНВД может уменьшаться в 5 – 6 раз.

Стоимость ремонта двигателя и замены деталей топливной аппаратуры, а также время простоя техники при этом подчас приводят к значительным экономическим затратам, а порой дестабилизирует весь процесс производства сельскохозяйственной продукции.

Таким образом, как показывает проводимый на протяжении нескольких лет мониторинг качества поступающего в хозяйства дизельного топлива, далеко не всегда его качество удовлетворяет предъявляемым требованиям. Существует противоречие между ростом качества дизельного топлива, позиционируемого заводами – изготовителями, и фактическим низким качеством топлива, используемого в сельхозпредприятиях, приводящим к увеличению отказов техники. Этот своеобразный парадокс является следствием совокупности причин: закупки у ненадежных поставщиков с нестабильным качеством продукции при отсутствии контроля качества приобретаемого топлива; ухудшение качества топлива в процессе доставки до конечного потребителя по всей цепочке посредников, промежуточных перевалочных станций и доставщиков; техническая несостоятельность баз хранения нефтепродуктов сельскохозяйственных предприятий, нарушение технологии хранения; применение несезонного топлива, особенно зимой.

4.1.2. Изменения характеристик смазочных материалов, применяемых в сельскохозяйственной технике

Помимо тракторов и комбайнов отечественного производства за последнее время в нашей стране широкое распространение получила техника зарубежных производителей – John Deere, Case, New Holland, Claas и др. Сложившаяся практика предполагает применение в такой технике определенных масел и смазок иностранных производителей, рекомендованных заводами-изготовителями, особенно в период гарантийного обслуживания, в связи с чем сельским товаропроизводителям для обслуживания машин доступен достаточно ограниченный ассортимент смазок, предлагаемых сервисными центрами, осуществляющими гарантийное обслуживание. Поэтому наряду с контролем качества дизельных топлив проводились наблюдения и анализ изменения качества приобретаемых и используемых хозяйствами смазочных материалов.

Результаты мониторинга качественных характеристик приобретаемых и хранящихся зарубежных и отечественных масел указывают на то, что заявленные нормативные значения не всегда соответствуют фактическим (таблица 4.2).

Таблица 4.2 – Примеры требуемых и фактических значений основных показателей качества некоторых смазочных масел, использовавшихся при обслуживании техники в сельскохозяйственных предприятиях Тамбовской области

Масло \ Показатель		Плотность при 20 °С, кг/м^3	Вязкость кинематическая при 100 °С, мм^2/с	Щелочное число, мг КОН/г	Кислотное число, мг КОН/г	Температура вспышки в открытом тигле, °С	Содержание механических примесей, %	Содержание воды, %
John Deere Plus 50 SAE 15W–40	Норм.	≤ 900	14,6	≥ 9,5	< 2,0	≥ 230	Отсутствие	Отсутствие
	Факт	880	14,4	9,8	2,1	231	Отсутствие	Отсутствие
	Факт	884	14,2	9,6	2,3	228	0,017	0,08
	Факт	912	16,1	7,5	2,9	193	Отсутствие	0,20
	Факт	895	15,4	6,2	2,1	220	0,005	0,03 (Следы)
Mobil Delvac MX SAE 15W–40	Норм.	≤ 885	14,2	9,2 – 10,0	< 2,0	≥ 215	Отсутствие	Отсутствие
	Факт	886	14,2	8,6	2,5	225	0,015	Отсутствие
Neste Turbo LXE SAE 15W–40	Норм.	≤ 885	14,3	≥ 9,5	< 1,5	≥ 224	Отсутствие	Отсутствие
	Факт	884	14,3	8,0	1,67	208	0,010	Отсутствие
FUCHS Titan Cargo MC SAE 10W–40	Норм.	≤ 876	14,6	10,0	< 1,5	≥ 230	Отсутствие	Отсутствие
	Факт	869	14,3	6,9	2,1	223	0,100	Отсутствие
Ambra Mastergold HSP SAE 15W–40	Норм.	≤ 885	14,4	11,1	Не нормир.	≥ 210	Отсутствие	Отсутствие
	Факт	888	15,1	12,9	2,3	210	Отсутствие	Отсутствие
	Факт	880	13,8	7,1	2,1	213	0,010	0,20
Claas Agrimot Ultratech SAE 10W–40	Норм.	≤ 885	13,4	10,5	Не нормир.	≥ 210	Отсутствие	Отсутствие
	Факт	863	13,6	10,9	2,3	210	Отсутствие	Отсутствие
	Факт	857	13,0	8,9	2,2	207	0,010	0,04
Claas Agrimot Select SAE 15W–40	Норм.	≤ 882	14,2	≥ 11	Не нормир.	≥ 220	Отсутствие	Отсутствие
	Факт	887	14,2	9,4	2,21	215	Отсутствие	0,03 (Следы)
Total Tractagri HDX SAE 15W–40	Норм.	≤ 887	14,2	11	Не нормир.	≥ 210	Отсутствие	Отсутствие
	Факт	877	14,3	8	2,5	212	0,005	0,04
John Deere HY-GARD GL3 / GL4	Норм.	≤ 880	9,3	9,8	Не нормир.	230	Отсутствие	Отсутствие
	Факт	878	9,4	8,1	1,9	227	Отсутствие	0,03 (Следы)
М–10$Г_2$к	Норм.	≤ 900 – 905	11 ± 0,5	≥ 6,0	Не нормир.	≥ 205 – 220	≤ 0,015	0,03 (Следы)
	Факт	894	9,8	5,1	1,2	207	0,900	0,05
	Факт	900	11,5	5,9	1,5	200	0,005	Отсутствие
ТЭп–15	Норм.	≤ 950	15,0 ± 1	Не нормир.	Не нормир.	≥ 185	≤ 0,030	≤ 0,03 (Следы)
	Факт	870	13,7	0,6	1,9	182	0,025	0,08
	Факт	956	16,1	0,8	1,6	196	Отсутствие	0,03 (Следы)

Это подтверждает необходимость обеспечения оперативной проверки некоторых показателей, в частности – щелочного числа, как одного из важнейших показателей масла, а также содержания воды и механических примесей [46, 48, 49, 51, 52, 273, 396, 417, 418, 419, 420].

Следует отметить, что современные смазочные материалы таких крупных производителей, как «Роснефть», «Лукойл», «ТНК» практически ничем не отличаются от импортных масел, а используемые при их производстве присадки и добавки закупаются в основном за рубежом или аналогичны им, причем масла эти часто в 1,5 – 2 раза дешевле. Однако их широкое применение ограничивается тем, что большинство приобретаемых и используемых зарубежных машин находятся на гарантийном обслуживании, что подразумевает использование смазочных материалов, рекомендованных изготовителем.

В процессе рассмотрения и анализа технической документации по эксплуатации зарубежных машин John Deere, Holmer, Case и др. установлено, что срок службы масла до замены устанавливается изготовителем исходя из качества используемого дизельного топлива. Например, если содержание серы в топливе менее 0,01 %, то наработка до замены составляет 250 часов для стандартного масла, а если содержание серы от 0,20 до 0,50 % – то наработка будет всего 150 часов для стандартного масла. При этом данный показатель редко определяется даже в условиях аккредитованных лабораторий областных нефтебаз, являющихся по совместительству дилерами крупных нефтяных компаний.

Отработанные масла составляют значительную часть нефтесодержащих отходов сельскохозяйственного производства и нуждаются в утилизации, являясь опасными загрязнителями окружающей среды. Исследование процессов «старения» используемых масел позволяет определить закономерности, которые могут лечь в основу новых методов регенерации отработанных масел, поэтому наряду с оценкой качества приобретаемых смазочных масел проводился анализ изменения свойств масел в процессе их работы в технике. Наблюдение велось как за техникой отечественного (тракторы МТЗ-80, ДТ–75М, Т-150К, К-701) так и импортного производства (тракторы John Deer 8430, John Deer 9420, John Deer 9620, New Holland T8040, New Holland T8050, Claas Atles 946 RZ) (таблицы 4.3).

Таблица 4.3 – Примеры изменений физико-химических показателей моторных масел зарубежных тракторов в зависимости от наработки

№	Показатели / Марка масла и трактора	Наработка ± 30, ч	Температура вспышки в открытом тигле, °С	Щелочное число, мгКОН/г	Кислотное число, мгКОН/г	Вязкость кинематическая при 100 °С, мм^2/с	Содержание воды, %	Содержание мех. примесей, %
John Deer Plus 50 SAE 15W–40		0	≥ 230	≥ 9,5	≤ 2,0	14,6	Отс.	Отс.
–	John Deer 8420	150	213	3,9	2,2	15,3	Отс.	0,1 – 0,2
		300	204	2,4	3,1	15,8	0,03	0,3 – 0,5
–	John Deer 8430	150	218	6,2	2,5	15,3	Отс.	0,1 – 0,2
		300	198	2,1	2,9	16,2	0,03	0,3 – 0,5
–	John Deer 8430	150	221	5,9	2,5	15,1	Отс.	0,2 – 0,3
		300	218	3,1	2,9	15,7	0,03	0,5 – 0,6
–	John Deer 9420	150	228	4,7	2,4	15,5	Отс.	0,1 – 0,2
		300	230	2,4	3,3	16,0	Отс.	0,4 – 0,6
–	John Deer 9620	150	221	5,4	2,6	15,5	0,03	0,3 – 0,5
		300	225	3,7	3,4	16,3	0,03	0,5 – 0,6
Ambra Mastergold HSP SAE 15W–40		0	≥ 210	11,1	Не нормир.	14,4	Отс.	Отс.
6456	New Holland T8050	150	216	6,8	2,8	11,5	Отс.	0,3 – 0,5
		300	206	2,2	3,6	13,2	Отс.	0,6 – 0,8
8097	New Holland T8040	150	210	3,9	3,1	11,5	Отс.	0,8 – 1,0
		300	213	1,8	4,1	12,0	0,03	> 1,0
8099		150	210	3,5	3,1	12,7	Отс.	0,6 – 0,8
		300	207	2,0	3,7	11,2	Отс.	0,8 – 1,0
8049		150	212	3,5	3,0	10,3	Отс.	0,6 – 0,8
		300	210	2,5	3,5	11,4	Отс.	0,8 – 1,0
8098		150	208	3,4	3,0	12,1	Отс.	0,6 – 0,8
		300	195	1,9	4,0	12,5	0,03	> 1,0
8100		150	210	5,8	2,9	13,8	Отс.	0,3 – 0,5
		300	205	5,0	3,6	15,2	Отс.	0,6 – 0,8
1401		150	215	5,6	2,8	14,4	Отс.	0,3 – 0,5
		300	206	4,1	3,2	14,6	Отс.	0,6 – 0,8
Total Tractagri HDX SAE 15W–40		0	≥ 210	11	Не нормир.	14,2	Отс.	Отс.
–	New Holland T8040	150	210	6,5	2,6	14,5	Отс.	0,1 – 0,2
		300	207	4,0	3,1	15,3	Отс.	0,3 – 0,5
–		150	200	5,1	3,5	12,5	0,04	0,3 – 0,5
		300	197	3,2	4,0	12,1	0,05	0,6 – 0,8
–	New Holland T8050	150	210	6,7	2,6	14,6	Отс.	0,1 – 0,2
		300	208	5,0	2,6	13,3	0,30	0,3 – 0,5
Claas Agrimot Ultratech SAE 10W–40		0	≥ 210	10,5	Не нормир.	13,4	Отс.	Отс.
8085	Claas Atles 946 RZ	150	210	6,0	4,6	14,5	Отс.	0,6 – 0,8
		300	208	4,5	4,9	14,7	Отс.	0,8 – 1,0
8086		150	210	6,1	3,5	13,6	Отс.	0,6 – 0,8
		300	208	4,2	4,5	13,8	Отс.	0,8 – 1,0
8087		150	210	8,6	2,8	13,6	Отс.	0,6 – 0,8
		300	208	5,6	3,1	14,0	Отс.	0,8 – 1,0

Сроки замены моторного масла, регламентированные производителями для наблюдаемой техники, составляют 250 – 300 часов для тракторов и до 500 часов или раз в год для комбайнов при использовании топлива, соответствующего рекомендациям производителя двигателя (с определенным содержанием серы).

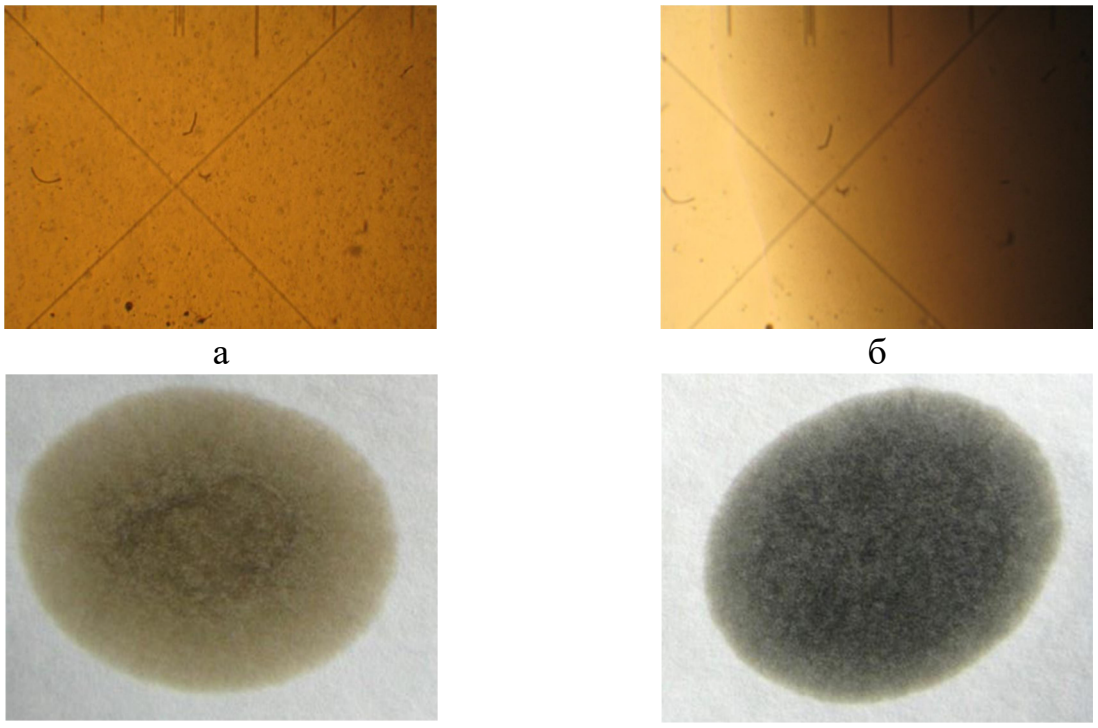
В хозяйствах, где проводились наблюдения за техникой, моторное масло в тракторах менялось в среднем 2 – 4 раза в течение года в зависимости от загрузки и наработки. В комбайнах замена масла производилась раз в год перед началом уборочного сезона, при этом наработка за год составляла в среднем 300 – 350 часов.

В целом с увеличением наработки закономерно уменьшается щелочное число, растут вязкость и кислотное число, увеличивается содержание механических примесей. Разница в изменении щелочного числа для одинаковых марок машин, вероятно, связана с напряженностью выполняемых работ.

Как видно из полученных данных, в большинстве комбайнов у масла имеется некоторый запас свойств для дальнейшей эксплуатации, а применяемые сроки замены масла в большинстве тракторов оправданы и подтверждаются проведенными анализами. В тоже время, проведение такой диагностики позволяет выявить неисправности, которые не были замечены при эксплуатации и обслуживании техники.

Проводимый мониторинг также показал значительный рост применения синтетических смазочных материалов. Это касается не только моторных, но и гидравлических и трансмиссионных масел, индустриальных масел и смазок другого назначения. В хозяйствах скапливаются большие объемы отработанных нефтепродуктов, которые необходимо утилизировать. Известные технологии регенерации смазочных материалов рассчитаны в первую очередь на минеральные масла и практически не пригодны для очистки отработанных синтетических смазок. Было установлено, что отобранные образцы моторных масел, применяемых в зарубежной технике, не могут быть удовлетворительно регенерированы в условиях сельскохозяйственных предприятий с помощью известных способов, например, давно отработанной щелочной коагуляционной очистки.

На микрофотографиях (рисунок 4.3) проб отработанных минеральных и синтетических масел видно, что размеры частиц в синтетических маслах меньше, чем в минеральных, т.е. диспергирующие присадки, использующиеся в них работают лучше и не дают частицам коагулировать поддерживая их во взвешенном состоянии. Высокое остаточное содержание таких присадок препятствует очистке этих масел известными способами. Необходима разработка новых методов и технологий для регенерации синтетических смазочных материалов, которые позволяли бы преодолевать остаточное действие таких присадок.



а б в г

Рисунок 4.3 – Микрофотографии проб минеральных (а) и синтетических (б) масел и соответствующие бумажные хроматограммы масляного пятна (в, г)

Таким образом, улучшение условий хранения и периодический контроль качества смазочных материалов при закупке и эксплуатации техники позволяет своевременно выявить критическое ухудшение их свойств. В процессе его организации важно выбрать оптимальное количество и периодичность отбора проб, которые напрямую зависят от качества исходного топлива и товарного масла, рекомендуемых производителем сроков замены, технического состояния машин. При этом важную роль играет обеспечение непрерывности основного рабочего процесса, в котором задействована техника.

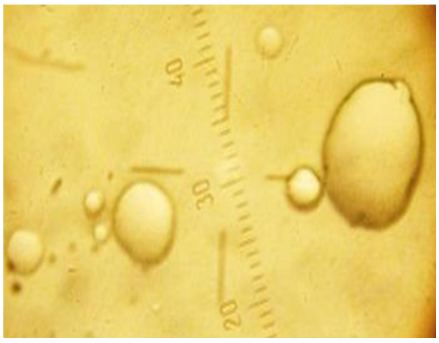
4.2. Исследования по улучшению свойств дизельных топлив

4.2.1. Результаты исследований изменения содержания смол и примесей в дизельном топливе под действием коагулянтов

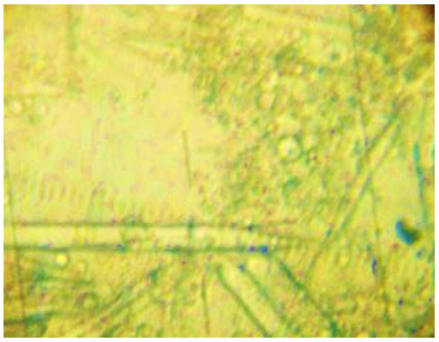
Как показано в разделе 1, в настоящее время предлагается большое число различных технических средств, обеспечивающих очистку топлив от механических примесей и свободной воды. Эффективность их работы обычно ограничивается техническими возможностями по удалению загрязнений размером до 5 мкм, а также сроками службы и возможностью регенерации фильтрующих элементов. Большинство существующих на сегодняшний день средства очистки, как отечественного, так и зарубежного производства, не способны удалять из дизельного топлива смолы, эмульсионную воду и загрязнения менее 5 мкм. Удалить растворенные примеси, смолы из дизельного топлива можно только после их укрупнения – коагуляции, которая для таких соединений может быть инициирована химическими методами. В ходе лабораторных экспериментов проводились опыты по выбору оптимального способа обработки дизельного топлива, необходимой концентрации и количества реагентов, условий проведения обработки [248, 421].

В качестве реагентов использовали растворы серной кислоты, щелочи, карбамида различной концентрации. Модельным топливом служило дизельное топливо с содержанием фактических смол 58 мг/100 см^3 (по ГОСТ 305 допускается не более 40 мг/100 см^3). В пробы дизельного топлива поочередно вносились химические реагенты в различных концентрациях при температуре 20 °С, а также при подогреве вплоть до 100 °С, производилось перемешивание и под микроскопом наблюдался процесс коагуляции (рисунок 4.4).

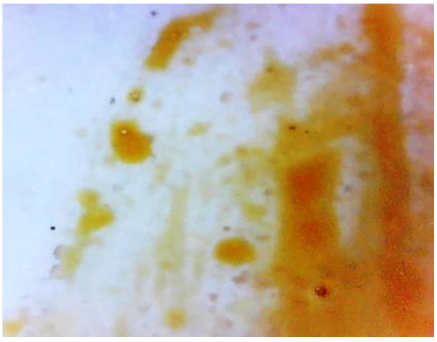
Установлено, что наиболее активно коагуляцию вызывает концентрированная серная кислота уже в количестве до 5 %, однако при ее добавлении значительно возрастает кислотность топлива и ухудшается его цвет. Водный раствор щелочи (гидроксид калия) при концентрации внесения до 2 % снижает кислотность топлива, но практически не оказывает коагулирующего действия на растворенные в топливе смолы и примеси.



1 % щелочи



1 % карбамида



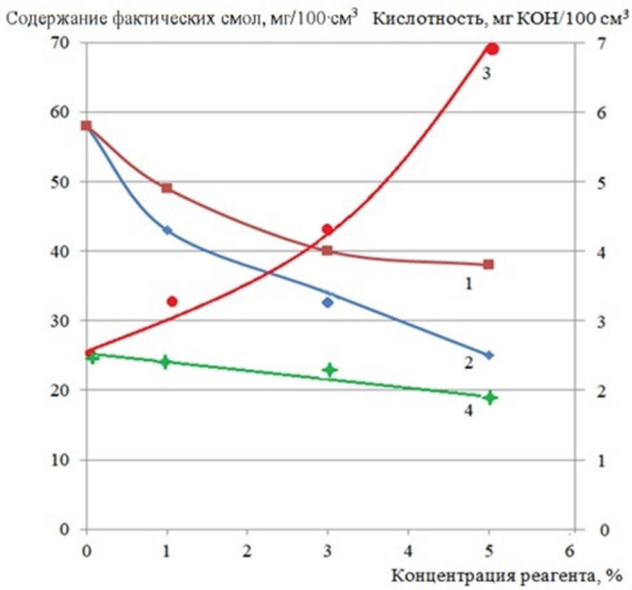
5 % серной кислоты

Рисунок 4.4 – Микрофотографии проб дизельного топлива после добавления коагулянтов

Насыщенный водный раствор карбамида в количестве 1 – 2 % от массы топлива показывает хороший коагулирующий эффект, но при температуре 90 – 100 °С, когда вскипает вода. При этом время отстаивания составляет 60 мин – 90 мин. После увеличения концентрации до 5 % эффект остается на том же уровне, но может образоваться слой перекристаллизованного карбамида.

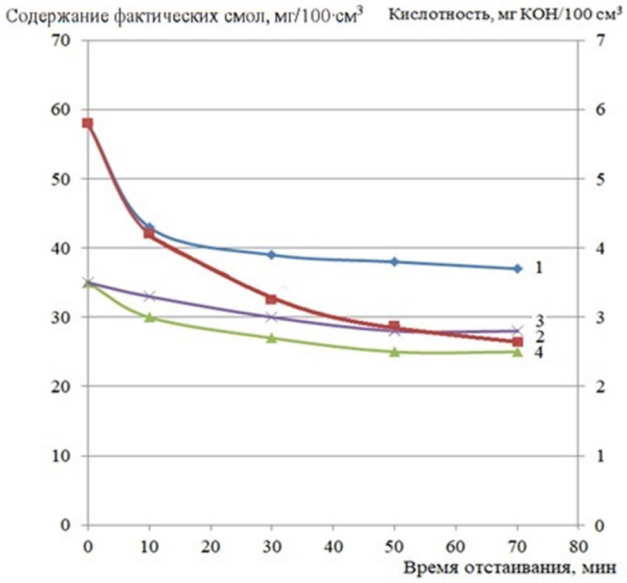
Так как добавление серной кислоты значительно снижает содержание фактических смол в топливе, но сильно повышает его кислотность, а растворы щелочи и карбамида ее понижают (рисунок 4.5а) были проведены исследования коагуляции загрязнений при комбинировании реагентов – вначале вносилась концентрированная серная кислота, а затем 50 % раствор карбамида или водный раствор щелочи. Как видно из рисунка 4.5б комбинация серной кислоты и водного раствора карбамида (кривые 2, 3) при добавлении их к дизельному топливу позволяют снизить содержание в нем фактических смол с 58 мг/100 см^3 до 27 мг/100 см^3, при этом кислотность топлива снижается с 3,5 мг КОН/100 см^3 до 2,8 мг КОН/100 см^3. По сравнению с воздействием на топливо только кислотой, содержание фактических смол в топливе с добавлением комбинированного состава снизилось почти аналогично, при этом кислотность наоборот уменьшилась.

Комбинация серная кислота – щелочь (кривые 1, 4) несколько меньше снижает содержание фактических смол (до 36 мг/100 см^3), но немного сильнее снижает кислотность топлива (до 2,4 мг КОН/100 см^3), что объясняется большей щелочностью раствора гидроксида калия.



1, 4 – раствор карбамида,
2, 3 – серная кислота

а



1, 4 – серная кислота и раствор щелочи,
2, 3 – серная кислота и раствор карбамида

б

Рисунок 4.5 – Зависимость изменения содержания фактических смол (1, 2) и кислотности топлива (3, 4) от концентрации вносимого реагента (а) и от времени отстаивания при нейтрализации (б)

Вместе с тем, концентрированная серная – реагент, требующий учета, специальных условий хранения и утилизации отходов, поэтому для сельского товаропроизводителя более предпочтительным является использование в качестве коагулянта водного раствора карбамида, который в большинстве случаев проявляет хороший эффект. Случаем, при котором необходимо использование концентрированной серной кислоты, является обработка темных печных или некондиционных топлив, когда она помимо коагуляции обеспечивает эффект «осветления» нефтепродукта после отстаивания и нейтрализации. Например, в результате экспериментов с некондиционным дизельным топливом удалось осветлить его с 6 до 3 ед. ЦНТ (таблица 4.4). Для этого в него вносилось 5 % серной кислоты с последующим интенсивным перемешиванием в течение 5 мин. и подогревом смеси до 40 – 50 °С. Затем смеси давали отстояться, после чего проводили нейтрализацию.

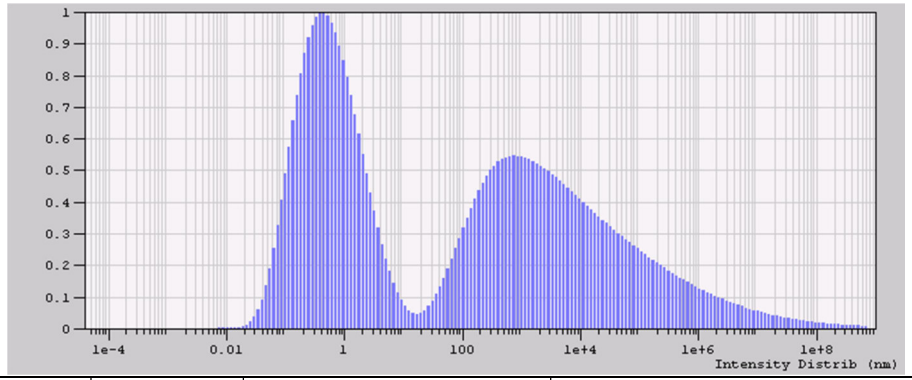
С помощью метода фотонной корреляционной спектроскопии были исследованы размеры частиц дисперсной фазы в процессе очистки некондиционного топлива. Исходное топливо имеет два пика примерно одинаковой площади – 0,45 и 0,55 (рисунок 4.6а). Первый с максимумом в 0,438 нм, второй – 725,7 нм.

Таблица 4.4 – Физико-химические характеристики некондиционного дизельного топлива до и после обработки

Показатели	Исходное топливо	После добавления H_2SO_4 и отстаивания	После нейтрализации и отстаивания
Плотность при 20 °С, кг/м^3	835	–	831
Кислотность, мг КОН/100 см^3	3,5	7,1	2,2
Содержание воды, мг/кг	1500	–	360
Содержание фактических смол, мг/100 см^3	142	78	36
Содержание механических примесей, мг/кг	157	–	28
Цвет, ед. ЦНТ	 6	 4,5	 3

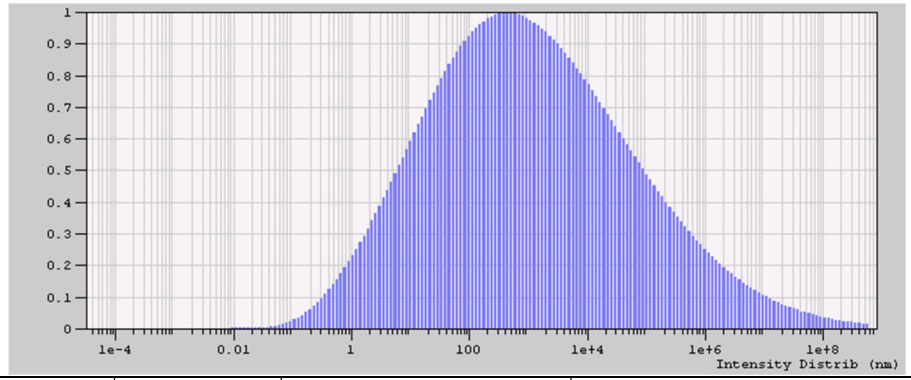
После добавления серной кислоты характер пиков и их площади меняются, что связано с реакцией между серной кислотой и загрязнениями. Увеличивается количество частиц с размерами > 100 нм (рисунок 4.6б). Идет укрупнение частиц и их осаждение под действием гравитационных сил в процессе реакции с серной кислотой. После отстаивания (рисунок 4.6в и 4.6г) в топливе по сравнению с исходным регистрируется меньше частиц с большим средним радиусом, что соответсвует снижению количества загрязнений и улучшению цвета. Спустя сутки топливо по сравнению с исходным, также имеет два пика (рисунок 4.6г), при этом площадь первого составляет уже 0,87, а максимум второго, с площадью 0,13, сдвинулся в сторону 19,0 мкм вместо 725,7 нм.

Таким образом, исследования по изменению содержания в дизельном топливе смол и загрязнений под действием коагулянтов, оценке изменений дисперсного состава загрязнений показали, что смолы примеси с размером менее 5 мкм могут быть укрупнены до размеров при которых они могут оседать под действием силы тяжести. Наиболее рациональным коагулянтом является насыщенный водный раствора карбамида, добавляемый в топливо в количестве до 2 % от количества топлива в зависимости от исходного количества загрязнений, который также может использоваться в комбинации с концентрированной серной кислотой (до 5 % от количества дизельного топлива).



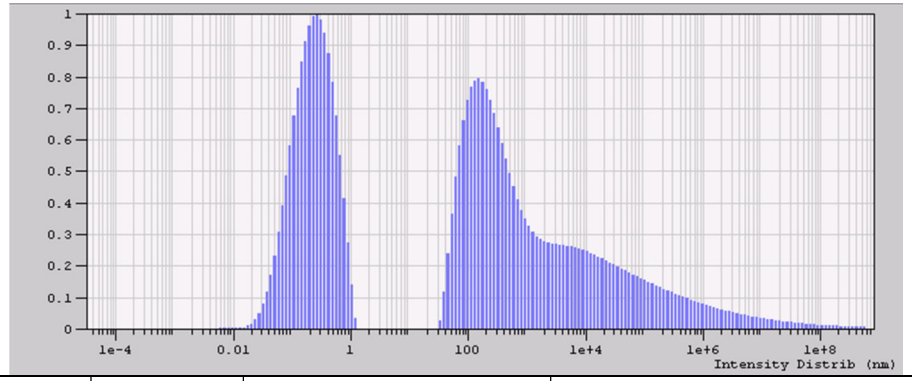
Номер пика	Площадь пика	Среднее значение радиуса частиц, нм	Значение радиуса макс. амплитуды, нм
1	0.450	1.081	0.438
2	0.550	1.5e+6	725.7

а) исходное дизельное топливо



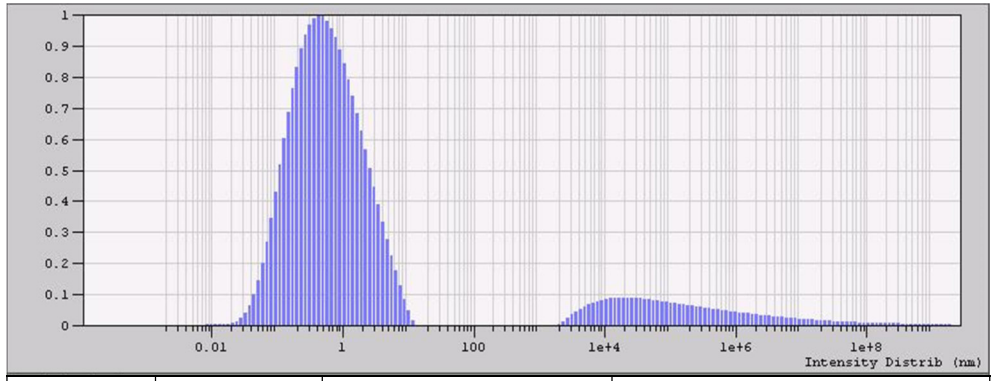
Номер пика	Площадь пика	Среднее значение радиуса частиц, нм	Значение радиуса макс. амплитуды, нм
1	1.000	1.6e+6	429.3

б) дизельное топливо спустя 1 час отстаивания после внесения кислоты



Номер пика	Площадь пика	Среднее значение радиуса частиц, нм	Значение радиуса макс. амплитуды, нм
1	0.389	0.284	0.259
2	0.611	6.2e+5	148.9

в) дизельное топливо спустя 4 часа отстаивания после внесения кислоты



Номер пика	Площадь пика	Среднее значение радиуса частиц, нм	Значение радиуса макс. амплитуды, нм
1	0.868	1.059	0.415
2	0.132	1.5e+6	1.9e+4

г) дизельное топливо после нейтрализации раствором карбамида и 24 часов отстаивания

Рисунок 4.6 – Изменение размеров частиц дисперсной фазы в процессе обработки некондиционного дизельного топлива коагулянтами

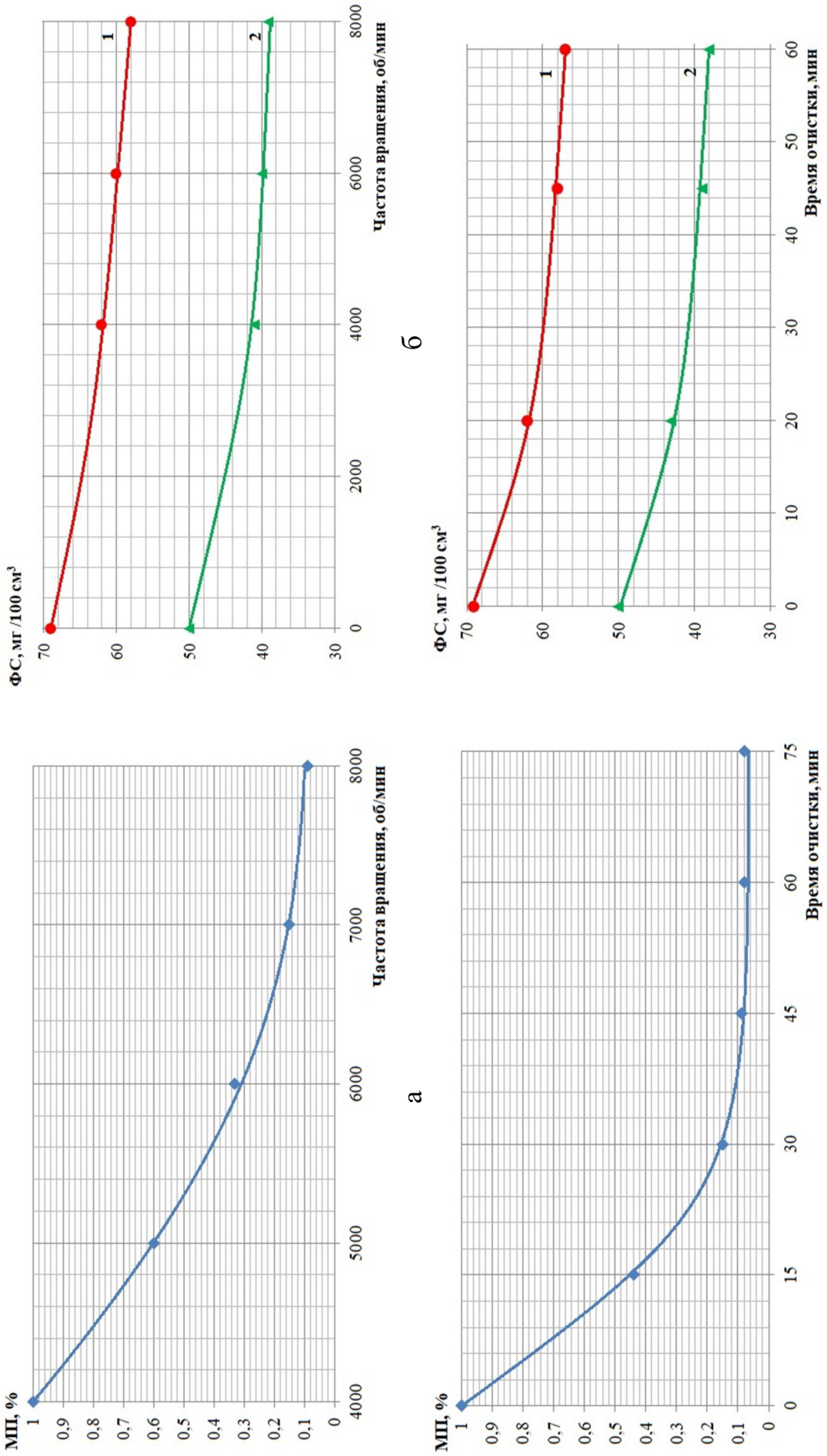


Рисунок 4.7 – Изменение содержания механических примесей (МП) в модельном топливе (а, в) и содержания фактических смол (ФС) в разных образцах (1, 2) топлива (б, г) от частоты вращения ротора центрифуги (а, б) и времени центрифугирования (в, г)

Вместе с тем, скоагулированные смолы и примеси достаточно долго (сутки и более) осаждаются под действием силы тяжести (отстаиваются), поэтому существует необходимость ускорения этого процесса. При разработке способа интенсификации очистки дизельного топлива за основу взят метод центрифугирования. Исследования проводились на модельной установке по методеке, описанной в разделе 3. Установлено, что содержание механических примесей с 1 до 0,1 % и дисперсным составом до 0,5 – 1 мкм снижается за 35 – 45 минут при частоте вращения ротора реактивной центрифуги 8000 об/мин и давлении в системе 8 – 10 кгс/см^2 (рисунки 4.7а и 4.7б). При этом, чем выше частота вращения ротора центрифуги, тем загрязнения меньшего дисперсного состава отделяются. Подтверждено, что смолы, асфальтены, продукты окисления, содержащиеся в топливе и изначально имеющие меньший размер частиц, при тех же параметрах очистки, что и механические примеси удаляются незначительно (рисунки 4.7в и 4.7г). Однако, при последовательном внесении по 0,2 % серной кислоты и водного раствора карбамида с последующим центрифугированием в течение 30 – 40 мин удалось снизить изначальное содержание ФС на 54 – 59 % в зависимости отобразца топлива при температуре 80 °С (рисунок 4.8).

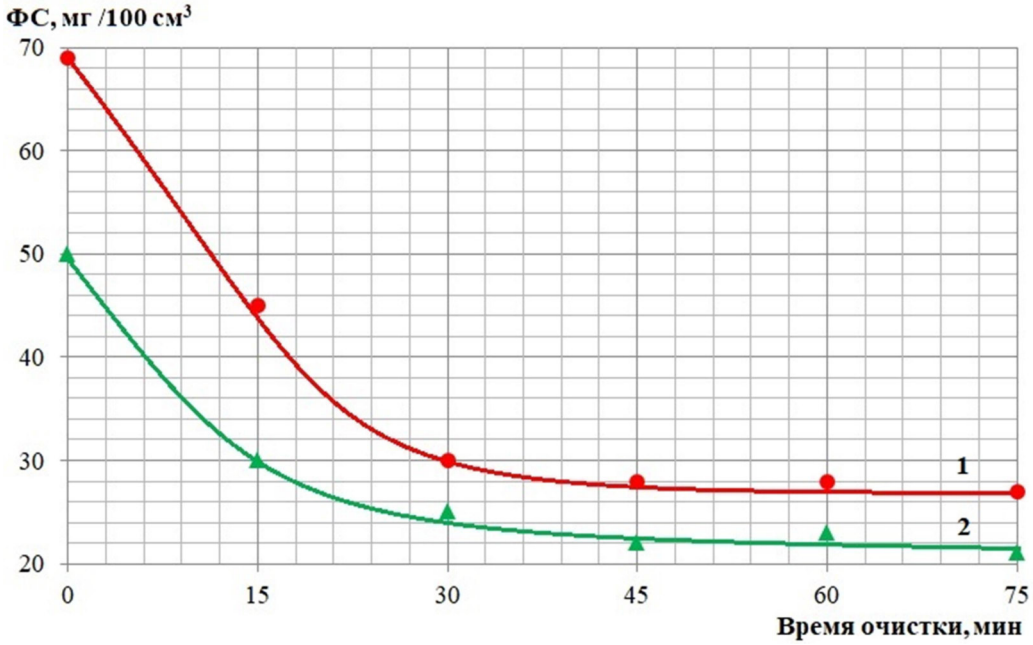


Рисунок 4.8 – Зависимость изменения содержания фактических смол (ФС) в образцах топлив (1, 2) от времени центрифугирования с предварительным последовательным внесением коагулянтов

По результатам проведенных исследований был разработан новый способ очистки дизельного топлива, подтвержденный патентом РФ № 2477303 [4], где в качестве реагента используется водный раствор карбамида, отстаивание производят в течение 2 – 3 часов до образования осадка, после чего топливо доочищается центрифугированием при температуре 90±5 °С. За счет такой очистки не только уменьшается содержание механических примесей, фактических смол и воды, но и изменяется предельная температура фильтруемости, кислотность, а также на 19 % улучшились смазывающие свойства топлива (таблица 4.5) .

Таблица 4.5 – Характеристики дизельного топлива до и после очистки

Показатели	Исходное дизельное топливо	ДТ после очистки	
		по прототипу	по разработанному способу
Кинематическая вязкость, мм^2/с при 20 °С	3,88	4,0	4,14
Температура застывания, °С	– 16,7	– 16,1	– 15,9
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	75	73	85
Концентрация фактических смол, мг/100 см^3	10,1	8,4	6,8
Кислотность, мг КОН/100 см^3	0,78	0,71	0,65
Массовая доля серы, %	0,052	0,030	0,025
Зольность, %	0,007	0,006	0,005
Предельная температура фильтруемости, °С	– 6	– 7	– 9
Содержание механических примесей, %	0,051	0,003	отс.
Содержание воды, %	0,07	отс.	отс.
Диаметр пятна износа на ЧШМТ, мм	0,48	0,44	0,36
Плотность, кг/м^3 при 20 °С	829	830	830
Фракционный состав: 50 % перегоняется при температуре, °С не выше 96 % перегоняется при температуре, °С не выше	 268 350	 269 350	 271 348
Испытания на медной пластинке	Выдерж.	Выдерж.	Выдерж.

Вместе с тем, разработанный способ очистки практически не влияет на такие показатели топлива как фракционный и углеводородный состав, количество серосодержащих соединений, а предусмотренный способом нагрев топлива до температуры выше температуры вспышки накладывает свои ограничения на аппаратурное оформление процесса (взрывозащещенное исполнение). Поэтому с целью совершенствования процесса очистки дизельного топлива, определения параметров и конструкции технических средств, позволяющих минимизировать обозначенные недостатки были проведены дальнейшие исследования по определению влияния ультразвукового, импульсно-пульсационного и механохимического воздействия на состав и свойства дизельного топлива.

4.2.2. Результаты исследований влияния физико-химического воздействия на состав и показатели качества дизельного топлива

Как отмечено ранее, в сельскохозяйственные предприятия вместо качественного дизельного топлива может часто попадать смесь прямогонного топлива, котельно-печного топлива, различных газовых конденсатов, содержащих высокий процент парафинов. Такая смесь органических соединений представляет собой гетерогенную жидкость темного цвета, в которой в качестве дисперсной фазы выступают смолы, асфальтены, карбены и карбоиды. Аналогичная ситуация наблюдается и с бензинами.

Не редки ситуации, когда качественное топливо заливают в резервуар, в котором находится значительный запас котельных топлив или даже масел, либо для увеличения его объема разбавляют нефтяным газовым конденсатом, содержащим большое количество парафинов, смол и асфальтенов. С помощью только процессов отстаивания, центрифугирования или фильтрации превратить такую смесь в кондиционное топливо не возможно.

Разработанный способ очистки топлива от смол и механических примесей не оказывает существенного влияния на показатели, которые зависят от углеводородного и химического состава. Для этого необходимо энергетическое воздействие на химические и межмолекулярные связи. Основным способом разрыва химических связей в углеводородахявляется термокаталитический крекинг, который по понятным причинам не применим в условиях сельскохозяйственного производства. Более приемлемым в таких условиях может быть реализация воздействия механических напряжений и аккустических волн, приводящих к возникновению кавитации в жидкой среде. Под влиянием кавитации может происходить разрушение связей между молекулами и их отдельными частями, временный разрыв Ван-дер-Ваальсовых связей, распад длинноцепочечных молекул, циклических и ароматических соединений.

На данном этапе работы были исследованы некоторые способы реализации кавитационного воздействия на моторное топливо. Для этого пробы дизельного топлива обрабатывались при помощи лабораторного ультразвукового генератора,

роторного импульсно-кавитационного аппарата, смесителя-активатора на основе вихревого эффекта Ранка-Хилша [422, 423, 424, 425, 426, 427].

Результаты ультразвукового облучения пробы дизельного топлива (таблицы 4.6, 4.7) показали уменьшение количества углеводородов легких и тяжелых фракций при росте общего содержания средних углеводородов.

Таблица 4.6 – Изменение углеводородного состава дизельного топлива после ультразвукового облучения

Число атомов углерода в углеводородах	Содержание углеводородов в дизельном топливе, %				
	Исходное	Обработанное 5 мин	Разница с исходным Δ_5, %	Обработанное 10 мин	Разница с исходным Δ_{10}, %
8 Октан	1,93	2,02	+ 4,66	1,87	– 3,11
9 Нонан	5,74	5,74	0	5,32	– 7,31
10 Декан	12,47	12,22	– 2,0	12,17	– 2,4
11	14,77	15,19	+ 2,84	15,67	+ 6,09
12	12,12	13,68	+ 12,87	12,51	+ 3,22
13	10,14	10,66	+ 5,13	10,88	+ 7,3
14	10,58	9,1	– 13,98	9,71	– 12,87
15	5,91	6,01	+ 1,69	6,26	+ 5,92
16	4,19	5,08	+ 21,24	5,09	+ 21,48
17	3,75	3,8	+ 1,33	4,02	+ 7,2
18	3,14	3,20	+ 1,91	3,26	+ 3,82
19	2,79	3,04	+ 8,96	2,82	+ 1,08
C19H40 (Пристан)	1,91	1,83	– 4,19	1,88	– 1,57
20	2,26	2,2	– 2,65	2,25	– 0,44
C20H42 (Фитан)	1,57	1,55	– 1,27	1,65	+ 5,09
21	1,95	1,8	– 7,69	1,78	– 8,72
22	1,32	1,31	– 0,76	1,30	– 1,51
23	0,87	0,81	– 6,9	0,79	– 9,19
24	0,51	0,51	0	0,5	– 1,96
25	0,24	0,25	+ 4,17	0,27	+ Δ 12,5

Таблица 4.7 – Характеристики топлива после ультразвукового облучения

Показатели	Дизельное топливо исходное	Дизельное топливо обработанное	
		5 мин	10 мин
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм^2/с	4,8	4,3	3,4
Плотность при 20 °С, кг/м^3	840	836	832
Фракционный состав, %: 10 % (об.) перегон. при темп., °С 50 % (об.) перегон. при темп., °С 95 % (об.) перегон. при темп., °С	 160 250 350	 156 245 342	 146 238 331
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	55	53	50
Температура застывания, °С	– 10	– 10	– 11

Физико-химические показатели обработанного ультразвуком топлива (таблица 4.7) также отличаются от исходного, при этом установлено, что многие показатели обработанного дизельного топлива в течение нескольких суток возвращается практически к исходному состоянию.

В таблице 4.8 приведены результаты обработки двух разных нефтепродуктов при помощи импульсно-пульсационного воздействия на роторном импульсном кавитационном аппарате (РИКА). Образец № 1 – смесь дизельного топлива с газовым конденсатом, имеющим повышенное количество, асфальтенов и парафинов. Образец № 2 – смесь прямогонного дизельного топлива с вакуумным газойлем каталитического крекинга и с добавками растворенных в бензине мазутных фракций. Полученные данные также свидетельствуют об изменениях фракционного состава, плотности, температуры вспышки и других показателей обеих проб нефтепродуктов.

Таблица 4.8 – Результаты обработки образцов нефтепродуктов (НП) с помощью РИКА в течение 10 мин

Показатели качества	Образец НП № 1		Образец НП № 2	
	исходный	конечный	исходный	конечный
Фракционный состав, %:				
10 % (об.) перегон. при темп., °С	225	155	390	180
50 % (об.) перегон. при темп., °С	300	175	440	245
90 % (об.) перегон. при темп., °С	350	200	490	280
98 % (об.) перегон. при темп., °С	380	235	510	310
Плотность при 20 °С, кг/м^3	830	785	945	840
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм^2/с	5,8	2,9	7,5	4,5
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	70	41	100	78
Массовая доля серы, %	0,3	0,025	3,51	0,25
Кислотность, мг КОН / 100 см^3 топлива	5,2	1,08	5,9	1,42
Йодное число, г йода / 100 см^3 топлива	35	2,01	48	1,59
Зольность, %	0,25	отсутствие	0,3	0,001
Содержание ароматических соединений, %	25	41	33	57
Суммарное количество предельных и непредельных соединений, %	75	59	70	43

Поскольку кавитационные пузырьки можно генерировать в любых жидкостях, то можно предположить, что разрыв химических связей можно осуществить в любом химическом соединении при интенсивности кавитации соответствующей прочности энергии связи. В месте обрыва химической связи должен быть подсо-

единен какой-либо радикал. При недостатке свободных радикалов в реакционной среде молекулы с ненасыщенной связью могут свернуться в кольцо, образуя циклические или ароматические соединения.

Обработка образцов топлив № 1 (дизельная фракция) и № 2 (смесь бензиновой и дизельной фракций) на лабораторной установке со смесителем на основе вихревого эффекта Ранка-Хилша показала, что уже после однократного прохождения объема обрабатываемого топлива через камеру смесителя обнаруживался осадок, который ранее в нем не наблюдался. По результатам хроматографического анализа было определено, что происходит некоторое изменение углеводородного состава, однако оно не достаточно значительное (таблицы 4.9, 4.10).

Таблица 4.9 – Изменение углеводородного состава образца № 1 после прохождения через смеситель на основе вихревого эффекта Ранка-Хилша

Наименование компонента	Содержание, (об.) %		
	Исходный	1 цикл, 2 атм (2,066 кгс/см^2)	10 циклов, 10 атм (10,332 кгс/см^2)
Октан	2,59	2,60	2,44
Нонан	3,49	3,48	3,30
Декан	6,47	6,43	6,42
С11 – С 19	70,20	70,42	71,09
Фитан	2,96	2,92	2,82
Пристан	3,31	3,32	3,31
С20 – С25	10,98	10,83	10,62

Таблица 4.10 – Изменение углеводородного состава образца № 2 после прохождения через смеситель на основе вихревого эффекта Ранка-Хилша

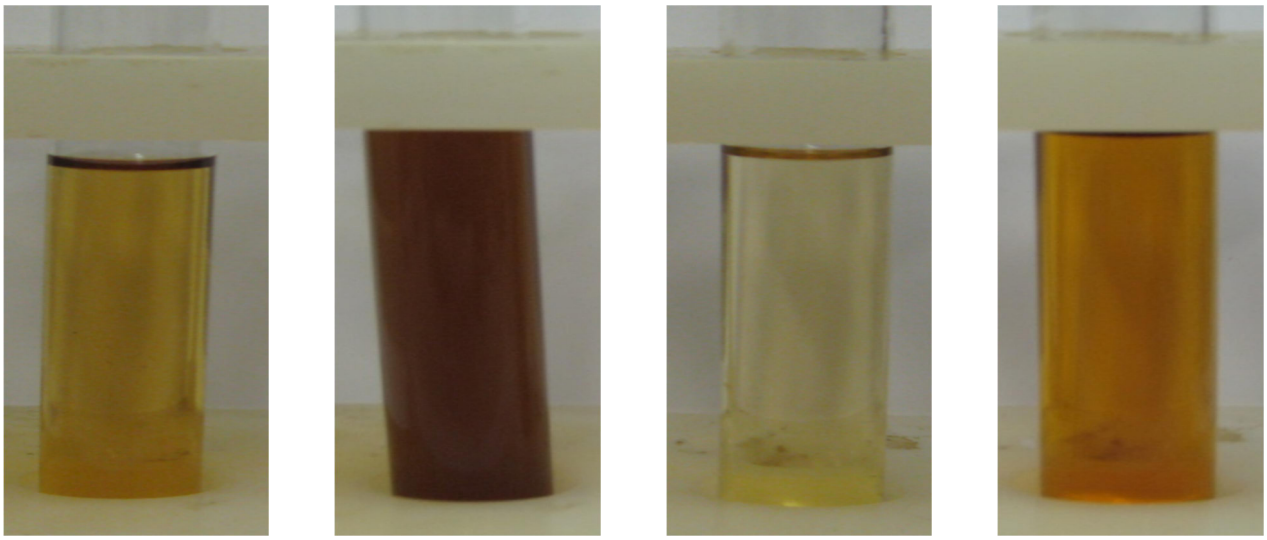
Наименование компонента	Содержание, (об.) %		
	Исходный	1 цикл, 2 атм (2,066 кгс/см^2)	10 циклов, 10 атм (10,332 кгс/см^2)
Парафины	26,84	24,48	23,91
Изопарафины	11,10	10,32	10,86
Ароматические углеводороды	27,44	26,54	27,97
Нафтены	21,48	25,47	21,84
Олефины	13,14	13,19	15,42

Зафиксированное возрастание температуры пропускаемого через смеситель топлива до 40 – 55 °С, позволяет рассматривать устройства механоактивации как решение для внесения в топливо необходимых присадок на местах его применения, например, депрессорно-диспергирующих, которые следует вводить в топли-

во, подогретое до температур, превышающих температуру помутнения на 5 – 10 °С. Эффект нагрева обусловлен преобразованием механической энергии движения жидкости через конструкцию смесителя в тепловую [36, 427].

Таким образом, на этом этапе исследований наблюдается эффект от применения кавитационного воздействия на нефтепродукты, однако несмотря на полученные положительные результаты в ходе проведения экспериментов были выявлены и отрицательные стороны: нестабильность и легкая окисляемость некоторых соединений, практически незаметное изменение цвета полученного топлива или его отсутствие, малое время релаксации приобретенных изменений. Использование только одной такой обработки не позволяет эффективно восстановить некондиционное топливо. Необходимо сочетание нескольких типов воздействия для получения более заметного и продолжительного эффекта.

Дальнейшие исследования были направлены на объединение эффекта от механовоздействия и использования химических реагентов, в качестве которых применялся карбамид по предложенному ранее способу [4], модифицированный добавлением изопропилового спирта. Также был использован новый реагент – водно-спиртовой раствор гидроперита, содержащий 30 – 35 % пероксида водорода и не менее 25 % карбамида. Результаты изменений исходных образцов № 1 и № 2 после такой обработки представлены на рисунке 4.9 и в таблицах 4.11, 4.12, 4.13.



1а 2а 1б 2б

Рисунок 4.9 – Примеры изменения внешнего вида образцов топлива до (а) и после (б) обработки соответственно

Таблица 4.11 – Изменение физико-химических характеристик образцов после обработки в смесителе с реагентами

Показатели	Образец № 1			Образец № 2		
	Исходный	Спиртовой р-р карбамида 10 циклов, 10 атм	Водный р-р гидроперита 10 циклов, 10 атм	Исходный	Спиртовой р-р карбамида 10 циклов, 10 атм	Водный р-р гидроперита 10 циклов, 10 атм
Фракционный состав:						
Первая капля (ПК)	132	138	145	77	74	82
10 % (по объему) перегоняется при t, °С	197	191	196	127	125	134
20 % (по объему) перегоняется при t, °С	219	215	217	172	168	175
30 % (по объему) перегоняется при t, °С	233	229	231	203	197	206
40 % (по объему) перегоняется при t, °С	247	247	242	223	221	225
50 % (по объему) перегоняется при t, °С	264	258	256	243	240	249
60 % (по объему) перегоняется при t, °С	278	271	274	261	259	264
70 % (по объему) перегоняется при t, °С	290	288	289	284	276	282
80 % (по объему) перегоняется при t, °С	319	315	312	307	295	299
90 % (по объему) перегоняется при t, °С	342	339	331	334	329	327
95 % (по объему) перегоняется при t, °С	360	359	350	365	360	356
до температуры 180 °С (по объему), %	6	6	7	23	24	21
при температуре 250 °С (по объему), %	42	42	46	55	55	49
до температуры 340 °С (по объему), %	89	90	93	91	92	93
при температуре 350 °С (по объему), %	92	93	95	92	93	94
Кинематическая вязкость при 20 °С, $мм^2/с$	3,35	3,30	3,33	2,52	2,60	2,49
Температура помутнения, °С	– 9	– 9	– 11	– 12	– 12	– 14
Температура застывания, °С	– 14	– 15	– 18	ниже – 30	ниже – 30	ниже – 30
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	50	45	49	24	23	30
Плотность при 20 °С, $кг/м^3$	825	830	827	818	810	822
Кислотность, мг КОН/100 $см^3$	3,6	2,1	1,9	5,2	3,5	2,6
Содержание серы, мг/кг	156,3	149,1	115,7	56,8	47,6	38,5
Содержание меркаптановой серы, %	1,96	0,92	отсутствие	0,01	менее 0,01	отсутствие
Содержание фактических смол, мг/100 $см^3$	40	10	6	37	12	5
Диаметр пятна износа, мм	0,46	0,38	0,36	0,53	0,46	0,41

Таблица 4.12 – Изменение углеводородного состава образца № 1 после прохождения через смеситель с реагентами

Наименование компонента	Содержание, (об.) %		
	Исходный	Спиртовой р-р карбамида 10 циклов, 10 атм	Водный р-р гидроперита 10 циклов, 10 атм
Октан	2,59	–	–
Нонан	3,49	2,31	–
Декан	6,47	4,94	2,38
С11 – С 19	70,20	55,78	77,33
Фитан	2,96	2,12	1,99
Пристан	3,31	2,51	2,54
С20 – С25	10,98	8,18	6,78
Комплекс	–	24,16	8,98

Таблица 4.13 – Изменение углеводородного состава образца № 2 после прохождения через смеситель с реагентами

Наименование компонента	Содержание, (об.) %		
	Исходный	Спиртовой р-р карбамида 10 циклов, 10 атм	Водный р-р гидроперита 10 циклов, 10 атм
Парафины	26,84	15,81	14,99
Изопарафины	11,10	9,23	8,87
Ароматические углеводороды	27,44	41,97	36,58
Нафтены	21,48	21,84	24,59
Олефины	13,14	11,15	14,97

Как видно из полученных данных изменяется количество углеводородов легких и тяжелых фракций. У образца № 1 увеличивается суммарное количество фракций С11 – С19, и появляется некий комплекс легких фракций, выходящий раньше остальных. У образца № 2 происходит снижение содержания парафиновых и изопарафиновых углеводородов, что может благотворно сказаться на низкотемпературных свойствах.

Хромотографическое определение серы (таблицы 4.14, 4.15) показало снижение количества наиболее вредных меркаптановых и тиофеновых производных серосодержащих соединений по сравнению с исходным топливом. Это связано с тем, что карбамид, по сравнению с гидроперитом, не может активно влиять на серосодержащие соединения, а содержащийся в гидроперите пероксид водорода, как раз окисляет реакционноспособные серосодержащие соединения.

Таблица 4.14 – Изменение состава серосодержащих соединений образца № 1 после прохождения через смеситель с реагентами

Наименование компонента	Содержание, (об.) %		
	Исходный	Спиртовой р-р карбамида 10 циклов, 10 атм	Водный р-р гидроперита 10 циклов, 10 атм
Этилмеркаптан	1,96	0,38	–
3-метилтиофен	0,40	–	–
2,5-диметилтиофен	0,37	–	–
Изопропилметилсульфид	0,35	–	–
Бензотиофен	10,92	12,08	7,31
Дифенилсульфид	36,39	43,93	38,50
Дибензотиофен	35,45	27,73	39,69
4-метилдибензотиофен	14,60	15,87	14,43

Таблица 4.15 – Изменение состава серосодержащих соединений образца № 2 после прохождения через смеситель с реагентами

Наименование компонента	Содержание, (об.) %		
	Исходный	Спиртовой р-р карбамида 10 циклов, 10 атм	Водный р-р гидроперита 10 циклов, 10 атм
Тиофен	5,07	2,90	–
2,5-диметилтиофен	3,29	2,03	–
Бензотиофен	1,92	1,73	–
Дифенилсульфид	25,19	23,10	27,59
Дибензотиофен	37,50	42,77	42,94
4-метилдибензотиофен	27,01	27,45	29,47

Таким образом, на основании полученных данных можно констатировать изменение фракционного состава – снижение 90 и 95 % точки перегонки, снижение количества общей серы и удаление меркаптановой серы, снижение содержания фактических смол, улучшение смазывающей способности обрабатываемого топлива и некоторое улучшение низкотемпературных свойств.

Зафиксированное возрастание температуры пропускаемого через трубу топлива позволяет рассматривать устройства механоактивации как энергоэффективное решение для внесения в топливо необходимых присадок на местах его применения.

Следует отметить, что подобного эффекта с теми же реагентами не удалось достичь при обычном перемешивании или с помощью центрифугирования, что свидетельствует о несомненном положительном влиянии механовоздействия на процесс перемешивания и массопереноса.

4.2.3. Определение параметров комплексной механохимической обработки дизельного топлива

На основании результатов, описанных в предыдущем разделе, были проведены исследования, направленные на установление экспериментальных зависисмостей изменения физико-химических показателей обрабатываемого топлива от параметров обработки. Для этого в соответствии с методикой факторного эксперимента (раздел 3.1) были выделены факторы (параметры) обработки, влияющие на изменение физико-химических показателей и соответствующих эксплуатационных свойств, определены интервалы их варьирования и произведено кодирование переменных уравнений регрессии (таблица 4.16). Фактор температуры был отсеян как фактор, который в данных условиях нельзя варьировать независимо от других [427, 428, 429, 430, 431, 432].

Таблица 4.16 – Кодированные значения и интервалы варьирования параметров обработки в соответствии с методикой факторного эксперимента

Параметр (фактор)	Верхний уровень +1	Основной уровень 0	Нижний уровень –1	Интервал варьирования	Зависимость кодированной переменной от натуральной
τ – время обработки, мин	30	15,5	1	14,5	$x_1 = (\tau - 15{,}5) / 14{,}5$
P – давление на входе в смеситель, кгс/см^2	8	4,5	1	3,5	$x_2 = (P - 4{,}5) / 3{,}5$
C – концентрация реагента, %	5	3	1	2	$x_1 = (C - 3) / 2$

Планирование экспериментов осуществляли в соответствии с ортогональным центрально-композиционным планом (ОЦКП) для трех факторов, варьируемых на 5 уровнях, так как он позволяет существенно сократить количество экспериментов по сравнению с ПФЭ – 15 вместо 27. Из-за большого объема экспериментальных исследований для определения дисперсии воспроизводимости решено было ограничиться тремя параллельными опытами в центре плана. В качестве функций отклика, зависящих от выбранных факторов (параметров обработки), рассматривали физико-химические показатели дизельного топлива, характеризующие его эксплуатационные свойства (таблица 4.17).

Таблица 4.17 – Обозначение функций отклика, зависящих от определяемых параметров

Функция отклика	Обозначение	Кодированное обозначение
Плотность при 15 ºС, кг/м^3	ρ	Y1
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм^2/с	ν	Y2
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	$Т_{всп}$	Y3
Фракционный состав – 10 %, °С	$Т_{10\%}$	Y4
Фракционный состав – 50 %, °С	$Т_{50\%}$	Y5
Фракционный состав – 95 %, °С	$Т_{95\%}$	Y6
Коксуемость 10 % остатка, %	$К_{10\%}$	Y7
Содержание фактических смол, мг/100 см^3	$С_{ФС}$	Y8
Общее содержание серы, мг/кг	S	Y9
Температура помутнения, °С	$Т_{п}$	Y10
Температура застывания, °С	$Т_{з}$	Y11

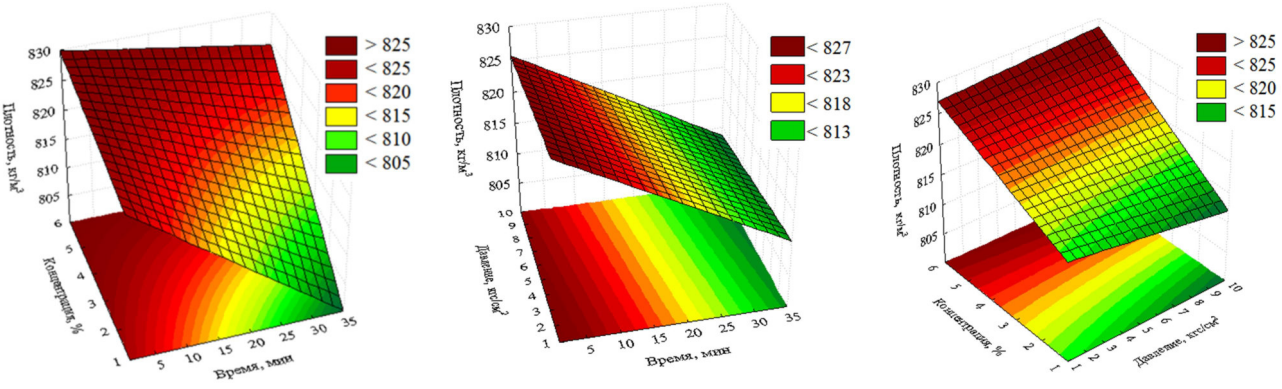
В результате обработки экспериментальных данных были получены уравнения регрессии в кодированном и раскодированном виде, показывающие зависимости функций отклика от исследуемых факторов (таблица 4.18), построены поверхности отклика и их сечения в разных координатах (рисунки 4.10 – 4.20).

Как видно из полученных уравнений наибольшее влияние на плотность модельного топлива после обработки оказывают время проведения обработки и концентрация реагента, а также сочетание этих факторов. С возрастанием времени обработки плотность несколько снижается (максимум на 3 %), в то время как с возрастанием концентрации реагента – незначительно (на 0,5 %) увеличивается по сравнению с исходным значением.

При максимальном времени обработки и половине от максимального значения концентрации вязкость снизилась на 7 %, относительно исходного значения, в то время как при максимальной концентрации реагента и практически минимальных значениях времени обработки и давления вязкость увеличивается на 4 % по сравнению с исходным значением. В первом приближении это можно объяснить тем, что при малом давлении и времени перемешивания реагент не успевает равномерно распределиться по всему объему, и возможные кавитационные воздействия не успевают оказать заметный эффект.

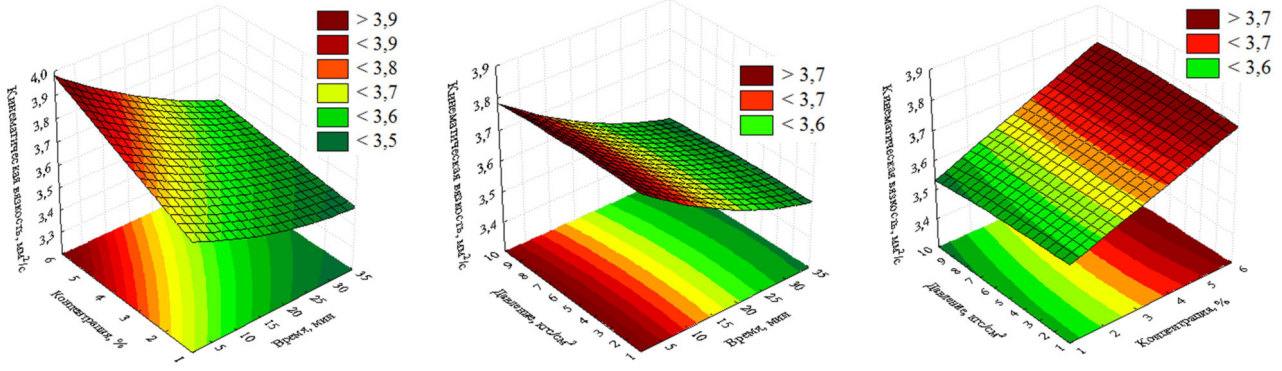
Таблица 4.18 – Уравнения регрессии для функций отклика в кодированном и раскодированном виде

Функция отклика (Обозначение)	Уравнение регрессии в кодированном и раскодированном виде	
Плотность при 15 ºС, кг/м^3	$Y1=819,515–7,344x_1–0,802x_2+5,452x_3+3,291x_1x_3+0,934x_2x_3+1,004x_1x_2x_3$	(4.1)
	$\rho = 825,227 – 0,714\tau – 0,169Р + 1,057С + 0,087\tau С – 0,020РС + 0,010\tau РС$	(4.2)
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм^2/с	$Y2=3,657–0,126x_1+0,090x_3–0,035x_1x_3+0,018x_2x_3+0,031x_1^2+0,024x_2^2$	(4.3)
	$\nu = 3,710 – 0,017\tau + 0,052С – 0,001\tau С + 0,003РС + 0,00015\tau^2 + 0,002С^2$	(4.4)
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	$Y3=59,756–2,400x_1–0,496x_2+1,758x_1^2+1,081x_2^2$	(4.5)
	$Т_{всп} = 66,75503 – 0,42472\tau – 0,93592Р + 0,008361\tau^2 + 0,088244Р^2$	(4.6)
Фракционный состав – 10 %, °С	$Y4=193,427–6,333x_1–0,841x_2–0,737x_3–1,654x_3^2$	(4.7)
	$Т_{10\%} = 198,662 – 0,43676\tau – 0,24029Р + 2,1125С – 0,04135\tau^2$	(4.8)
Фракционный состав – 50 %, °С	$Y5 = 266,489–12,085x_1–2,649x_2+1,750x_2x_3+1,750x_1x_2x_3+2,990x_1^2+1,975x_2^2–1,749x_3^2$	(4.9)
	$Т_{50\%} = 292,628 – 1,22258\tau – 1,40615Р – 0,26724РС + 0,017241\tau РС + 0,014221\tau^2 + + 0,161224Р^2 + 0,437С^2$	(4.10)
Фракционный состав – 95 %, °С	$Y6=357,089–9,620x_1–2,557x_2–2,368x_3–1,625x_1x_3+3,783x_1^2+3,107x_3^2$	(4.11)
	$Т_{95\%} = 382,920 –1,05312\tau – 0,73057Р – 4,975966С – 0,065\tau С + 0,017993\tau^2 + + 0,77675С^2$	(4.12)
Коксуемость 10 % остатка, %	$Y7 = 0,432–0,034x_1–0,013x_3–0,014x_1x_3+0,028x_1^2$	(4.13)
	$К_{10\%} = 0,497392 – 0,00502\tau + 0,0009828С – 0,00056\tau С + 0,000133\tau^2$	(4.14)
Содержание фактических смол, мг/100 см^3	$Y8 = 62,511–30,875x_1–4,102x_2–11,365x_3–4,250x_1x_3+14,911x_1^2+6,787x_3^2$	(4.15)
	$СФС=143,3315–3,88819\tau–1,172Р–13,59145С–0,17\tau С+0,07092\tau^2+1,69675С^2$	(4.16)
Общее содержание серы, мг/кг	$Y9=472,556–128,868x_1–39,723x_3+87,013x_1^2+45,381x_2^2$	(4.17)
	$ОС=838,8301–21,717\tau–68,0715С+0,413855\tau^2+3,704571Р^2$	(4.18)
Температура помутнения, °С	$Y10 = –5,511–1,321x_1–0,329x_2–0,500x_1x_3+0,546x_1^2+0,546x_3^2$	(4.19)
	$Т_п = –2,62521–0,11988\tau–0,094Р–0,02\tau С+0,002597\tau^2+0,1365С^2$	(4.20)
Температура застывания, °С	$Y11 = –13,591–1,412x_1–0,421x_2–0,625x_1x_3+0,518x_1^2+0,518x_3^2$	(4.21)
	$Т_з = –10,7851–0,1091\tau–0,12029Р–0,025\tau С+0,002464\tau^2+0,1295\ С^2$	(4.22)



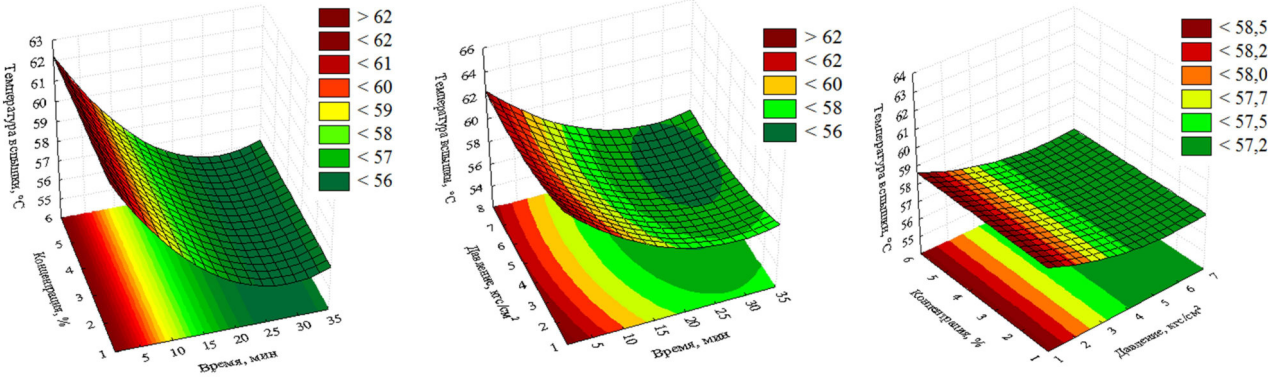
а б в

Рисунок 4.10 – Поверхности отклика и их сечения для плотности топлива ρ в координатах времени обработки τ и концентрации реагента С (а), давления Р и времени обработки τ (б), давления Р и концентрации реагента С (в)



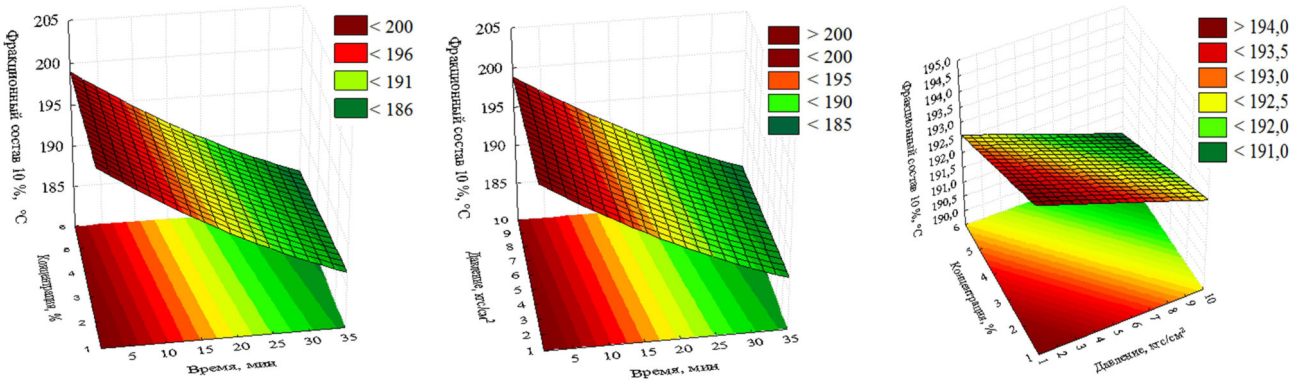
а б в

Рисунок 4.11 – Поверхности отклика и их сечения для кинематической вязкости топлива ν в координатах времени обработки τ и концентрации реагента С (а), давления Р и времени обработки τ (б), давления Р и концентрации реагента С (в)



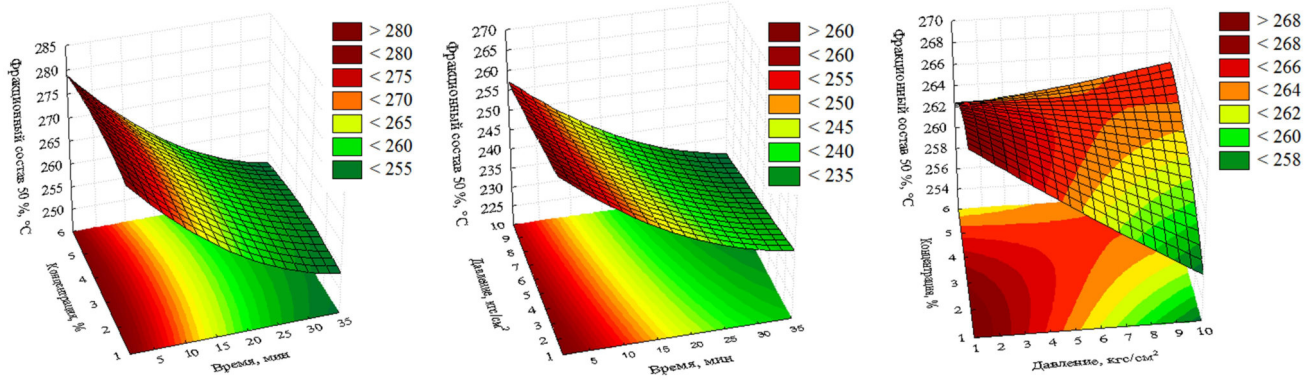
а б в

Рисунок 4.12 – Поверхности отклика и их сечения для температуры вспышки топлива $T_{всп}$ в координатах времени обработки τ и концентрации реагента С (а), давления Р и времени обработки τ (б), давления Р и концентрации реагента С (в)



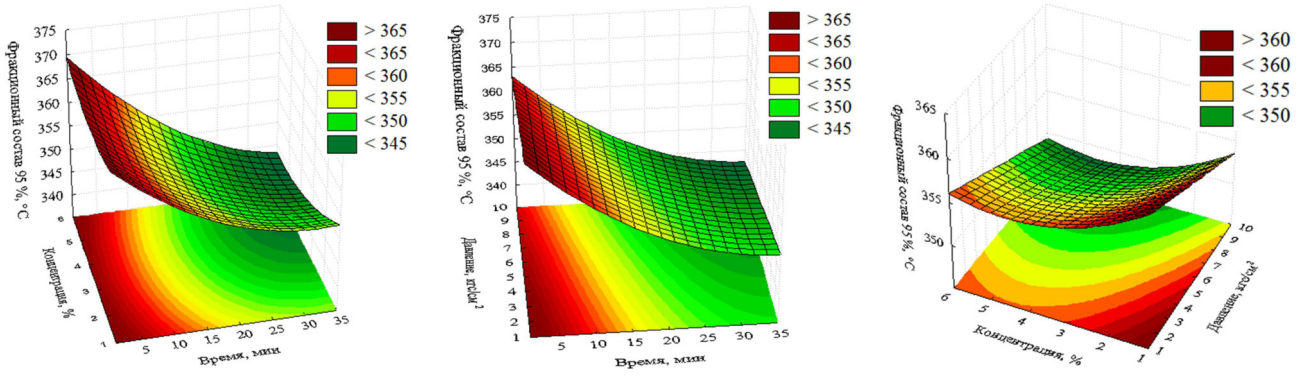
а б в

Рисунок 4.13 – Поверхности отклика и их сечения для температуры перегонки 10 % дизельного топлива $T_{10\%}$ в координатах времени обработки τ и концентрации реагента С (а), давления Р и времени обработки τ (б), давления Р и концентрации реагента С (в)



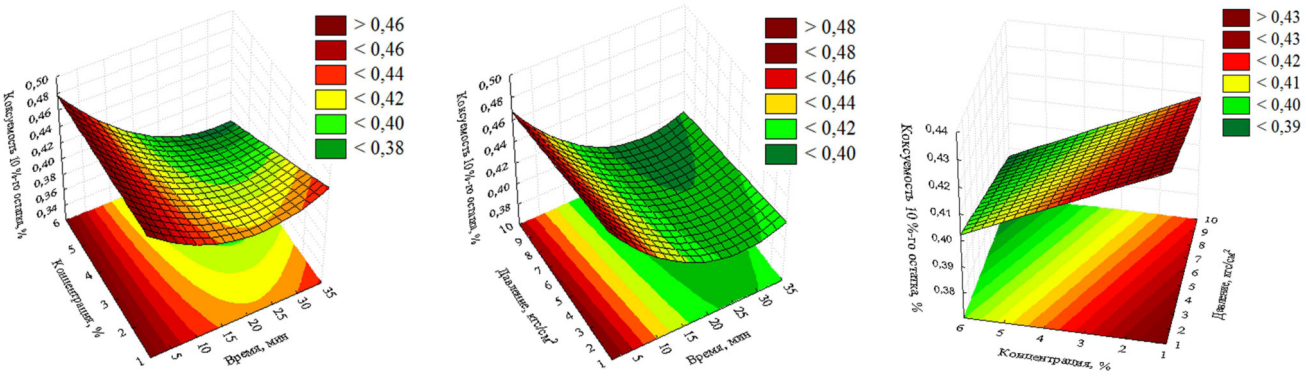
а б в

Рисунок 4.14 – Поверхности отклика и их сечения для температуры перегонки 50 % дизельного топлива $T_{50\%}$ в координатах времени обработки τ и концентрации реагента С (а), давления Р и времени обработки τ (б), давления Р и концентрации реагента С (в)



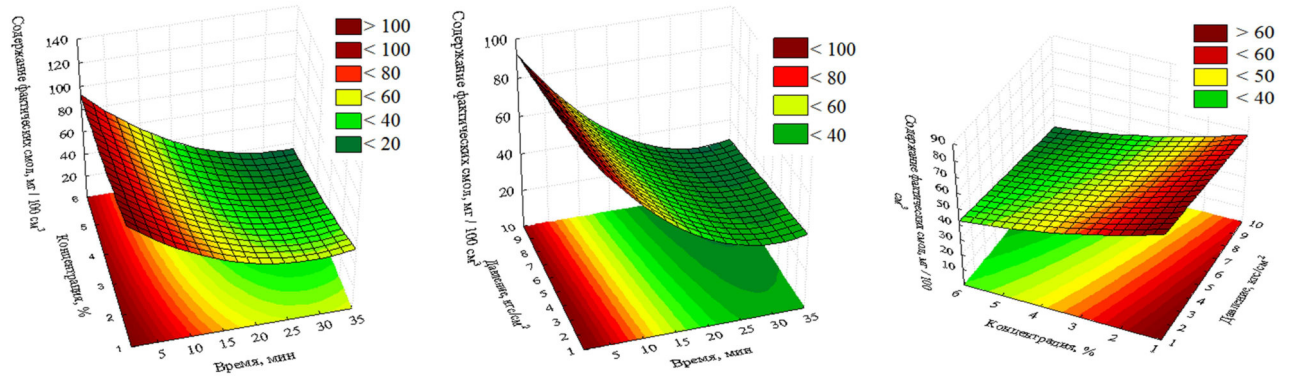
а б в

Рисунок 4.15 – Поверхности отклика и их сечения для температуры перегонки 95 % дизельного топлива $T_{95\%}$ в координатах времени обработки τ и концентрации реагента С (а), давления Р и времени обработки τ (б), давления Р и концентрации реагента С (в)



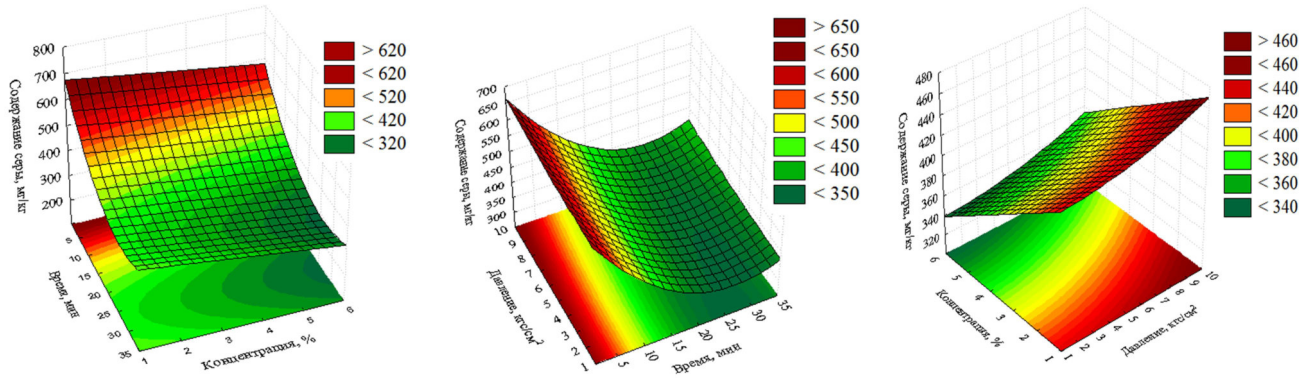
а б в

Рисунок 4.16 – Поверхности отклика и их сечения для коксуемости 10 % остатка в колбе $К_{10\%}$ в координатах времени обработки τ и концентрации реагента С (а), давления Р и времени обработки τ (б), давления Р и концентрации реагента С (в)



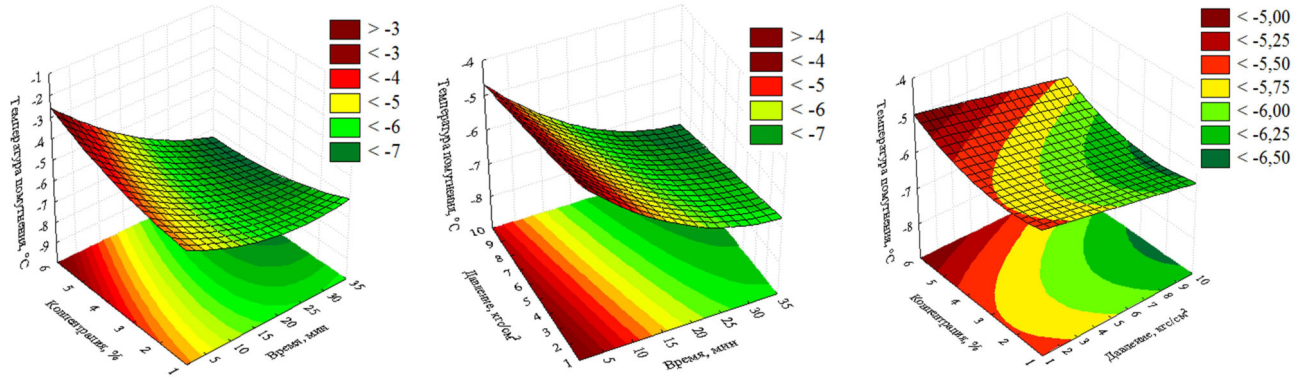
а б в

Рисунок 4.17 – Поверхности отклика и их сечения для содержания фактических смол $С_{ФС}$ в координатах времени обработки τ и концентрации реагента С (а), давления Р и времени обработки τ (б), давления Р и концентрации реагента С (в)



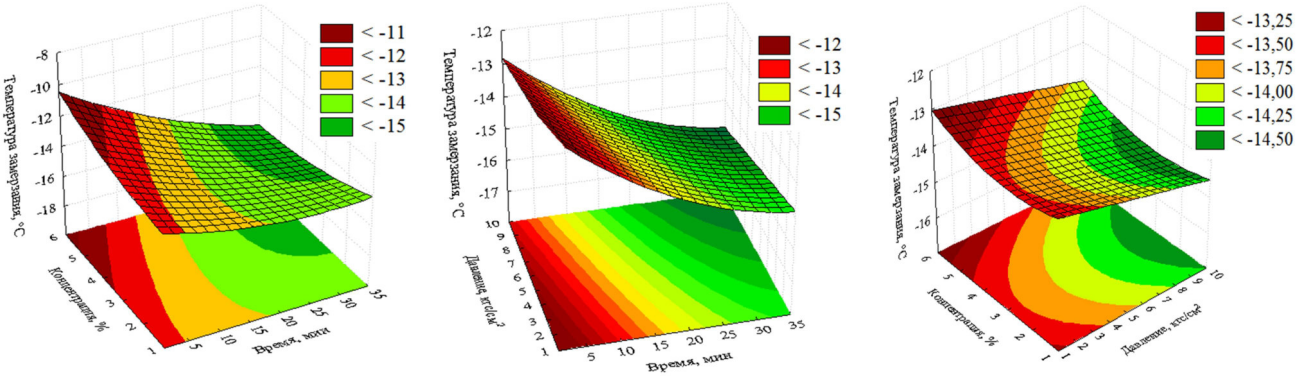
а б в

Рисунок 4.18 – Поверхности отклика и их сечения для содержания общей серы S в топливе в координатах времени обработки τ и концентрации реагента С (а), давления Р и времени обработки τ (б), давления Р и концентрации реагента С (в)



а б в

Рисунок 4.19 – Поверхности отклика и их сечения для температуры помутнения топлива $T_п$ в координатах времени обработки τ и концентрации реагента С (а), давления Р и времени обработки τ (б), давления Р и концентрации реагента С (в)



а б в

Рисунок 4.20 – Поверхности отклика и их сечения для температуры помутнения топлива $T_з$ в координатах времени обработки τ и концентрации реагента С (а), давления Р и времени обработки τ (б), давления Р и концентрации реагента С (в)

Вместе с тем, топливо, имеющее меньшую кинематическую вязкость, способно обеспечить работу двигателя при более низких температурах, лучше прокачивается по трубопроводам и через фильтры, распыливается и образует горючую смесь в цилиндре двигателя, что способствует снижению периода задержки воспламенения и полноте сгорания, получении большей мощности.

Значимыми факторами для изменения температуры вспышки являются время обработки топлива и давление на входе в смеситель. С увеличением этих параметров температура вспышки уменьшается. Максимальное снижение составило 6 °С (9 %), что не является критичным значением изменения температуры вспышки для модельного топлива, однако может быть полезно при обработке топлив утяжеленного фракционного состава с высоким значением этого показателя.

Температура выкипания 10 % топлива характеризует наличие легких фракций топлива, которые определяют его пусковые свойства. По результатам проведенных исследований установлено, что с увеличением времени обработки, давления и концентрации реагента температура выкипания 10 % топлива снижается, максимум на 8 % от исходного значения.

Температура выкипания 50 % топлива характеризует его среднюю испаряемость, влияющую на приемистость, прогрев и устойчивость работы двигателя, а также плавность перехода с одного режима на другой. Чем ниже температура, при которой выкипает 50 % топлива, тем выше его испаряемость и тем лучше приемистость и устойчивость работы двигателя на данном сорте топлива. По результатам проведенных исследований установлено, что с увеличением времени обработки и давления температура выкипания 50 % топлива снижается, максимум на 12 % от исходного значения.

Температура выкипания 95% топлива определяет полноту испарения топлива в двигателе. При слишком высоких значениях топливо не успевает полностью испаряться и конденсируется на внутренних поверхностях камеры сгорания, приводя к повышенному нагарообразованию, разжижению масла и ускорению процессов износа деталей цилиндро-поршневой группы и клапанов. По результатам проведенных исследований установлено, что с увеличением времени обработки, давления и концентрации реагента температура выкипания 95 % топлива снижается, максимум на 7 % от исходного значения.

Таким образом, используя механохимическую обработку утяжеленных дизельных топлив можно подкорректировать фракционный состав утяжеленного топлива, несколько его облегчив и сделав пригодным для использования.

Коксуемость 10 % остатка топлива зависит от его фракционного состава и содержания смолисто-асфальтовых соединений и для дизельного топлива должна быть не более 0,3%. Повышение значения этого показателя вызывает увеличение нагара в двигателе. Как видно из полученного уравнения (таблица 4.18) наибольшее влияние на коксуемость 10 % остатка топлива после обработки оказывают время проведения обработки и концентрация реагента, а также сочетание этих факторов. Максимальное снижение показателя составило 22 %. Изменяя время

обработки и концентрацию реагента можно добиться практически полной нормализации показателя, особенно если превышение не слишком значительное.

Согласно нормативным документам, содержание фактических смол не должно превышать 30 мг на 100 мл для зимних ДТ и 60мг на 100мл для летних ДТ. В результате проведенных экспериментов их содержание уменьшилось для модельного топлива практически на 80 % от исходного, что является отличным результатом, так как такое снижение должно оказать значительное влияние на работу топливной аппаратуры улучшив процесс сгорания, термическую стабильность и коррозионную активность топлив, а также способствуя уменьшению закоксованности форсунок. Уменьшение содержания смол в топливе в 2 – 3 раза способствует увеличению срока службы двигателя в среднем на 15 – 20 %.

В работе наблюдалось как изменение содержания общей серы в модельном топливе, так и меркаптановых соединений, однако адекватная математическая модель была получена только для общего содержания сернистых соединений, так как видимо из-за небольшого количества меркаптанов, присутствовавших в модельном топливе не удалось получить достаточно дифференцированные отклики. На общее содержание серы в обработанном дизельном топливе в первую очередь оказывает влияние время обработки и концентрация реагента, при некотором влиянии давления на входе в смеситель. Максимальное снижение содержания общей серы после обработки составило порядка 50 % от исходного. Снижение содержания тиофеновых и меркаптановых соединений обусловлено легкой окисляемостью некоторых из них. Общее изменение содержания сернистых соединений можно объяснить комплексным действием реагентов и механодеструкции.

Влияние на температуры помутнения и застывания в той или иной мере оказывают все факторы, в первую очередь – время обработки и его взаимодействие с концентрацией реагентов.

Таким образом, на основании результатов проведенных экспериментов и полученных регрессионных математических моделей, описывающих зависимости изменения показателей качества топлива от параметров механохимического воздействия, определены параметры комплексной обработки нефтепродуктов на примере модельного дизельного топлива. Установлено, что при средней концен-

трации реагента 3 – 5 % и времени обработки в статическом смесителе 15 – 30 минут при давлении на входе в смеситель-активатор 5 – 6 кгс/см^2 обеспечивается улучшение качества обрабатываемого дизельного топлива – снижается содержание смолистых соединений, общей и меркаптановой серы, уменьшается коксуемость 10 % остатка и облегчается фракционный состав.

Результаты исследования легли в основу способа очистки и обработки дизельного топлива, обеспечивающего восстановление и улучшение его качества на который получен патент РФ № 2645676 [13].

4.3. Исследования по получению биодобавок к нефтепродуктам на основе возобновляемого сырья

В предыдущем разделе были описаны исследования по изменению свойств дизельных топлив при помощи физико-химических методов воздействия, однако далеко не все показатели качества нефтепродуктов можно существенно изменить с помощью известных и разработанных способов очистки и обработки. В этой связи дальнейшие исследования были направлены на поиск соединений, которые могут быть использованы для улучшения качества топлив и масел на местах использования (в сельхозпредприятиях). В первую очередь интерес вызывали вопросы повышения цетанового числа, противокоррозионных и низкотемпературных свойств дизельных топлив, их смазывающей способности и экологических характеристик, улучшения смазывающих и противоизносных свойств работающих масел.

В качестве сырьевой базы рассматривались различные вещества, но предпочтение отдавалось материалам доступным в сельскохозяйственном производстве: жиры растительного происхождения – масла технических культур и некондиционные пищевые масла (подсолнечника, рыжика, рапса, индау, молочая, редьки, крамбе и др.), жиры животного происхождения (куриный, говяжий), отходы их производства.

Главными критериями по которым определяли принадлежность сырья к техническим и некондиционным маслам, помимо известной классификации вы-

ступали наличие эруковой кислоты в составе масла и значение кислотного числа, характеризующее изменения, происходящие в жирах в процессе их хранения. Так как эруковая кислота имеет тенденцию накапливаться в тканях организма, растительное масло, выпущенные из семян с высоким содержанием эруковой кислоты (рапсовое, горчичное, сурепное), запрещено для пищевого использования в Евросоюзе и некоторых других странах, в том числе и в России, где, например согласно ГОСТ 8807–94, 8988–2002, 30623–2018, допускается содержание не более 5 % эруковой кислоты в таких маслах.

Кислотное число жира – показатель, который помогает быстро оценить пригодность жиров, и характеризует содержание в них свободных жирных кислот, накапливающихся в продукте при гидролизе и окислении. Величина кислотного числа изменяется при созревании, хранении и прорастании семян, хранении жиров. Чем выше кислотное число, тем ниже качество жира. В благоприятных условиях кислотное число жира нарастает медленно, а при повышении влажности и температуры интенсивность процессов окисления и гидролиза значительно возрастает, что приводит к быстрому накоплению свободных жирных кислот и порче продукта.

При ежегодном росте урожая масличных культур, высоком спросе на продукцию их переработки и наращивании объемов производства возрастает и количество отходов производства растительных масел, некондиционной продукции, которые продаются в два-три раза дешевле товарного продукта, что делает их достаточно привлекательным источником для получения присадок и добавок к нефтепродуктам, способным улучшить их эксплуатационные свойства. При этом использование такого сырья для получения присадок и добавок имеет существенные особенности и нюансы, связанные с его свойствами и требует разработки соответствующих научных и технических решений.

Наиболее простыми по реализации производными, которые можно получить на основе возобновляемого жирового сырья (таблица 4.19) являются продукты оксидирования и полимеризации, приводящие к изменениям в структуре и составе триглицеридов, существенном для вязкостных и смазывающих свойств масла [433, 434, 435, 436, 437, 438, 439].

Таблица 4.19 – Физико-химические характеристики растительных масел

Масло	Плотность при 20 °С, кг/м³	Вязкость при 100 °С, мм²/с	Кислотное число, мгКОН/г	Температура, °С		Цвет, ед. ЦНТ	Диаметр пятна износа, мм
				Вспышки	Застывания		
Льняное	928	9,0	0,8	316	– 25	2,0	0,20
Кукурузное	924	8,0	0,4	–	– 19	2,0	0,23
Оливковое	950	9,0	1,0	285	– 17	1,5	0,19
Горчичное	917	8,0	0,63	–	– 31	3,0	0,19
Рапсовое	916	8,3	24,6	282	– 20	4,0	0,27
Подсолнечное	927	7,7	2,0	320	– 16	2,5	0,26
Касторовое	1069	19,3	0,2	296	– 27	1,5	0,23
Рыжиковое	910	9,2	6,0	234	– 22	2,5	0,25

Вязкостью полученных при полимеризации и оксидировании продуктов можно варьировать, подбирая параметры их получения. Так уже за 2 час полимеризации при 200 – 250 °С вязкость масел возросла в 2 раза, что значительно повлияло на их смазывающую способность (таблица 4.20).

Таблица 4.20 – Физико-химические показатели полимеризованных растительных масел при температуре 200 – 250 °С

Время обработки, ч	Показатели			
	Кинематическая вязкость при 100 °С, мм²/с	Температура застывания, °С	Кислотное число, мгКОН/г	Диаметр пятна износа, мм
Рапсовое масло				
2	13,4	-16	24,5	0,25
4	17,6	-10	22,7	0,20
6	20,1	-7	22,0	0,18
8	21,3	-7	23,8	0,22
Кукурузное масло				
2	13,4	-19	5,1	0,25
4	14,6	-19	6,2	0,23
6	16,1	-19	6,2	0,23
8	17,3	-19	6,5	0,28
Подсолнечное масло				
2	15,4	-13	2,1	0,25
4	17,6	-10	2,2	0,23
6	21,1	-8	2,2	0,23
8	22,3	-7	2,5	0,23

Для уточнения параметров процесса была исследована возможность получения продуктов оксидирования и полимеризации рапсового и подсолнечного масел при различных температурах (таблица 4.21).

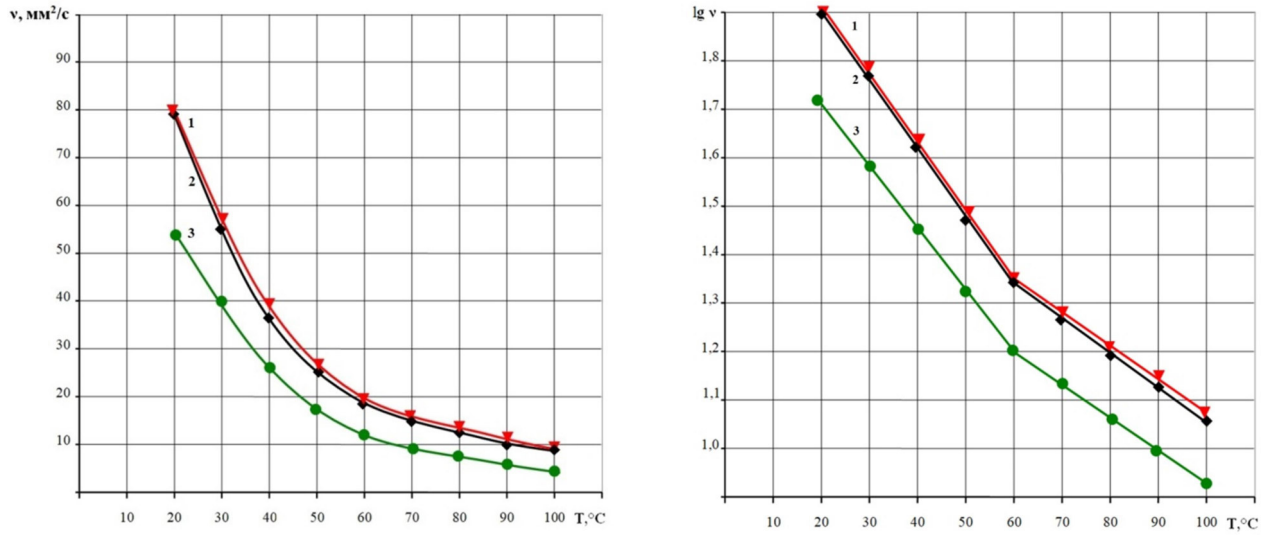
Таблица 4.21 – Физико-химические характеристики продуктов, полученных из растительных масел при их нагреве в течение 12 часов

Температура, °С	Показатели			
	Кинематическая вязкость при 100 °С, мм²/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

Анализ вязкостно-температурных зависимостей для рапсового масла (рисунок 4.21) и продуктов его полимеризации (рисунок 4.22) показал, что рапсовое масло после длительного хранения, содержит много продуктов окисления и имеет меньшую вязкость по сравнению со свежим маслом. На вязкостно-температурной зависимости, представленной в полулогарифмических координатах (рисунок 4.21б), после 60 °С наблюдается видимое замедление скорости падения вязкости от роста температуры.

Это может быть связано с изменением в структурах триглицеридов, началом их окисления или полимеризации, приводящих к изменению в структурах макромолекул. При этом для полимеризованной в течение 1 часа фракции рапсового масла такое отклонение начинается при 50 °С, а для фракции, которая была отобрана после 4-х часов полимеризации этот излом начинается после 70 °С (рисунок 4.22б). Для оксидированного подсолнечного масла подобный эффект проявляется при еще большей температуре – 80 °С.

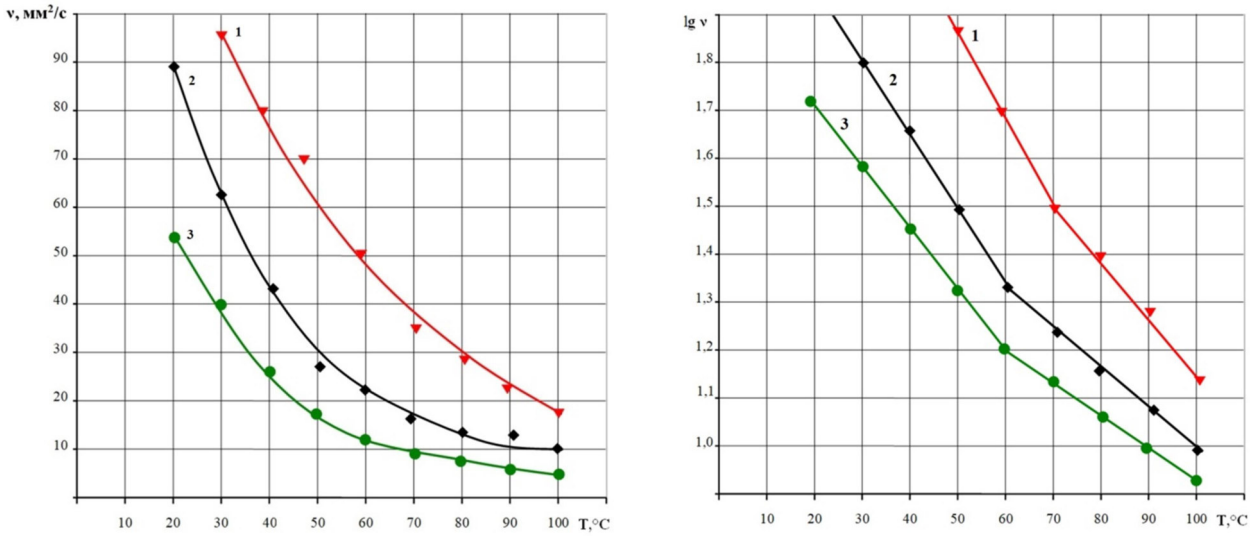
Исследования отходов от технологического процесса производства подсолнечного и рапсового масел, также показали, что их нагрев с доступом воздуха при температуре 300 °С в течение нескольких часов приводит к образованию аналогичных вязких продуктов, которые также могут служить в качестве вязкостных и противоизносных добавок (таблица 4.22).



а б

1 – товарное масло (магазин); 2 – «старое» масло; 3 – свежее масло (маслозавод г. Кирсанов)

Рисунок 4.21 – Вязкостно-температурная зависимость рапсовых масел



а б

1 – 4 часа полимеризации; 2 – 1 час полимеризации; 3 – свежее масло

Рисунок 4.22 – Вязкостно-температурная зависимость для полимеризованных фракций рапсового масла

Эксперимент по смешиванию растительных масел и продуктов их полимеризации показал значительное улучшение смазывающей способности. При этом оказалось, что внесение в растительное масло его полимеризованной фракции в небольших количествах (1 %) способствует снижению температуры застывания. Увеличение концентрации добавки приводит к ухудшению низкотемпературных свойств в отличие от смазывающей способности (таблица 4.23).

Таблица 4.22 – Физико-химические характеристики продуктов, полученных при оксидировании и полимеризации отходов производства подсолнечного и рапсового масел при 300 °С

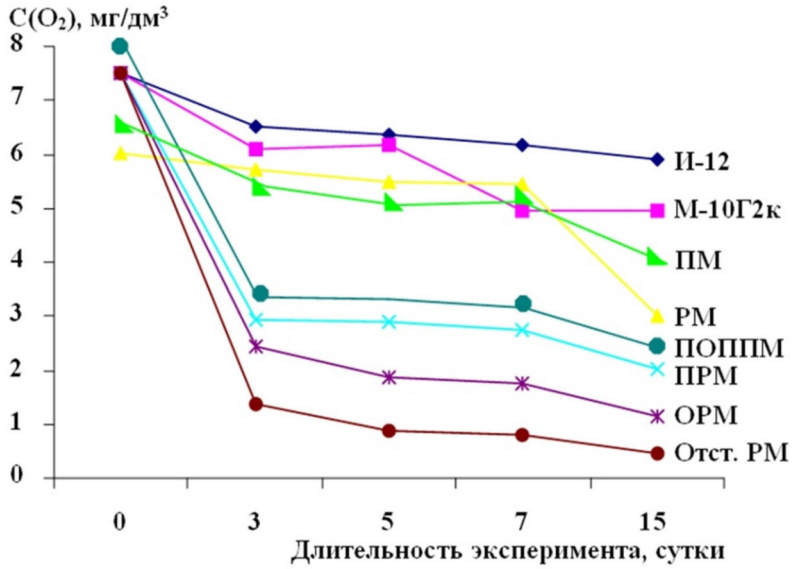
Время обработки, ч	Показатели			
	Кинематическая вязкость при 100 °С, мм²/с	Температура застывания, °С	Кислотное число, мгКОН/г	Диаметр пятна износа, мм
Отходы производства рапсового масла				
0	11,8	– 7	22,0	0,23
2	22,0	– 7	23,0	0,22
8	50,2	– 5	24,0	0,22
Отходы производства подсолнечного масла				
0	11,5	– 5	36,0	0,24
2	17,0	– 4	37,1	0,23
8	28,4	– 2	38,8	0,21

Таблица 4.23 – Изменение смазывающей способности и температуры застывания растительных масел после добавления продуктов их полимеризации

Масла и их смеси	Диаметр пятна износа на ЧШМТ. 3 часа испытаний при температуре:		Температура застывания, °С
	20 °С	150 °С	
Рапсовое	0,27	0,26	– 20
Рапсовое + 1 % ПРМ	0,22	0,20	– 26
Рапсовое + 5 % ПРМ	0,20	0,18	– 18
Подсолнечное	0,26	0,25	– 16
Подсолнечное + 1 % ППМ	0,21	0,20	– 25
Подсолнечное + 5 % ППМ	0,19	0,18	– 14

Учитывая важность экологической составляющей проблемы использования нефтепродуктов были исследованы процессы биологического разложения в водопроводной воде растительных масел и отходов их производства, а также проуктов их переработки в сравнении с широко применяемыми в сельскохозяйственной технике минеральными маслами (рисунок 4.23).

Определение биохимического потребления кислорода показало, что уже на третьи сутки хранения воды с примесями растительных масел или продуктов отходов их получения и переработки имеет место значительное снижение концентрации растворенного кислорода в воде, что свидетельствует об активных биоразлагающих процессах, протекающих в этих средах. Установлено, что по биоразлагаемости они гораздо активнее, чем минеральные масла без присадок (И–12) или с присадками (М10–$Г_2$к) разложение которых в воде происходит гораздо медленнее.



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

Рисунок 4.23 – Зависимость содержания растворенного кислорода в воде, загрязненной маслами и продуктами их переработки

Например, при температуре 20 °С процессы биохимического потребления кислорода в загрязненных водах активизируются не ранее чем через 15 – 30 суток, а для растительных масел – уже через 2 – 3 суток. Полученные данные достаточно хорошо корреспондируются с высокой биоразлагаемостью растительных масел при их попадании в почву или водные ресурсы [440].

Таким образом, продукты окисления и полимеризации растительных масел или отходов их производства могут выполнять роль как противоизносных присадок, так и депрессоров.

Более сложным с точки зрения реализации по сравнению с оксидированием и полимеризацией является получение из жирового сырья продуктов переэтерификации и этерификации. В чистом виде они могут использоваться как моторное (биодизельное) топливо, а также служить в качестве добавок к минеральному дизельному топливу улучшающих его экологические свойства. На этом этапе проводились исследования по уточнению оптимальных параметров получения сложных эфиров из возобновляемого жирового сырья с использованием традиционного метода – метанолиза.

Установлено, что оптимальные значения параметров синтеза для достижения максимального выхода концентрация спирта 20 – 25 % (для всех масел); концентрация катализатора 1 – 2 %; температура – 55 – 60 °С. Наиболее рациональным значением времени проведения синтеза с учетом принятого способа перемешивания реакционной смеси является 50 – 60 минут, при которых выход составляет 90 % и более [312, 441, 442, 443, 444, 445, 446, 447, 448, 449, 450, 451].

Основываясь на анализе имеющихся данных (разделы 1 и 2) было предположено, что кавитационная обработка сырья и реакционной смеси должна увеличить скорость и выход химической реакции при переэтерификации животных и растительных жиров, поэтому следующим этапом исследований было определение значений параметров синтеза при интенсификации его с помощью ультразвукового воздействия на лабораторной установке (рисунок 4.24).

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 %.

При воздействии ультразвука на исследуемые жидкости возникает кавитационный эффект, в результате чего активируются молекулы спирта и триацилглицеринов растительного масла, происходит быстрое и глубокое взаимопроникновение реакционных фаз в следствие чего сокращается время синтеза. С увеличением концентрации катализатора выход увеличивается для всех видов использованных масел. Рациональным вариантом является использование от 0,8 до 1,5 % катализатора. При концентрации 12 – 15 % спирта кривая выхода выходит на постоянный уровень и не изменяется. Характер зависимостей не зависит от источника растительного сырья [452, 453, 454].

Таким образом, подтверждено, что использование ультразвука позволяет значительно сократить время синтеза моноалкиловых эфиров и положительно влияет на технологические параметры и физико-химические свойства полученного продукта.

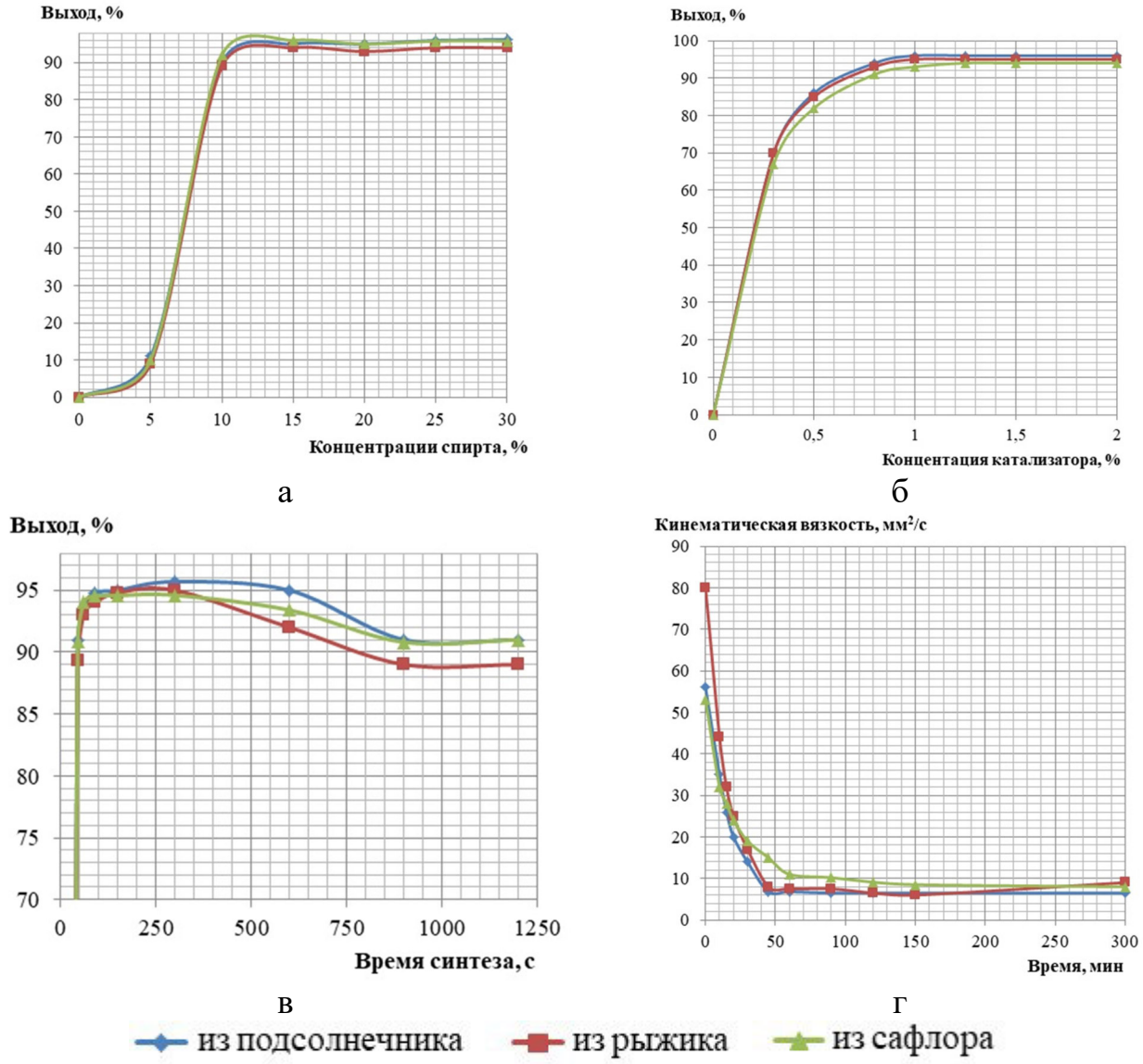


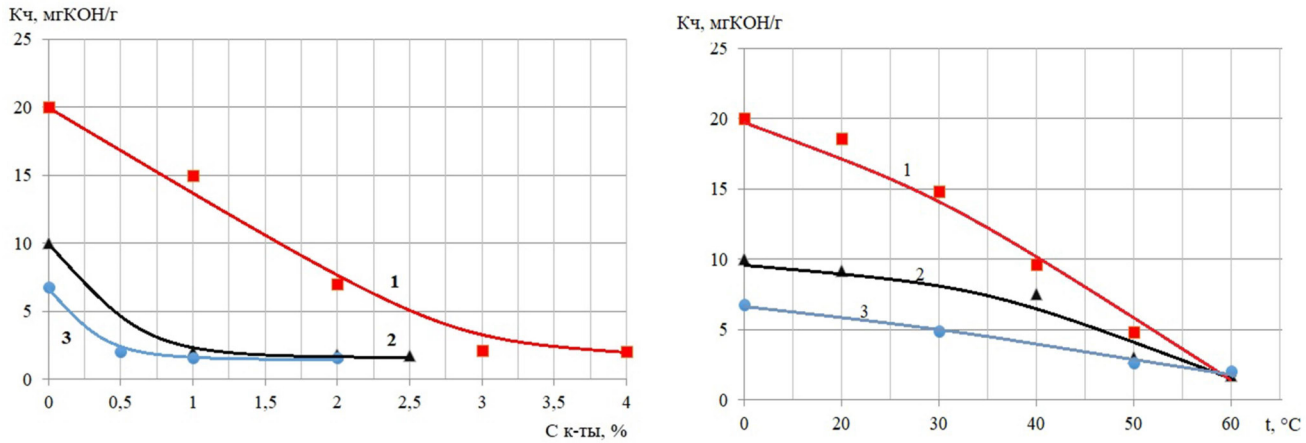
Рисунок 4.24 – Влияние концентрации спирта (а), катализатора (б) и времени синтеза (в) на выход моноалкиловых эфиров, а также динамика изменения кинематической вязкости продуктов реакции (при 20 °С) со временем (г)

Вместе с тем, проведенные исследования показатели недостатки традиционной технологии – не со всяким жировым сырьем можно провести процесс синтеза в одну стадию из-за их высокого кислотного числа. Высокое кислотное число исходного сырья, определяемое наличием свободных карбоновых кислот, приводит к тому, что при использовании щелочного гомогенного катализатора вместо реакции переэтерификации идет омыление свободных жирных кислот. Это особенно актуально при поставленной задаче использования в качестве сырья некондиционных масел и жиров, что потребовало проведения дополнительных иссле-

дований по подбору условий проведения синтеза.

Для решения этой проблемы традиционный метод был усовершенствован последовательным применением кислотного и основного катализаторов для ускорения стадий этерификации и переэтерификации, а также проведены исследования по подбору нужных катализаторов для каждой стадии [441, 452, 453].

Установлено, что в качестве гомогенного катализатора этерификации более предпочтительна серная кислота, которая обеспечивает быстрое снижение кислотного числа исходного сырья, что позволяет провести дальнейшую переэтерификацию без нежелательного омыления. Оптимальным условием первой стадии (этерификации), обеспечивающей снижение кислотного числа и подготовку сырья для проведения стадии трансэтерификации является температура 60 ± 3 °С, время реакции 50 – 60 мин, концентрация серной кислоты 1 % (при кислотном числе ≤ 10 мг КОН/г). При исходном Кч = 20 мг КОН/г нужно примерно 2 – 3 % серной кислоты, а для Кч = 6 мг КОН/г будет достаточно 0,5 – 0,7 % серной кислоты (рисунок 4.25).



а б

1 – животный жир № 1; 2 – животный жир № 2; 3 – масло Рыжика

Рисунок 4.25 – Зависимость кислотного числа (Кч) жирового сырья от концентрации катализатора (С к-ты) (а) и температуры реакции (t) (б)

Использование гомогенных катализаторов позволяет провести реакцию переэтерификации липидного сырья со спиртом в мягких условиях (35 – 60 °С), однако существующие преимущества использования гомогенных катализаторов

нейтрализуются дополнительными процессами, включающими разделения продуктов, удаление остаточного катализатора, в результате чего увеличивается общая себестоимость продукта. Поэтому были проведены исследования по подбору гетерогенных катализаторов для интенсификации процессов этерификации свободных жирных кислот (СЖК) и переэтерификации триглицеридов в сложные эфиры [315, 452, 455].

Установлено, что ускорение этерификации СЖК метиловым спиртом наиболее эффективно происходит в присутствии сульфата алюминия $Al_2(SO_4)_3$ при технологических режимах: перемешивание реакционной смеси 1000 – 1200 об/мин, молярном соотношении спирта к количеству СЖК 9:1, температуре 55 – 60 °С, концентрации катализатора 20 %. Реакция переэтерификации хорошо проходила в присутствии оксидов MgO, CaO, CuO и Al_2O_3 при технологических режимах – перемешивание реакционной смеси 1000 – 1200 об/мин, молярном соотношении спирта к количеству триглицеридов 9:1, температуре 65 – 70 °С, концентрации катализатора 20 %. При этом оксид алюминия (II) обладал наилучшей каталитической активностью и позволил конвертировать триглицериды окисленного жира с максимальным выходом моноалкиловых эфиров при использовании различных спиртов (рисунок 4.26б).

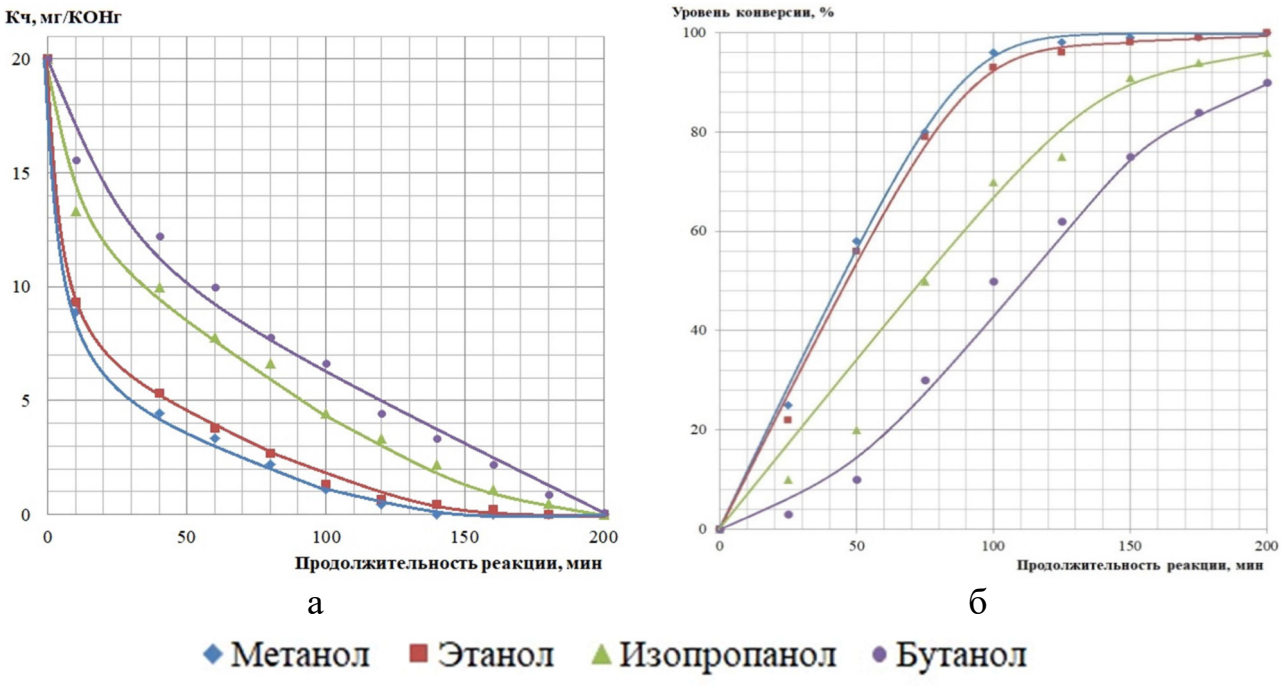
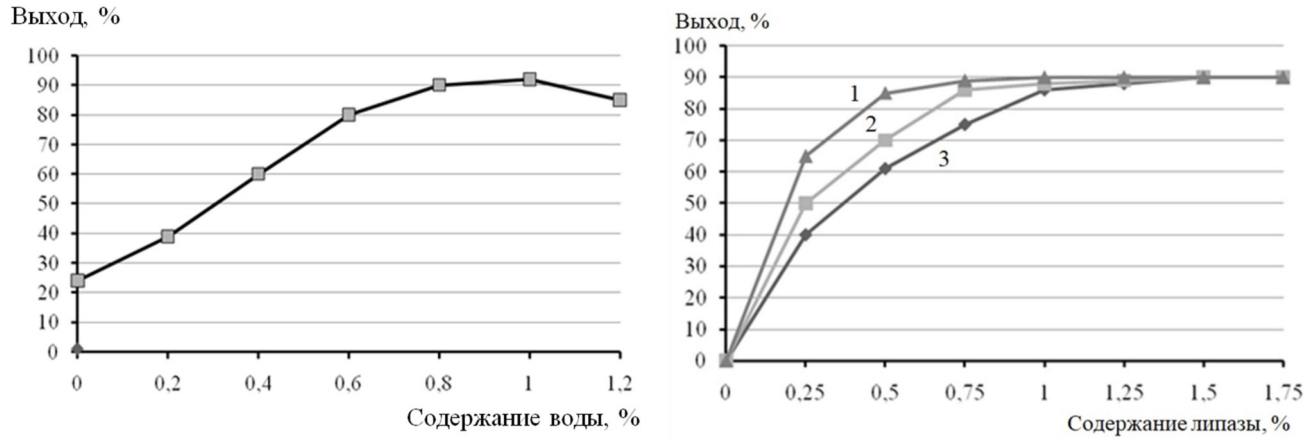


Рисунок 4.26 – Динамика этерификации СЖК в присутствие $Al_2(SO_4)_3$ (а) и переэтерификации триглицеридов в присутствии Al_2O_3 (б)

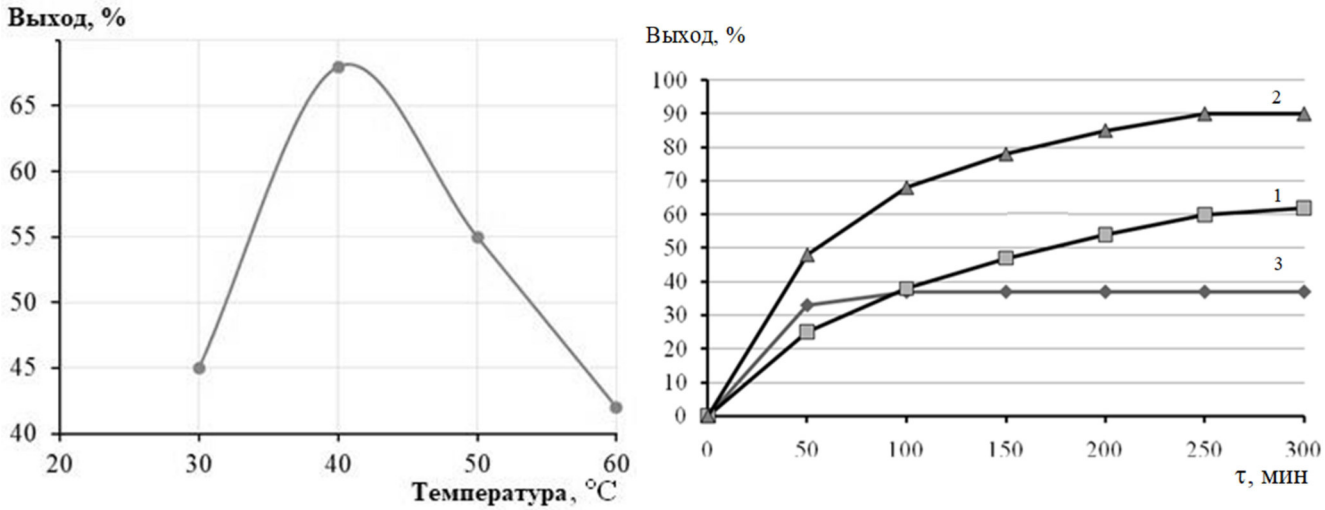
Помимо катализаторов неорганического происхождения проводились исследования по использованию гетерогенных катализаторов органического происхождения – ферментов – неспицифичных липаз Novozym 435 и Aspergillus niger, а также 1,3-региоспецифичной свиной панкреатической липазы (рисунки 4.27 и 4.28).



а б

1 – кислотное число 0,6 мгКОН/г; 2 – кислотное число 10 мгКОН/г;
3 – кислотное число 20 мгКОН/г

Рисунок 4.27 – Влияние содержания воды (а), количества катализатора и кислотного числа жира (б) на выход моноалкиловых эфиров при ферментативном катализе Novozym 435



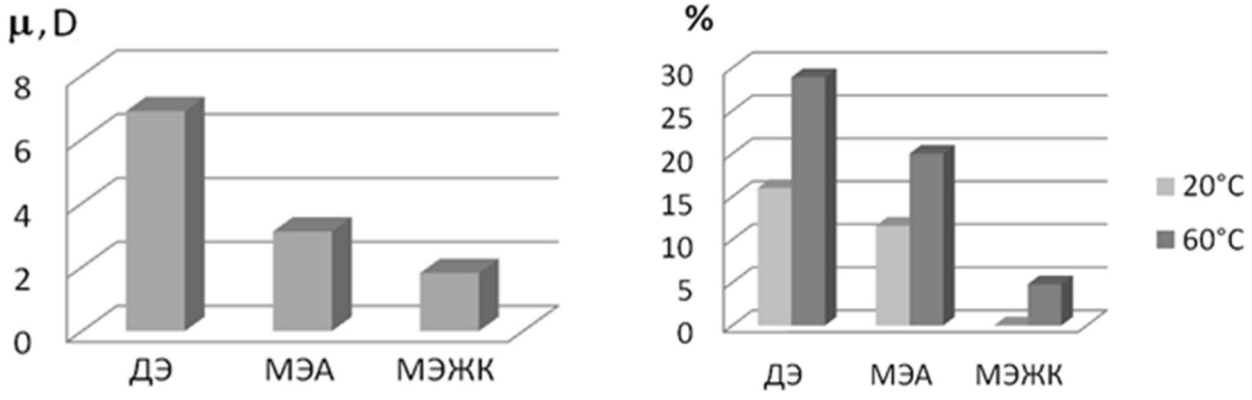
а б

1 – температура процесса 35 °С; 2 – температура процесса 40 °С;
3 – температура процесса 45 °С

Рисунок 4.28 – Влияние температуры на выход эфиров при использовании липазы Aspergillus niger (а) и Novozym 435 (б)

Установлено, что для протекания переэтерификации в присутствии липазы, выделенной из штамма гриба Aspergillus niger, в реакционную массу необходимо вводить воду в количестве 10 % от массы масла; при этом количество сухого фермента – 1 % от массы масла. Наилучший выход (68 %) достигается при температуре 40 °С и времени реакции 2 часа. Использовние липазы Novozym 435 позволяет достичь выхода 80 – 90 % при проведении реакции в течение 3 – 4 часов и содержании воды – 1 % при тойже температуре и стехиометрическом соотношении спирт : триацилглицерины масла – 3 : 1 [316, 452, 453, 456]. Результаты исследований легли в основу способа этерификации и переэтерификации жирового сырья, приоритет которого подтвержден патентом РФ № 2751698 [14].

Помимо алкиловых эфиров, продуктов оксидирования и полимеризации из некондиционного возобновляемого жирового сырья были получены и исследованы другие соединения – амиды и алкильные производные сложных эфиров [36, 312, 457, 458, 459, 460, 461]**.** Как известно полярные органические соединения могут создавать на трущихся поверхностях модифицированные слои со строгой ориентацией молекул, снижающие износ деталей [461]. Сопоставления равновесной геометрии молекул синтезированных соединений путем квантово-химических расчетов полуэмпирическим методом MNDO позволили определить значения их дипольных моментов. Наиболее полярными оказались молекулы диэфиров высших алифатических кислот (рисунок 4.29).



а б

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

Рисунок 4.29 – Дипольные моменты молекул (а) синтезированных соединений и их улучшение смазывающей способности дизельного топлива (б)

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что на основе масел технических непищевых культур, в частности масла рыжика, также возможно получение поверхностно активных веществ, предположительно способных влиять на смазывающие свойства нефтепродуктов. Определены условия синтеза. Температура взаимодействия с этаноламином 120 – 130 °С, с триэтаноламином 160 – 180 °С, время протекания реакции при перемешивании – 3 часа.

4.4. Исследование процессов изменения свойств топлива под действием присадок и добавок, в том числе на основе возобновляемого сырья

4.4.1. Результаты исследований физико-химических свойств смесей дизельных топлив с синтезированными соединениями

После получения соединений на основе возобновляемого сырья и подтверждения их состава методами хроматографии и ИК-спектроскопии были исследованы их индивидуальные физико-химические характеристики (таблица 4.24). Важно отметить, что у каждого сырья свой неповторимый жирнокислотный состав, который определяет различие в физико-химических, а, следовательно, и в эксплуатационных свойствах синтезированных соединений. Вместе с тем, разные сорта одной и той же масличной культуры могут иметь довольно сильно различающийся набор высших кислот (таблица 4.25).

Например, масло из выращенного в Черноземье рыжика (Рыжик № 1), содержит в качестве основного компонента олеиновую кислоту, а из выращенного в Крыму (Рыжик № 2) – эруковую и олеиновую кислоты. В маслах растительного происхождения содержится больше эфиров непредельных кислот, преимущественно олеиновой, линолевой, линоленовой, в меньшей мере пальмитолеиновой, эруковой и арахидоновой [204, 462, 463].

В твердых жирах животного происхождения в составе преобладают эфиры предельных кислот, преимущественно пальмитиновой и стеариновой, реже миристиновой и бегеновой.

Таблица 4.24 – Некоторые физико-химические показатели метиловых эфиров, полученных из различного жирового сырья

Параметры	Возобновляемое жировое сырье											Требования ГОСТ Р 53605–2009
	Рыжик № 1	Рыжик № 2	Рапс № 1	Рапс № 2	Подсолнечник	Кукуруза	Редька	Лён	Сафлор	Твердый жир № 1	Твердый жир № 2	
Плотность 15°С, кг/м^3	884	880	882	883	880	880	876	879	950	900	900	860 – 900
Вязкость кинематическая при 40 °С, мм^2/с	4,8	4,0	5,1	3,7	4,9	5,0	4,9	4,4	3,9	4,7	4,8	3,5 – 5,0
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	158	149	161	141	140	152	121	145	172	180	190	не ниже 120
Температура застывания, °С	– 11	– 19	– 8	– 20	– 20	– 17	– 12	-18	– 11	– 2	0	не выше –20
Кислотное число, мгKOH/г	0,35	0,30	0,50	0,40	0,46	0,50	0,44	0,48	0,39	0,35	0,45	не более 0,5
Йодное число, г I_2/100г	103	111	119	113	112	114	101	176	120	48	56	не более 120
Цетановое число	52 – 65											не менее 51
Содержание воды, мг/кг	95 – 375											не более 500
Содержание механических примесей, мг/кг	12 ± 1,5											не более 24
Содержание моноацилглицеринов,%	0,50 – 0,60											не более 0,8
Содержание диацилглицеринов, %,	0,10 – 0,11											не более 0,2
Содержание триацилглицеринов, %	0,0015 – 0,0021											не более 0,2
Общее содержание глицерина, %	0,15 ± 0,01											не более 0,25

Таблица 4.25 – Жирнокислотный состав метиловых эфиров, полученных из различного жирового сырья

№	Название кислоты	Число углеродных атомов: двойных связей	Возобновляемое жировое сырье										
			Рыжик № 1	Рыжик № 2	Рапс № 1	Рапс № 2	Подсолнечник	Кукуруза	Редька	Лён	Сафлор	Твердый жир № 1	Твердый жир № 2
1	Миристиновая	14:0	0,29	0,01	0,05	–	4,8	–	10,64	7,56	–	41,92	1,1
2	Пентадекановая	15:0	–	0,08	0,02	–	0,23	–	–	–	8,54	5,06	10,35
3	Пентадеценовая	15:1	–	1,17	–	–	–	–	–	–	–	–	–
4	Пальмитиновая	16:0	5,65	1,67	4,75	6,4	8,34	8,31	11,85	6,46	3,65	3,52	5,03
5	Пальмитоолеиновая	16:1	–	0,03	0,2	0,3	0,5	–	–	–	–	–	–
6	Маргариновая	17:0	–	0,05	0,04	–	–	–	–	–	–	2,17	3,37
7	Маргариноолеиновая	17:1	–	–	0,06	–	–	–	–	–	–	1,66	2,45
8	Стеариновая	18:0	–	2,76	1,9	2,7	4,7	6,17	3,53	2,25		3,72	10,64
9	Олеиновая	18:1	67,46	34,75	59,53	50,0	49,47	47,07	31,82	7,89	12,2	2,83	6,28
10	Линолевая	18:2	2,39	10,3	21,36	24,0	9,38	37,45	24,59	26,97	37,8	–	–
11	Линоленовая	18:3	–	–	9,27	12,0	18,14	0,53	9,38	46,73	–	–	–
12	Арахиновая	20:0	–	–	0,67	0,5	2,34	0,15	–	–	–	–	12,64
13	Эйкозеновая	20:1	1,6	–	1,35	1,6	0,24	0,32	8,19	–	–	3,66	–
14	Эйкозадиеновая	20:2	–	–	0,14	–	0,14	–	–	–	–	–	–
15	Эйкозатетраеновая	20:4	17,9	–	–	1,5	–	–	–	2,14	–	–	–
16	Бегеновая	22:0	0,59	3,84	0,26	0,1	1,72	–	–		–	8,78	3,93
17	Эруковая	22:1	4,12	41,13	0,15	0,9	–	–	–	–	34,15	14,41	26,04
18	Докозадиеновая	22:2	–	0,72	–	–	–	–	–	–	2,44	8,99	13,84
19	Лигноцериновая	24:0	–	1,09	0,13	–	–	–	–	–	–	0,76	1,59
20	Нервоновая	24:1	–	2,4	0,12	–	–	–	–	–	1,22	2,52	2,74

Для сравнения были синтезированы и проанализированы несколько образцов метиловых эфиров из отдельных индивидуальных жирных кислот (таблица 4.26).

Таблица 4.26 – Свойства метиловых эфиров индивидуальных жирных кислот

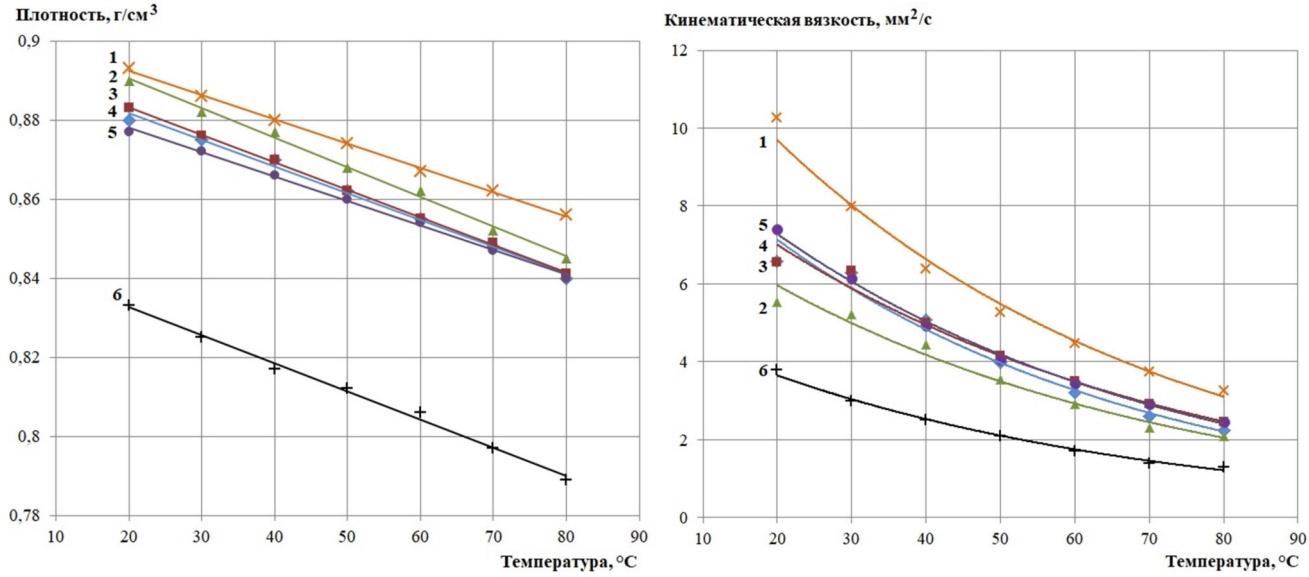
Наименование индивидуальной жирной кислоты из которой получен метиловый эфир	Число углеродных атомов: двойных связей	$T_{пл}$, °C	$T_{кип}$, °C	Вязкость 40 °C, $мм^2/с$	Плотность 15 °C $кг/м^3$	Цетановое число [464]
Октановая	8:0	– 40	193	1,18	881	33,6
Декановая	10:0	– 12,8	228	1,71	876	47,2
Лауриновая	12:0	5	266	2,41	873	61,4
Миристиновая	14:0	18,5	286	3,23	863	66,2
Пальмитиновая	16:0	30,5	416	4,36	852	74,5
Стеариновая	18:0	39	442	4,74	840	86,9
Олеиновая	18:1	– 20	216	4,40	877	55
Линолевая	18:2	– 35	207	3,56	888	42,2
Линоленовая	18:3	< – 35	207	3,14	901	51,0

Из представленных данных видно, что присутствие двойной связи снижает температуры плавления и кипения метиловых эфиров непредельных кислот по сравнению с соответствующими производными предельных кислот. Следовательно, увеличение доли непредельных компонентов в топливе улучшает его низкотемпературные свойства.

Вместе с тем, использование эфиров с очень высокой концентрацией непредельных компонентов нежелательно, т.к. нагревание более ненасыщенных жирных кислот ускоряет реакцию полимеризации, что может приводить к образованию отложений или к ухудшению качества смазывающего масла. Это делает соединения менее устойчивыми к окислению в процессе хранения. Эффект возрастает с количеством двойных связей в цепочке жирных кислот (от олеиновой кислоты к линоленовой), поэтому, например, льняное масло является не самым удачным сырьём для синтеза биодобавок к топливу, т.к. в нём самое высокое содержание линоленовой кислоты. Более предпочтительным является присутствие в топливе олеиновой или пальмитолеиновой кислот с одной двойной связью [204].

Экспериментально были определены зависимости изменения плотности и кинематической вязкости полученых соединений от температуры в интервале от 20 °C до 80 °C (рисунок 4.30). Установлено, что зависимость плотности от темпе-

ратуры является линейной, а аналогичная зависимость для вязкости – экспоненциальная. Они ближе к зависимостям, характерным для растительных масел, чем для нефтяного дизельного топлива. Это связано с тем, что и растительные масла, и получаемые из них биодобавки относятся к одному и тому же классу органических соединений – сложным эфирам, в то время как в состав нефтяного дизельного топлива преимущественно входят предельные и непредельные углеводороды.



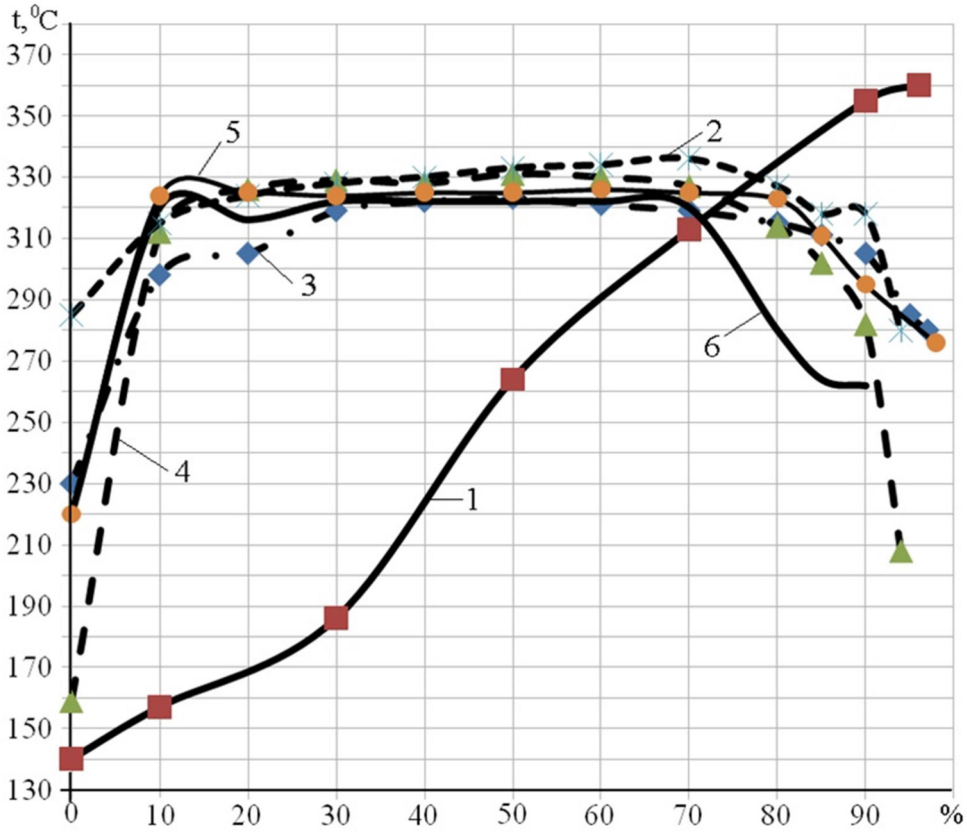
а б

1 – рыжик; 2 – лен; 3 – рапс; 4 – подсолнечник; 5 – редька; 6 – Дт

Рисунок 4.30 – Зависимость плотности (а) и вязкости (б) образцов биодобавок к дизельному топливу (метиловых эфиров) из жирового сырья от температуры

Вязкость сложных эфиров метанола и индивидуальных жирных кислот увеличивается, а их плотность уменьшается с ростом молекулярной массы эфира. Увеличение числа двойных связей в радикале приводит к увеличению плотности и уменьшению вязкости эфиров [204, 462, 463].

Важное значение имеет фракционный состав биодобавок, который также заметно различаться в зависимости от использованного сырья [465, 466, 467, 468]. Молекула метиловых эфиров жирных кислот имеет большую молекулярную массу и большую полярность, чем углеводороды нефтяного дизельного топлив, что обуславливает их большую плотность, вязкость и более тяжелый фракционный состав (рисунок 4.31).



ДТ – 1; 2 – рапс; 3 – подсолнечник; 4 – редька; 5 – кукуруза; 6 – лён

Рисунок 4.31 – Кривые перегонки нефтяного дизельного топлива и биодобавок из различного жирового сырья

Таким образом, проведённые исследования показали корреляцию между жирнокислотным составом и физико-химическими характеристиками биодобавок к дизельному топливу. 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 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 [469, 470, 471].

По большинству показателей многие синтезированные соединения соответствуют требованиям ГОСТ Р 53605-2009 (ЕН 14214:2003) и поэтому могут при-

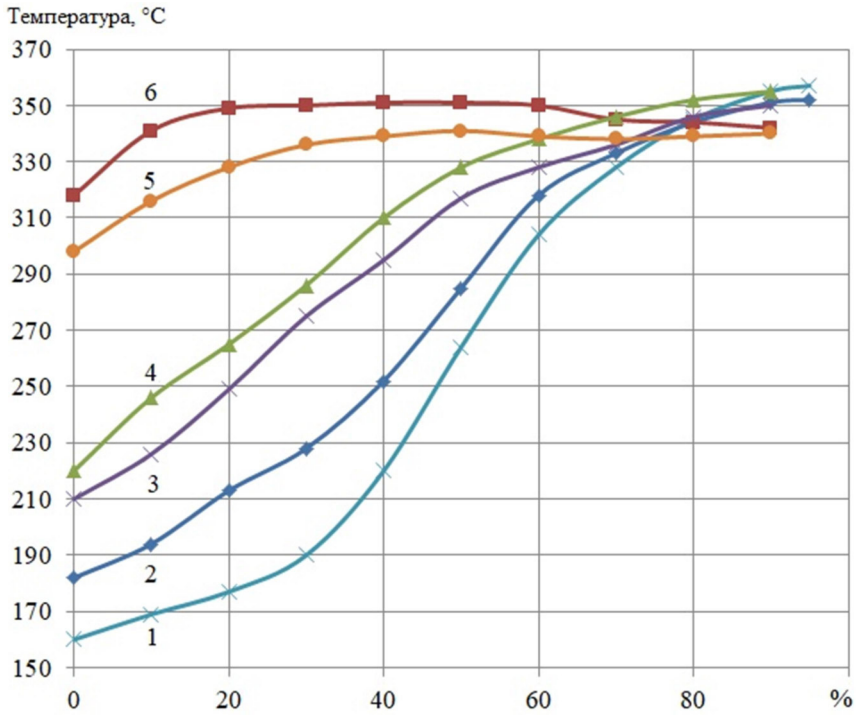
меняться как самостоятельные топлива для дизельных двигателей. Однако не все параметры этих соединений соответствуют требованиям, предъявляемым к товарному дизельному топливу (например, плотность, вязкость и низкотемпературные свойства), поэтому использование их взамен дизельного топлива без регулировки двигателя не всегда рационально и оправдано. Этот недостаток устраняется применением смеси нефтяного топлива и синтезированных биодобавок с помощью которых можно скорректировать состав и свойства некондиционного топлива, скомпенсировав отклоняющиеся значения.

Исследования по приготовлению в лабораторных условиях смесевого топлива из метиловых эфиров, полученных на основе различного жирового сырья, закономерно показали, что при добавлении без нагрева в дизельное топливо более 20 % биодобавки, содержащей большое количество эфиров предельных кислот (на основе твердого жира) топливо становилось мутным, часть компонента выпадала в осадок. При повышении температуры и непрерывном перемешивании осадок растворялся, смесь становится прозрачной. При достижении температуры 40 °С смесь приобретала вид исходного дизельного топлива. При снижении концентрации компонента на основе твердых жиров до 10 % смесевое топливо получалось однородным прозрачным даже без нагрева.

Для компонентов на основе растительных масел, содержащих большее количество непредельных соединений, как с изначально низким, так и с высоким кислотным числом, сниженным в процессе синтеза, не обнаружено расслоения или выпадения осадка при содержании биодобавки до 50 % и более.

Также они хорошо смешиваются с эфирами, полученными из твердых жиров при нагревании до 40 °С. По прошествии 24 часов с момента растворения при температуре 20 °С изменений не произошло, выпадения осадка не наблюдалось.

На примере фракционного состава видно, что с увеличением содержания высокомолекулярных эфиров в смеси температуры начала кипения, а также перегонки 50 % фракции увеличивается (рисунок 4.32). Так как в состав биодобавок входят молекулы метиловых эфиров высших алифатических кислот, имеющих большую молекулярную массу, чем углеводороды нефтяного топлива, то большая



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

Рисунок 4.32 – Кривые перегонки нефтяного дизельного топлива с различным содержанием биодобавки на основе масла рыжика

масса обуславливает более тяжёлый фракционный состав, а также приводит к изменению других физико-химических характеристик топлива – увеличению вязкости, плотности и поверхностного натяжения – с ростом содержания биодобавки в смесевом топливе, что может негативно сказаться на эксплуатационных свойствах топлива и характеристиках работы двигателя. Увеличение этих характеристик ведёт к ухудшению процесса сгорания топлива из-за роста такого показателя, как дальнобойность струи топлива, вследствие этого часть топлива попадает на стенки камеры сгорания, а доля объёмного смесеобразования снижается.

Наличие непредельных соединений снижает стабильность такого топлива при хранении, т.к. непредельные соединения сравнительно легко вступают в реакции окисления и полимеризации. При этом образуются смолистые соединения, осадки и вещества кислотного характера. При хранении могут ухудшаться такие их характеристики, как содержание фактических смол, механических примесей, кислотность, коррозионная агрессивность. При использовании такого топлива

может снижаться срок работы топливных фильтров, увеличиваться закоксованность деталей двигателя, интенсифицироваться лако- и нагароотложение.

Согласно ГОСТ 32511 максимально разрешенное содержание метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) в дизельном топливе составляет 7 % об, поэтому были проверены показатели именно такого смесевого топлива. В качестве нефтяного компонента выбрали арктическую дизельную фракцию. Результаты испытаний представлены в таблице 4.27 [472, 473].

Таблица 4.27 – Результаты испытаний смесевых топлив, содержащих 7 % МЭЖК рыжикового и рапсового масел, на соответствие требованиям ГОСТ 32511

Показатели	Фактическое значение для смесевого топлива, содержащего 7 % МЭЖК		Норма по ГОСТ 32511*
	из рыжикового масла	из рапсового масла	
Плотность при 15°С, кг/м^3	818,8	818,5	820 – 845
Кинематическая вязкость при 40°С, мм^2/с	1,656	1,670	1,500 – 4,000
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
Массовая доля общей серы, мг/кг, не более	–	–	10,0 для К5
Коррозия медной пластинки (3 ч при 50°С), единицы по шкале	–	–	Класс 1
Фракционный состав: – при 250°С перегоняется, % об., менее – при 350°С перегоняется, % об., не менее – 95 % об. перегоняется при темп., °С, не выше	 72,99 > 97,7 319,0	 73,33 > 97,8 314,3	 65 85 360
Цетановое число	44,4	45,7	49,0
Коксуемость 10 %-го остатка разгонки, % масс., не более	0,22	0,06	0,3
Окислительная стабильность, г/м^3, не более	71	193	25
Смазывающая способность: скоррект. диаметр пятна износа (wsd 1,4) при 60°С, мкм, не более	341	404	460

*нормы для зимнего дизельного топлива

Оба смесевых дизельных топлива, содержащих 7 % МЭЖК рыжикового и рапсового масел со сроком хранения более 2-х месяцев не соответствуют требованиям ГОСТ по показателю «Окислительная стабильность». Следует отметить, что окислительная стабильность топлива, содержащего МЭЖК рапсового масла обладает худшей окислительной стабильностью, чем образец, содержащий МЭЖК рыжикового масла, несмотря на менее благоприятный жирнокислотный

состав. При испытаниях смесевого топлива с МЭЖК рапсового масла, количество осадка превышает допустимые значения в 7,7 раза, а у смесевого дизельного топлива, содержащее 7 % МЭЖК рыжикового масла – всего в 3 раза.

В образце смесевого дизельного топлива, содержащего 7 % МЭЖК рыжикового масла со сроком хранения 5 лет, количество осадка образовавшегося, при определении окислительной стабильности, почти в 1000 раз превышает допустимые нормы (таблица 4.28).

Таблица 4.28 – Влияние присадки Агидол-1 на показатель окислительная стабильность в смесевых топливах

Образец	Окислительная стабильность, г/м^3, не более		Кислотность (до / после определения окислительной стабильности)	
	Без добавления Агидол-1	0,1 % Агидол-1	Без добавления Агидол-1	0,1 % Агидол-1
Смесевое топливо, содержащее 7 % МЭЖК рыжикового масла (срок хранения 5 лет)	19531	75	28 / более 164	30 / 51
Смесевое топливо, содержащее 7 % МЭЖК рыжикового масла (срок хранения более 2-х месяцев)	71	0	0,82 / 2,25	0,92 / 1,33
Смесевое топливо, содержащее 7 % МЭЖК рапсового масла (срок хранения более 2-х месяцев)	193	5	0,32 / 1,36	0,32 / 0,96

Была исследована эффективность антиокислительной присадки Агидол-1 в составе смесевых топлив. Установлено, что концентрация 0,1 % масс является эффективной, позволяет довести смесевые дизельные топлива с содержанием МЭЖК 7 % до требований ГОСТ 32511 по показателю «Окислительная стабильность» [472].

Основываясь на полученных данных можно заключить, что для обеспечения нормальной работы дизельного двигателя (без его модификаций и дополнительной регулировки) на чистых МЭЖК или моторном смесевом топливе с содержанием МЭЖК более 7 % необходимо приблизить характеристики такого топлива к параметрам, нормируемым для нефтяного дизельного топлива. Было установлено, что кавитационная обработка смесевого топлива также влияет на его показатели

аналогично описанному ранее случаю с дизельным топливом – снижается вязкость, плотность, температуры вспышки, застывания (таблица 4.29).

Таблица 4.29 – Физико-химические характеристики моторных топлив

Исследуемые вещества	Плотность, при 20 °С, кг/м^3	Вязкость, при 20 °С, мм^2/с	Кислотное число, мг КОН/г	Температура вспышки, °С	Температура помутнения, °С	Температура застывания, °С	Цетановое число
Дизельное топливо (ДТ)	859	4,8	0,06	70	– 5	– 10	48
ДТ обработанное	844	3,6	0,06	66	– 6	– 12	49
Метиловый эфир рапсового масла (МЭРМ)	882	6,5	0,5	161	– 15	– 19	53
Смесевое топливо (СТ) В20 (МЭРМ)	863	5,4	0,5	101	– 6	– 10	49
СТ В20 (МЭРМ) обработанное	855	4,0	0,5	88	– 7	– 11	50
СТ В50 (МЭРМ)	868	5,7	0,5	110	– 8	– 12	50
СТ В80 (МЭРМ)	876	6,2	0,5	133	– 10	– 14	52
СТ В20 (МЭРедМ) обработанное	880	4,9	0,6	96	– 6	– 15	52
СТ В20 (МЭПМ) обработанное	842	4,2	0,5	98	– 8	– 13	50
СТ В20 (МЭКМ) обработанное	888	5,2	0,7	110	– 6	– 13	54

МЭРедМ – метиловый эфир масла редьки, МЭПМ – метиловый эфир подсолнечного масла, МЭКМ – метиловый эфир масла крамбе.

Таким образом, проведенные исследования показали как положительные, так и отрицательные моменты при получении смесевого топлива с использованием биодобавок на основе возобновляемого сырья. При этом для минимизации отрицательных особенностей следует приблизить характеристики смесевого топлива к дизельному путем физико-химической обработки.

4.4.2. Результаты исследований по улучшению смазывающей способности дизельных топлив

Как было показано в состоянии вопроса, получение топлив с улучшенными экологическими характеристиками требует проведение процессов деароматизации и гидроочистки дизельной фракции нефти, в ходе которых происходит удаление

поверхностно-активных веществ (ПАВ), способных защищать трущиеся поверхности от износа, что ухудшает смазывающую способность дизельного топлива. Увеличивают диаметр пятна износа и цетаноповышающие присадки, обладающие повышенной окислительной способностью. Продукты окисления, попадая в зону трения, вызывают повышенный износ [205]. Удаление ПАВ также приводит к снижению способности топлива вытеснять влагу с поверхности металла и образовывать защитную плёнку, что приводит к необходимости добавления антикоррозионных присадок. Потребность в противоизносных присадках в России составляет около 6200 т/год [209]. В этой связи важной задачей является расширение ассортимента присадок отечественного производства, позволяющих решить проблему улучшения качества дизельных топлив, удовлетворяющих современным требованиям.

Анализ строения и механизма действия присадок [201, 202] позволяет сделать вывод о том, что противоизносные и низкотемпературные свойства нефтяных топлив улучшают поверхностно-активные вещества, имеющие дифильное строение. Такое строение имеют амиды высших алифатических кислот, содержащие в составе молекулы как гидрофильный фрагмент (полярная амидная группа), так и гидрофобный неполярный углеводородный радикал. Синтезировать такие соединения можно из возобновляемого растительного сырья, используя триацилглицерины растительных масел.

Результаты экспериментального сравнения смазывающих свойств топлив различного состава показали, что диаметр пятна износа биодобавки на основе жирового сырья (МЭРМ) почти на 17 % меньше, чем у исходного топлива. Водотопливная эмульсия (ВТЭ) с содержанием воды 15 % имеет диаметр пятна износа существенно больше нормативного значения для дизельных топлив (0,46 мм), а у водобиотопливной эмульсии (ВБТЭ) он ниже чем у дизельного топлива на 7 % (рисунок 4.33).

В ходе дальнейших экспериментов оценивали изменение смазывающей способности дизельного топлива после добавления 1 % биодобавок, полученных ранее из некондиционного рыжикового масла.

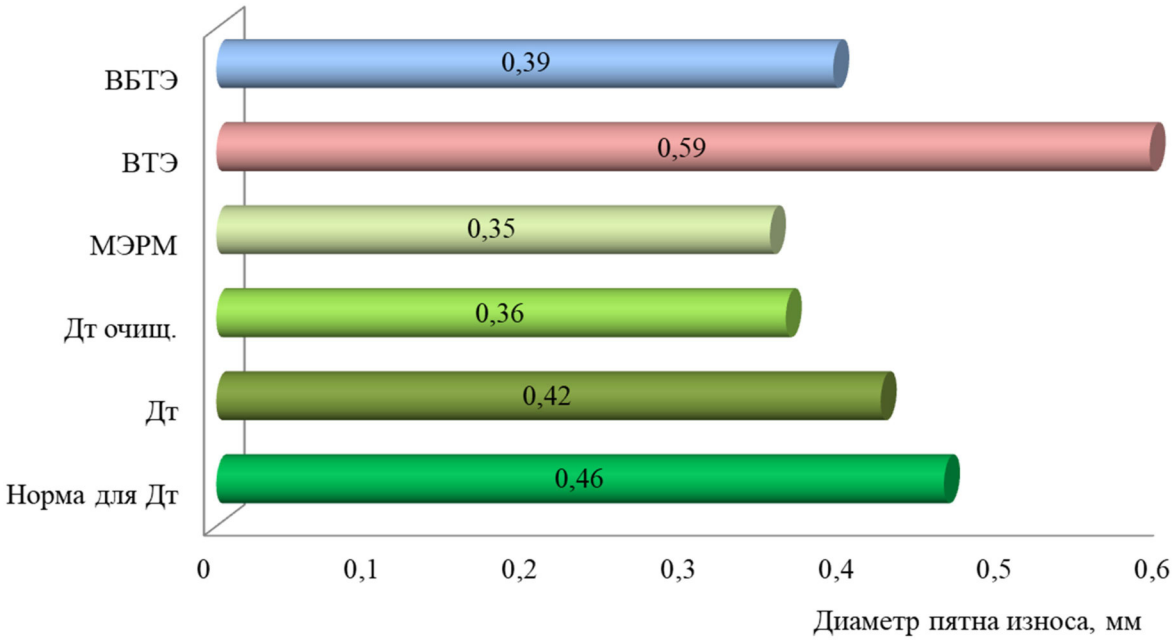
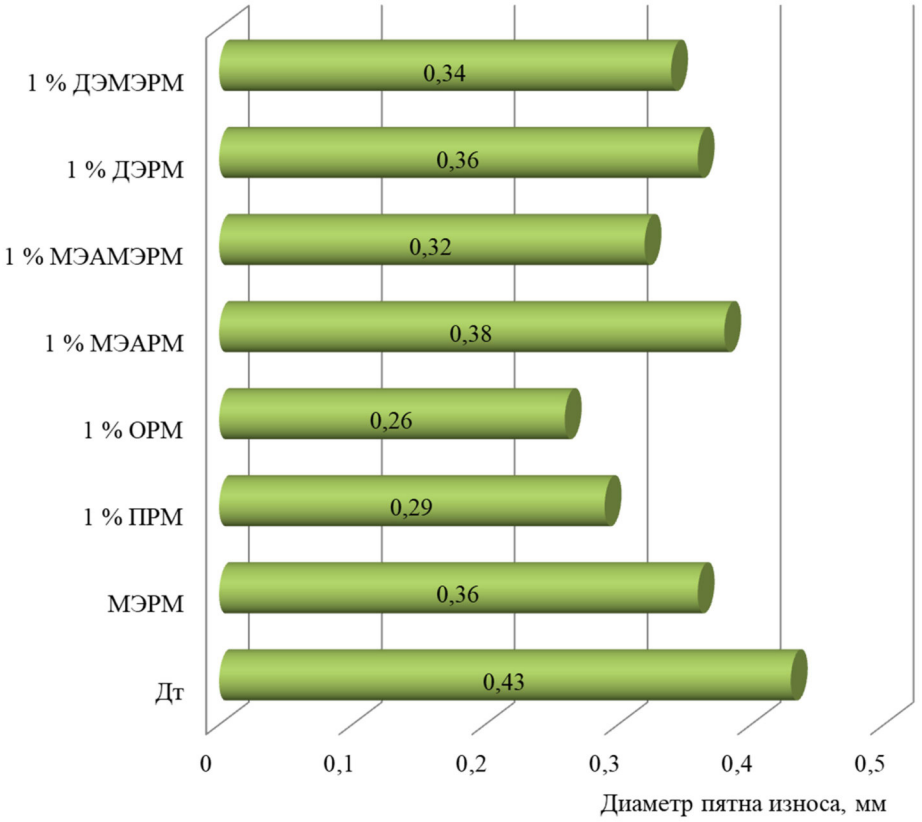


Рисунок 4.33 – Диаметр пятна износа (при 60 °С) различных моторных топлив

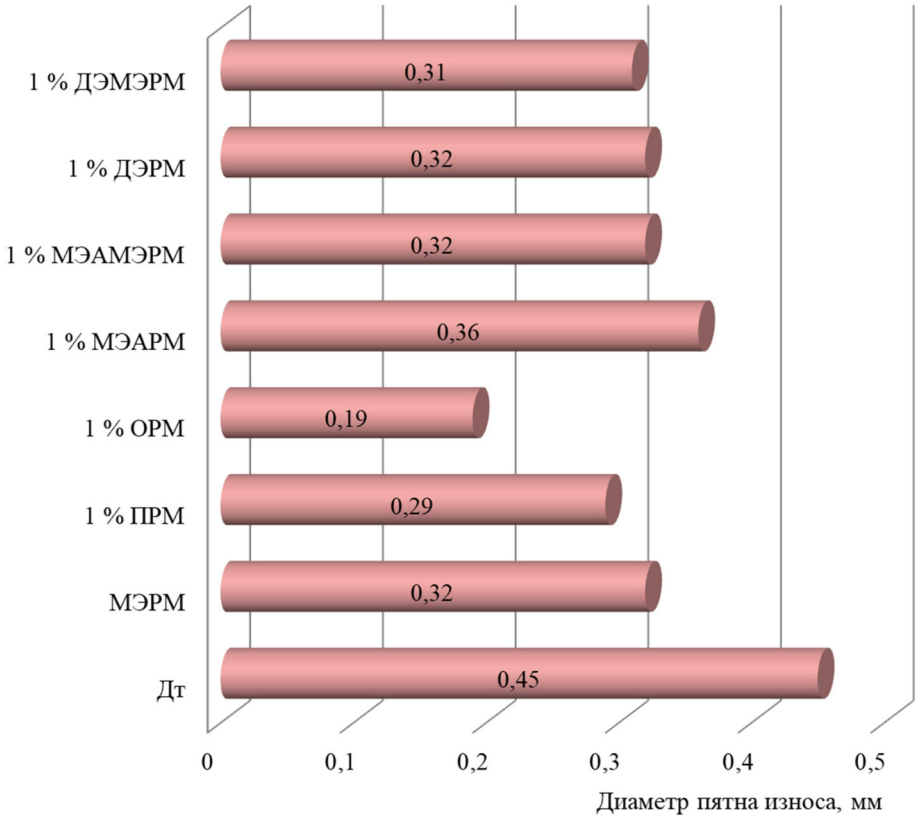
Сравнивая смазывающую способность дизельного топлива в присутствии синтезированных соединений и без них (рисунок 4.34) можно заключить, что все синтезированные соединения улучшают смазывающие свойства дизельного топлива и могут быть использованы в качестве противоизносных присадок, однако эффективность взаимодействия полученных соединений с металлической поверхностью заметно отличается.

Наиболее выраженным эффектом улучшения смазывающей способности обладают продукты оксидирования и полимеризации растительного масла. Хороший результат показывают продукты взаимодействия с триэтаноламином – диэфиры высших алифатических кислот и триэтаноламина. Наблюдается удовлетворительная корреляция между значениями дипольного момента и заряда на атомах азота исследуемых соединений и их смазывающей способностью (рисунок 4.35).

В реальных условиях эксплуатации адсорбция происходит на неоднородной металлической поверхности с оксидными пленками. Добавки с большей полярностью закономерно более активны при таком взаимодействии. Вероятно, свою роль играет и наличие у молекул диэфиров двух неразветвлённых углеводородных радикалов.



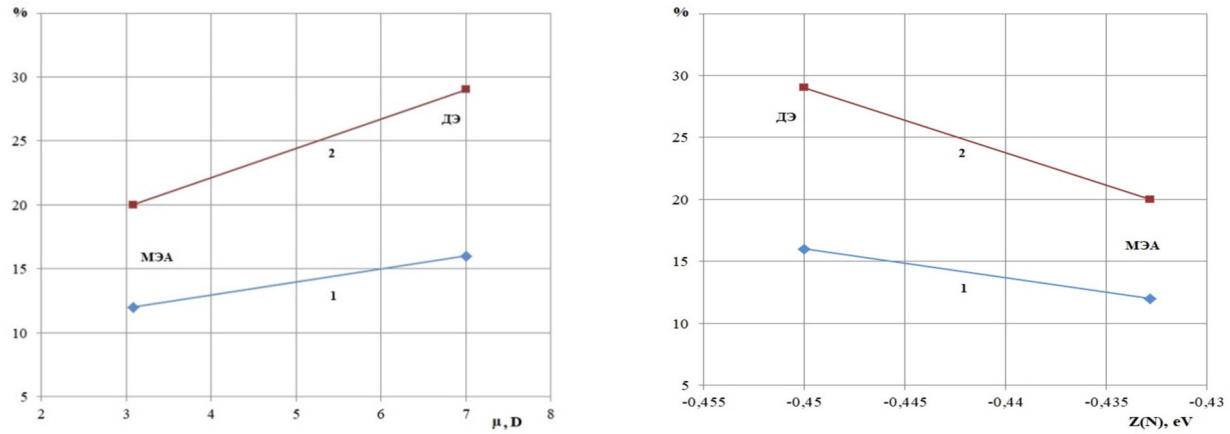
а



б

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

Рисунок 4.34 – Изменение смазывающей способности дизельного топлива после добавления 1 % синтезированных биодобавок при 20 °С (а) и 60 °С (б)



а б

1 – 20 °С; 2 – 60 °С

Рисунок 4.35 – Зависимость улучшения смазывающей способности топлива, %, от дипольного момента μ (а) и заряда на атомах азота Z(N) (б) молекул

Помимо синтезированных соединений из некондиционного возобновляемого сырья эффект изменения смазывающей способности дизельных топлив исследовался и у некоторых многофункциональных и депрессорных присадок, доступных для приобретения на рынке [474, 475, 476, 477, 478, 479].

Таблица 4.30 – Изменение смазывающей способности ($Д_и$) дизельных топлив в зависимости от количества многофункциональной присадки

Присадка (концентрация)	Диаметр пятна износа на ЧШМТ, мм											
	при 20 °С						при 60 °С					
	ДТ № 1	Δ,%	ДТ № 2	Δ,%	ДТ № 3	Δ,%	ДТ № 1	Δ,%	ДТ № 2	Δ,%	ДТ № 3	Δ,%
Без присадки	0,42	–	0,37	–	0,49	–	0,43	–	0,40	–	0,49	–
Keropur DP 604T (600 мг/кг)	0,39	4	0,43	– 16	0,49	–	0,39	9	0,39	2	0,47	4
Keropur DP 604T (1200 мг/кг)	0,35	16	0,36	3	0,46	6	–	–	–	–	–	–
MPG-Boost (0,295 мл/л)	0,37	11	0,34	8	0,46	6	0,41	4	0,40	–	0,45	8
Обработка реагентом (2 %)	0,36	14	0,35	5	0,43	12	0,35	19	0,36	10	0,41	16

Как показали испытания образцов топлив с многофункциональными присадками Keropur DP 604T (Германия) и MPG-BOOST (США) (таблица 4.30) добавление исследуемых присадок в рекомендуемых производителем количествах (600 мг/кг и 0,295 мл/л соответственно) положительно сказалось на смазывающих свойствах большинства образцов топлив при температуре 60 °С. В случае образ-

цов № 1 и № 3 обе присадки дали положительный эффект увеличения смазывающей способности на 4 – 9 %, в то время как в случае образца № 2 улучшений при рекомендованных концентрациях практически не наблюдалось.

При температуре 20 °С добавление присадки Keropur DP 604T улучшило смазывающие свойства только у образца №1, а в случае образцов № 2 и № 3 положительный эффект наблюдается лишь при использовании рекомендованной концентрации присадки MPG-Boost.

Увеличение концентрации Keropur DP 604T в 2 раза привело к определенному положительному эффекту в случае образцов № 1 и № 3, а в случае образца № 2 небольшое улучшение было замечено лишь при увеличении концентрации в 3 раза.

Для депрессорных присадок (таблица 4.31) следует отметить, что в топливе № 1 у которого изначально были лучше физико-химические характеристики, противоизносные свойства повысились на 8 – 10 %, а у топлива № 2 с худшими исходными показателями, но более высокими противоизносными свойствами при 60 °С понизились [248, 485, 486].

Таблица 4.31 – Изменение противоизносных свойств дизельных топлив при добавлении депрессорных присадок (в рекомендованном количестве)

Присадка	Диаметр пятна износа ($Д_и$) на ЧШМТ, мм			
	при 20 °С		при 60 °С	
	ДТ № 1	ДТ № 2	ДТ № 1	ДТ № 2
Без присадки	0,48	0,41	0,51	0,47
ДДП-антигель	0,34	0,36	0,36	0,51
Keroflux 3501	0,39	0,51	0,40	0,48
Difron 3319	0,41	0,52	0,42	0,45
Infineun R442M	0,47	0,47	0,44	0,53

Это можно объяснить тем, что топливо № 1 претерпело более жесткое воздействие при изготовлении и удалении из него соединений серы, кислорода и азота, что в принципе негативно влияет на смазывающую способность.

Наиболее сильно противоизносные свойства улучшают присадки, содержащие в молекуле 1 или 2 карбоксильные группы СООН– за счет «Эффекта Ребиндера». Депрессорные присадки, содержащие различные полимеры, в частности

этилена, также могут улучшать противоизносные свойства, но в меньшей степени, чем присадки с карбоксильной группой. Их действие, также как и противоизносных, основано на поверхностно-адсорбционном механизме, но без хемосорбции и модификации поверхности трения [487].

Также было исследовано влияние свободной воды на смазывающие свойства топлива с присадками. В данном эксперименте дистиллированная вода вводилась в смесь топлива с присадкой порциями, и далее создавалась устойчивая водно-топливная эмульсия (рисунок 4.36).

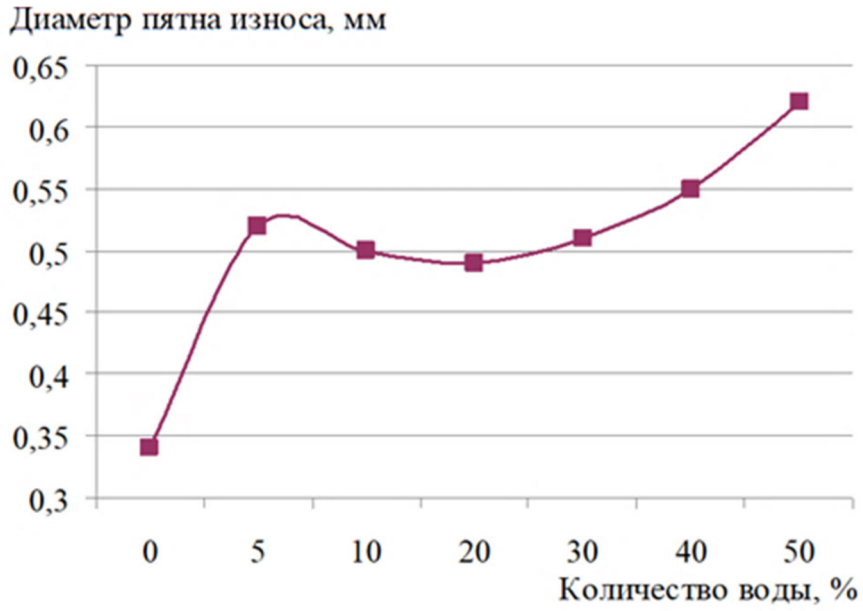


Рисунок 4.36 – Зависимость смазывающих свойств топлива с присадкой от количества свободной воды

При повышении количества воды до 5 % диаметр пятна износа резко возрастает, после чего практически не меняется до добавления 30 % воды, затем снова резко возрастает. Очевидно, это связано с тем, что вода снижает эффективность действия противоизносной присадки, соединяясь с ее молекулами посредством водородных связей. При этом следующий резкий рост износа можно объяснить, по-видимому, вытеснением молекулами воды с поверхности трения молекул присадки и соединений, входящих в состав дизельного топлива [487]. Это еще раз подтверждает необходимость своевременного контроля присутствия свободной воды в дизельном топливе для исключения ее взаимодействия с присадками.

Таким образом, результаты проведенных исследований противоизносных присадок к топливам оказались не однозначными. Хорошо показали себя комплексы на основе фтортензидов металлов, однако они повышают кислотность топлива [396, 488]. Частицы УНМ хоть и улучшают смазывающую способность дизельного топлива, но плохо совместимы с ним с точки зрения коллоидной устойчивости и товарного вида. Очевидно, что они будут более полезны в вязких нефтепродуктах, позволяющих длительное время удерживать УНМ равномерно распределенными по всему объему [36, 480, 481, 489, 490, 491, 492]. Влияние многофункциональных присадок Keropur DP 604T и MPG-BOOST на смазывающую способность в целом положительное, но видимо сильно зависит от типа топлива. Депрессорные присадки способны в некоторой степени улучшать смазочные свойства, что очевидно является следствием их состава и строения.

Продукты переработки некондиционного жирового сырья обладают хорошими противоизносными свойствами. Наиболее выраженным эффектом улучшения смазывающей способности обладают продукты взаимодействия рыжикового масла с триэтаноламином, а также оксидированное рыжиковое масло, которые улучшают смазывающие свойства на 15 – 25 % и на 39 – 49 % соответственно в зависимости от условий.

4.4.3. Результаты исследований по улучшению низкотемпературных свойств дизельных топлив

При производстве зимнего дизельного топлив для сокращения технологических потерь и улучшения низкотемпературных свойств топлива используют депрессорные присадки, которые позволяют снизить предельную температуру фильтруемости и температуру застывания за счет препятствия росту кристаллов н-парафинов при сохранении их общего количества. Обеспечение снижения количества н-парафинов в топливе достигается процессом депарафинизации [303].

При снижении температуры топлива ниже ПТФ или когда разность между ней и температурой помутнения составляет более 10 °С в нем может накапливать-

ся большое количество кристаллов парафинов находящихся во взвешенном состоянии. По мере хранения такого топлива часть парафинов выпадает в осадок, а при использовании в топливных системах приводит к перебоям в работе топливной аппаратуры, прекращению подачи.

В сельскохозяйственном производстве нередки случаи, когда для повышения низкотемпературных свойств дизельных топлив производят смешиванием летних сортов дизельных топлив с бензином или керосином, что в зависимости от концентрации разбавления может вызывать снижение цетанового числа топлива и привести к повышению износа двигателя.

Анализируя результаты исследований низкотемпературных свойств дизельных топлив проводимых ФГБНУ ВНИИТиН в хозяйствах Липецкой, Воронежской и Тамбовской областей установлено, что более 40 % реализуемых топлив и 60 % топлив хранящихся на нефтескладах хозяйств не отвечают по своим заявленным свойствам требованиям, предъявляемым к зимним сортам дизельных топлив. В большинстве случаев температура помутнения хранящихся на нефтескладах хозяйств дизельных топлив отличается на 10 – 15 °С от обозначенной в сопроводительных документах. Практически в каждом втором случае температура помутнения анализируемых топлив составляла – 8…– 10 °С, а температура застывания не превышала значений – 20 °С. Предельная температура фильтруемости находилась в диапазоне – 8…– 12 ˚С. Данные факты не исключают появление значительных проблем при эксплуатации сельскохозяйственной техники, решать которые предлагается применением специальных зарубежных и отечественных депрессорно-диспергирующих присадок.

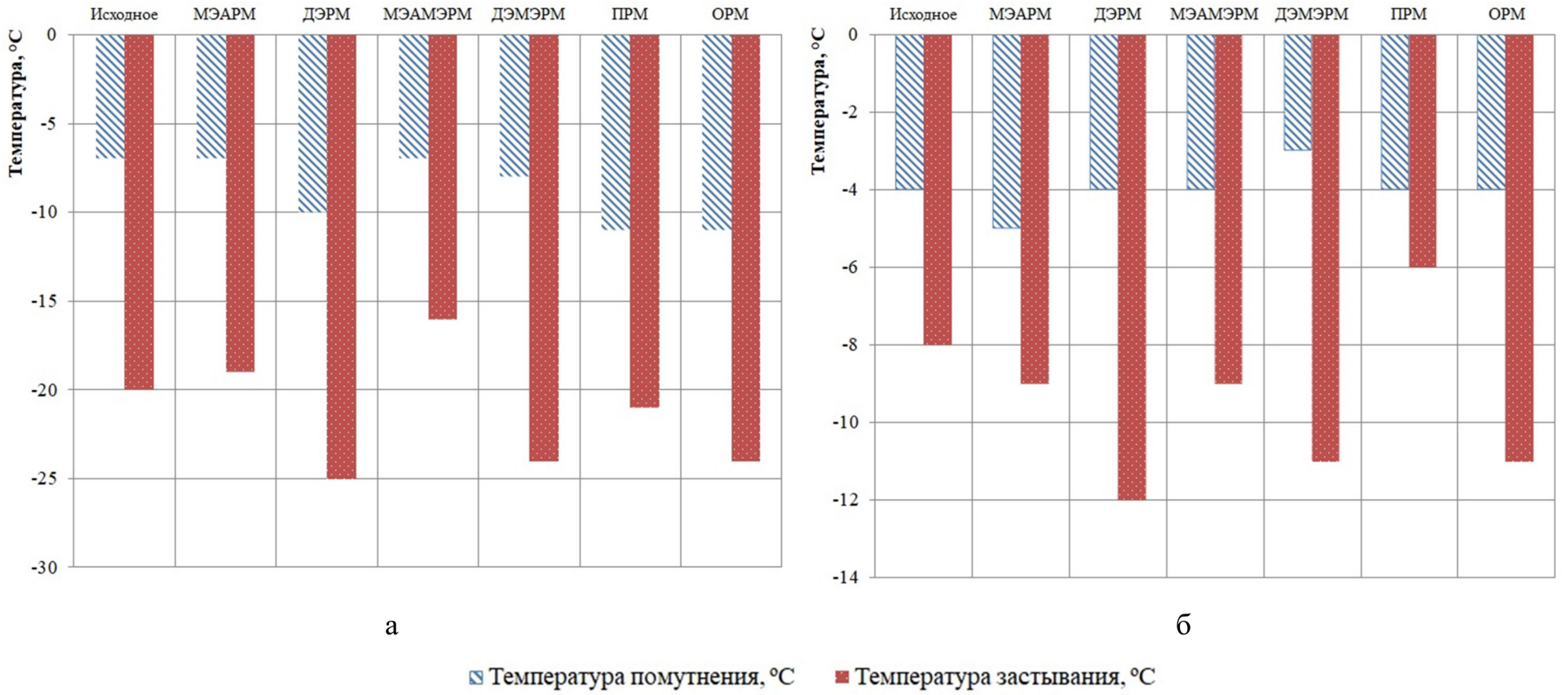
В рамках работы были исследованы низкотемпературные свойства как синтезированных соединений – МЭАРМ, МЭАМЭРМ, ДЭРМ, ДЭМЭРМ, ПРМ, ОРМ – так и доступных на рынке депрессорных присадок: «Keroflux 3501», «Infineum R442M», «Difron 3319» и «ДДП – антигель» [36, 248, 396, 483, 485, 486]. Для всех присадок оговорена зависимость степени их воздействия от исходных характеристик топлив, поэтому в зависимости от требуемого результата реальная используемая концентрация может превышать рекомендованную в не-

сколько раз. Топливо подогревалось до 40 °С и при постоянном перемешивании в него вносилась добавка.

Синтезированные амиды не могут считаться соединениями, обладающими хорошими низкотемпературными свойствами, хотя некоторые из них при добавлении дают определенный эффект улучшения низкотемпературных свойств топлив, однако общая депрессия не превышает 3 – 5 °С, в то время как по общепризнанным понятиям она должна составить не менее 15 °С (рисунок 4.37). Причина этого состоит видимо в том, что синтезированные соединения имеют неподходящее строение молекул с радикалами преимущественно до 20 атомов углерода, в то время как наиболее выраженными депрессорными свойствами обладают полимеры т.н. «гребенчатого строения» с более длинными радикалами. Оксидированное рыжиковое масло проявляет лучшие низкотемпературные свойства по сравнению с маслом, полимеризованным без доступа воздуха, что видимо также связано со строением молекул полимеризованного масла, представляющих собой преимущественно димеры и тримеры, а не длинномолекулярные цепочки.

Рассматривая результаты специальных депрессорных присадок (рисунок 4.38) следует отметить незначительные колебания температуры помутнения у всех видов топлив, что согласуется с известными данными о механизме действия депрессорных присадок. Температура замерзания обоих образцов практически во всех случаях понизилась ниже 30 °С. При длительном хранении (3 месяца) образцов дизельного топлива с депрессорными присадками не было замечено расслоения топлива или выпадения осадка, низкотемпературные характеристики не изменились. ПТФ в среднем снизилась на 5 – 10 °С, что позволяет использовать такое топливо при более низких температурах окружающей среды по сравнению с топливом без депрессорной присадки.

Таким образом, на основании проведенных исследований можно констатировать, что для соединений, синтезированных на основе возобновляемого некондиционного сырья наибольшая депрессия температуры замерзания исследуемого дизельного топлива равная 5 °С зафиксирована для продукта взаимодействия рыжикового масла с триэтаноламином – диамид, что не достаточно по сравнению со



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

Рисунок 4.37 – Изменение низкотемпературных свойств дизельного (а) и биодизельного (б) топлив после добавления 1 % синтезированных биодобавок

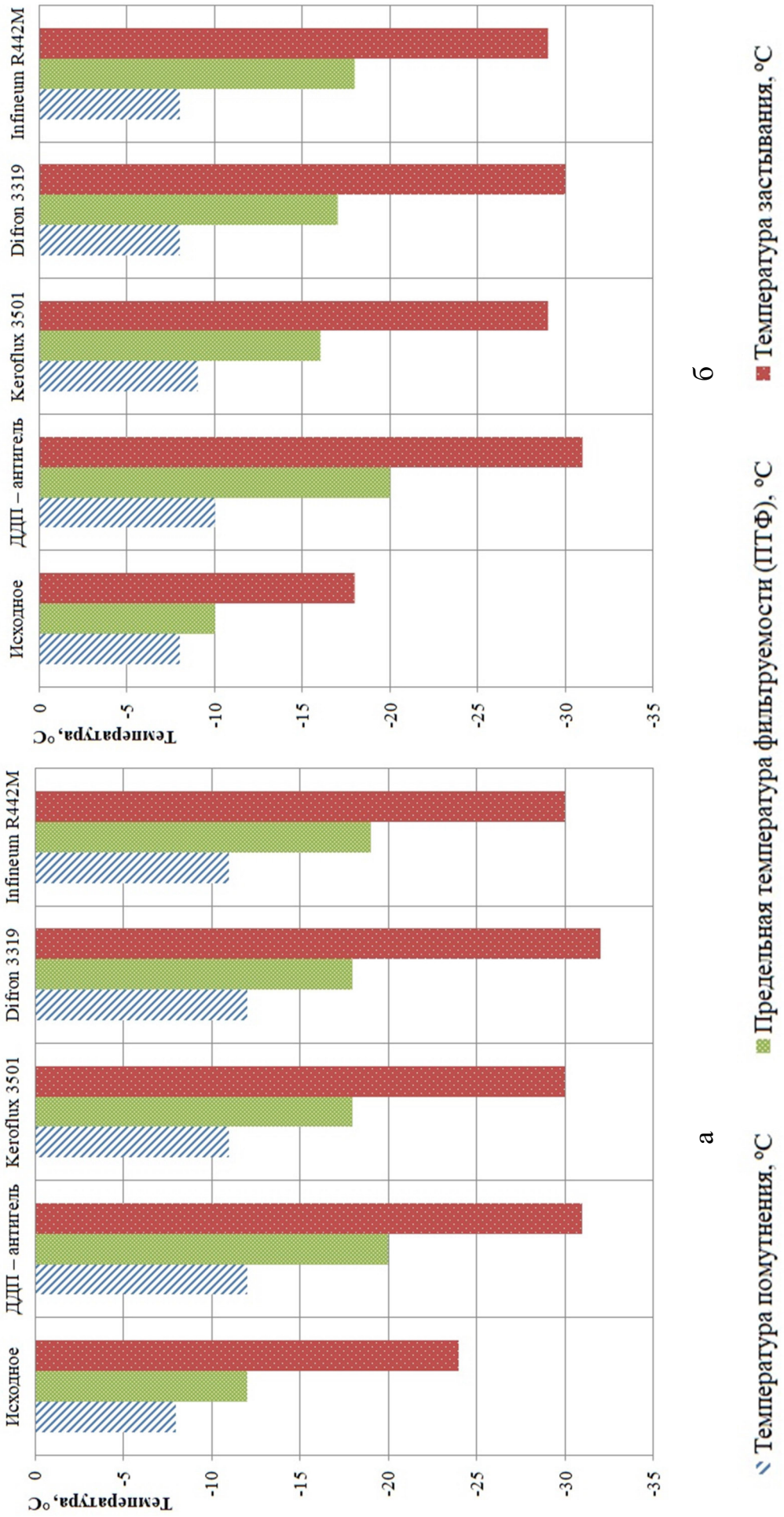


Рисунок 4.38 – Изменение низкотемпературных свойств образцов дизельного топлива (а и б) после добавления рекомендуемого производителем количества депрессорных присадок

специализированными продуктами, но является полезным дополнительным эффектом наряду с хорошими противоизносными свойствами.

Промышленно выпускаемые депрессорные присадки показывают приблизительно равный депрессорный эффект, поэтому их выбор будет зависеть от доступности для сельскохозяйственного производителя. В тоже время не следует забывать, что действие депрессорной присадки заключается в изменение формы и размера кристаллов парафинов, формирующихся при понижении температуры дизельного топлива. Количество же парафинов в топливе остается неизменным, поэтому полноценное зимнее топливо добавлением лишь одних депрессорных присадок не получится. Главная задача применения подобных добавок – снизить предельную температуру фильтруемости ниже температуры окружающей среды, для избежания отказов топливной аппаратуры и закупорки фильтров техники.

4.4.4. Результаты исследований защитных свойств синтезированных добавок к дизельному топливу и сырья для их получения

При использовании различных видов топлив обычно не уделяют внимание их защитным свойствам, ограничиваясь оценкой их коррозионного воздействия на металлические детали. Однако коррозионной активностью обладает как само топливо в газообразном и жидком состоянии, так и горючая смесь и продукты сгорания. Помимо непосредственного воздействия на металлы самих топлив коррозионные разрушения могут быть вызваны наличием в топливе воды. Агрессивность при попадании воды в топливо возникает за счет наличия в воде стимуляторов коррозии, которые попадают в нее из воздуха (CO_2, H_2S) и из самого топлива (соединения серы). Коррозионные разрушения наблюдаются на трубопроводах, топливных баках, деталях топливоподающих систем двигателей автомобилей и сельскохозяйственных машин, на поверхностях резервуаров хранения топлив [493, 494, 495, 496].

На растворимость воды в топливе влияет его химический состав, молярная масса углеводородов, характеристики окружающей атмосферы (влажность, температура, давление). Между водой, растворенной в топливе, и атмосферной влагой

быстро устанавливается динамическое равновесие. Резкое изменение атмосферных условий (например, снижение атмосферного давления и температуры) может привести к его нарушению и образованию в топливе микроскопических капель (эмульсии) из-за того, что часть воды не успевает уйти в атмосферу. Объединяясь, микрокапли образуют свободную (отстойную) воду. Свободная вода образуется также вследствие конденсации атмосферной влаги (в виде капель или инея) на стенках резервуаров.

Были исследованы некоторые полученные ранее биодобавки к топливу из возобновляемого сырья, как в чистом виде, так и в смеси с дизельным топливом. Данные электрохимических исследований (рисунок 4.39) показывают наличие защитных свойств у растительных масел – жирового сырья для получения биодобавок [497, 498]. Наилучшие результаты показало рапсовое масло (Z = 80 %).

По ускоренным коррозионным испытаниям в термовлагокамере Г-4 (таблица 4.32) лучшими защитными свойствами обладают рапсовое, оливковое и кукурузное масло (Z = 95 – 98 %), что выше, чем у свежего и отработавшего моторного масел (Z = 87 и 90 %, соответственно).

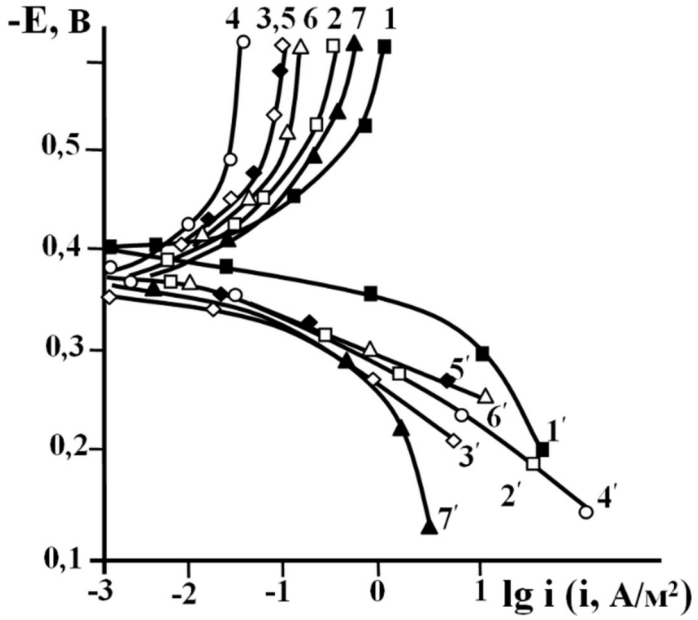


Рисунок 4.39 – Катодные (1 – 7) и анодные (1’ – 7’) поляризационные кривые стали Ст3 в 0,5 М растворе NaCl без покрытия (1,1’) и покрытых маслами:

2,2’ – подсолнечным; 3,3’ – рапсовым; 4,4’ – оливковым; 5,5’ – кукурузным;

6,6’ – льняным; 7,7’ – горчичным

Аналогичные результаты получены при ускоренных коррозионных испытаниях в 0,5 М растворе NaCl, но максимальная защитная эффективность масел составила 70 – 75 %.

Таблица 4.32 – Результаты ускоренных коррозионных испытаний

№ пп	Исследуемое масло	Толщина покрытия, мкм	Защитная эффективность, %			
			Термовлагокамера Г-4		0,5 М NaCl	
			влажная поверхность	сухая поверхность	влажная поверхность	сухая поверхность
1	Рапсовое	17	93	95	69	70
2	Подсолнечное	18	88	86	53	55
3	Льняное	10	78	75	60	60
4	Оливковое	14	97	98	72	75
5	Кукурузное	20	93	95	73	75
6	Горчичное	11	60	63	31	30
7	М-10$Г_2$(к)	15	86	87	46	45

Нанесение покрытий из растительных масел на влажную поверхность изменяет их защитную эффективность незначительно (до 3 %).

При натурно-стендовых испытаниях стальные пластины, покрытые пленками рапсового (РМ) и подсолнечного (ПМ) масел, начали корродировать уже в первый месяц экспозиции (таблица 4.33), а через год большая часть поверхности стальных образцов была покрыта ржавчиной (защитная эффективность покрытий подсолнечного и рапсового масел составила 15 и 25 %, соответственно).

Таблица 4.33 – Результаты натурно-стендовых испытаний

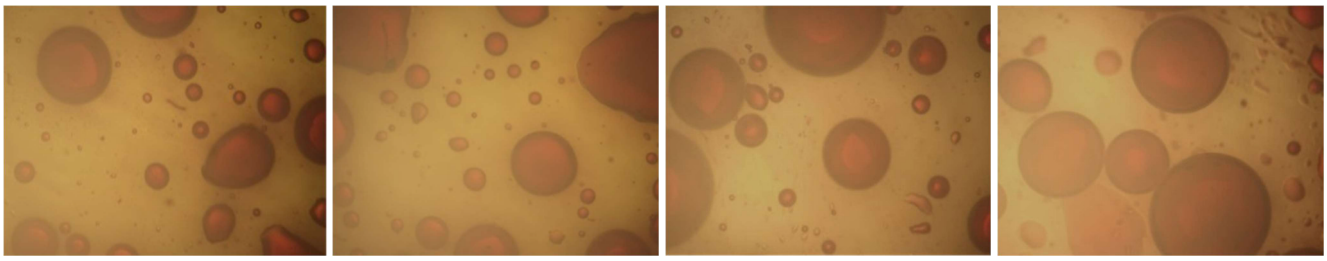
Растительные масла	Защитная эффективность, Z, %:					
	Открытая атмосфера			Неотапливаемое помещение		
	3 месяца	6 месяцев	12 месяцев	3 месяца	6 месяцев	12 месяцев
Подсолнечное	38	27	15	100	100	85
Отстой подсолнечного	100	100	100	100	100	100
Рапсовое	45	33	25	100	100	90
Отстой рапсового	100	100	100	100	100	100

При хранении в неотапливаемом помещении через 12 месяцев Z = 85 и 90 %, соответственно. Возможно, низкая защитная эффективность растительных масел в открытой атмосфере связана с активным смывом покрытий атмосферными осадками и недостаточно высокими адгезионными свойствами, особенно при высоких температурах.

Таким образом, растительные масла в чистом виде можно использовать для защиты от коррозии только в закрытых неотапливаемых помещениях в отсутствии прямых атмосферных осадков.

Другая ситуация наблюдается с продуктами переработки растительных масел – моноалкиловыми эфирами жирных кислот. Электрохимическими и гравиметрическими методами в 0.5 М растворе NaCl и термовлагокамере исследована защитная эффективность покрытий на образцах углеродистой стали Ст3 (составом, масс. %: C – 0,20; Mn – 0,51; Si – 0,15; P – 0,04; S – 0,05; Cr – 0,32; Ni – 0,21; Cu – 0,23; Fe – 98,29) пленками метиловых эфиров, полученных из некондиционного рыжикового масла по ранее описанному способу, и дизельного топлива, а также их композициями с добавками 5 – 20 масс. % воды. Композиции готовили, добавляя рассчитанное количество воды в исследуемое топливо при активном перемешивании в течение 2 – 3 минут, получая эмульсии, после чего наносили их на металлические образцы путем погружения последних на 5 – 7 секунд в емкость с эмульсией. Вид эмульсии определяли, используя водорастворимый краситель [499].

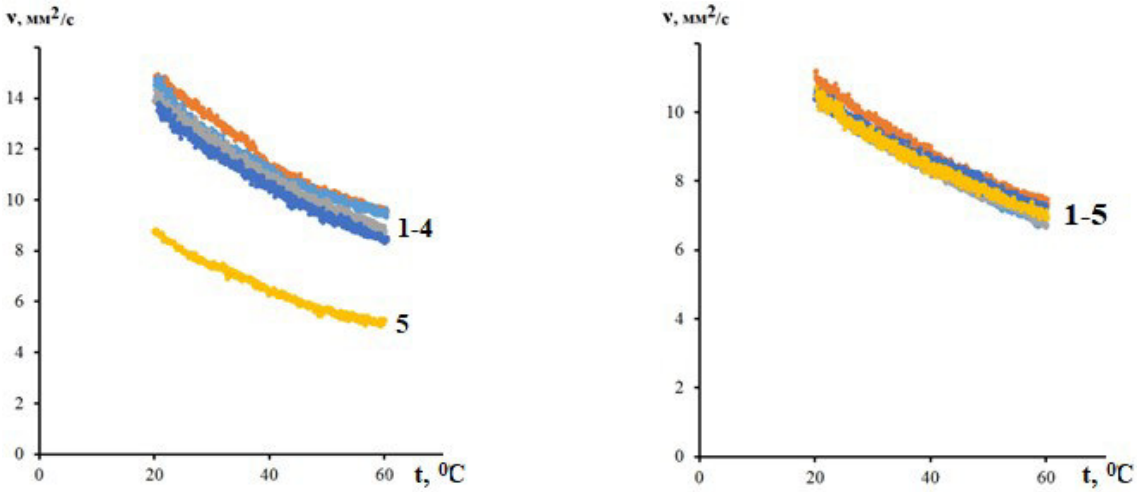
Сразу после приготовления обводненные составы на основе дизельного топлива и биодобавки представляли собой эмульсии типа «вода в масле» (рисунок 4.40).



а б

Рисунок 4.40 – Микрофотографии капель воды в биодобавке (а) и в дизельном топливе (б)

Исследование вязкостно-температурных кривых в диапазоне 20 – 60 °С (рисунок 4.41) показало, что с уменьшением температуры вязкость композиций повышается. Для биодобавки и ее обводненных композиций характерны более высокие значения вязкости, чем для дизельного топлива, исключение составляет композиция с 20 об. % воды.



а б

Концентрация H_2O: 1 – 0 об. %; 2 – 5 об. %; 3 – 10 об. %; 4 – 15 об. %; 5– 20 об. %

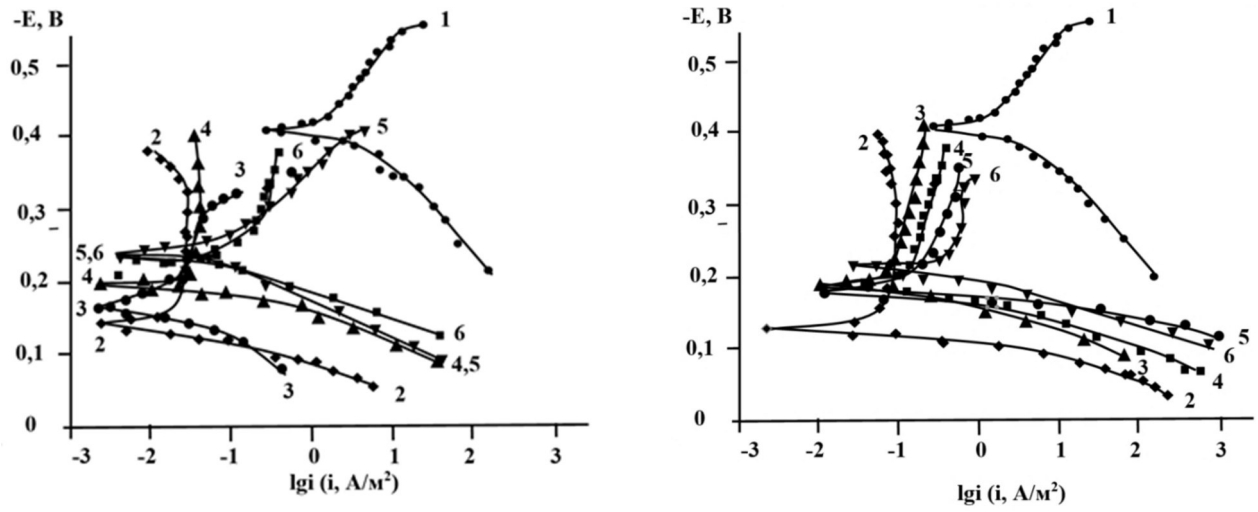
Рисунок 4.41 – Вязкостно-температурные кривые обводненных композиций биодобавки (а) и дизельного топлива (б).

Также композиции метиловых эфиров образуют пленки на стали Ст3 с большей толщиной, чем на основе дизельного топлива (таблица 4.34).

Таблица 4.34 – Значения толщин пленок композиций топлива на образцах стали Ст3

Количество воды в покрытии, об. %	Толщина пленки на образце стали Ст3, мкм	
	Метиловые эфиры	Дизельное топливо
0	13	6
5	12	8
10	11	8
15	11	8
20	10	6

Проведенные электрохимические исследования в 0.5 М растворе NaCl показали, что поляризационные кривые, измеренные на стальных электродах с покрытиями дизельным топливом и биодобавкой к нему, близки (рисунок 4.42). Обе парциальные электродные реакции заторможены по отношению к таковым на электроде без покрытия. На катодных кривых электродов с покрытиями наблюдается предельный ток. Противокоррозионные свойства композиций топлив с водой снижаются с ростом ее концентрации. На катодных кривых, полученных на электродах с покрытием, наблюдаются предельные токи, величина которых, в основном, увеличивается с ростом концентрации воды в композиции.



а б

Рисунок 4.42 – Поляризационные кривые, измеренные в 0,5 М растворе NaCl на стальном электроде без покрытия – 1, с покрытиями биодобавкой (а) – 2 и дизельным топливом (б) – 2 и их обводненными композициями с H_2O:
3 – 5 масс. %; 4 – 10 масс. %; 5 – 15 масс. %; 6 – 20 масс. %

По результатам электрохимических исследований, водные композиции на основе метиловых эфиров обеспечивают в хлоридном растворе более высокую защитную эффективность, чем композиции на основе дизельного топлива (таблица 4.35).

Таблица 4.35 – Результаты электрохимических поляризационных исследований в 0,5 М растворе NaCl образцов углеродистой стали Ст3 с покрытиями на основе дизельного топлива и метиловых эфиров

Состав покрытия	$E_{кор}$, В	$i_{кор}$, А/м^2	b_a	Z, %
Фон	-0,420	0,630	0,070	-
Дизельное топливо	-0,131	0,030	0,035	95
+5 об. % H_2O	-0,175	0,045	0,035	93
+10об. % H_2O	-0,180	0,060	0,031	90
+15об. % H_2O	-0,180	0,100	0,025	84
+20об. % H_2O	-0,230	0,177	0,030	72
Биодобавка (метиловые эфиры)	-0,160	0,009	0,050	98
+5об. % H_2O	-0,175	0,004	0,050	99
+10об. % H_2O	-0,200	0,020	0,044	97
+15об. % H_2O	-0,230	0,030	0,052	95
+20об. % H_2O	-0,230	0,042	0,042	93

При ускоренных коррозионных испытаниях в 0,5 М растворе NaCl (14 суток) пленки метиловых эфиров на стали Ст3 обеспечивают защитную эффективность почти на 20% больше, чем пленки дизельного топлива, в том числе и обводненные. Увеличение концентрации воды в топливе ожидаемо приводит к снижению его защитной эффективности. Так, при введении в топлива 20 об. % воды, защитная эффективность композиций уменьшается на 11 % с метиловыми эфирами и на 3 % с дизельным топливом.

Таким образом, показано, что биодобавка и обводненные композиции на её основе обладают большей защитной эффективностью, чем дизельное топливо и его композиции с водой. По результатам электрохимических исследований, водные композиции на основе метиловых эфиров обеспечивают в хлоридном растворе более высокую защитную эффективность (93 – 99 %), чем композиции на основе дизельного топлива (72 – 95 %). 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 %).

4.5. Результаты стендовых испытаний модифицированных топлив

4.5.1. Результаты сравнительных моторных испытаний очищенного обработанного дизельного топлива

Для проверки эффективности разработанного и описанного ранее способа очистки дизельного топлива [4, 13] были проведены сравнительные моторные испытания на тормозном стенде КИ–5543 ГОСНИТИ по методике, описанной в разделе 3.13, целью которых было сравнить работу двигателя на дизельном топливе без обработки и на топливе, очищенном с улучшением и восстановлением свойств. Испытания проводились в течение 100 ч на каждом топливе (таблица 4.36). Исследуемое дизельное топливо по основным физико-химическим показа-

телям соответствует требованиям ГОСТ 32511-2013, за исключением превышения по содержанию воды и других загрязнений.

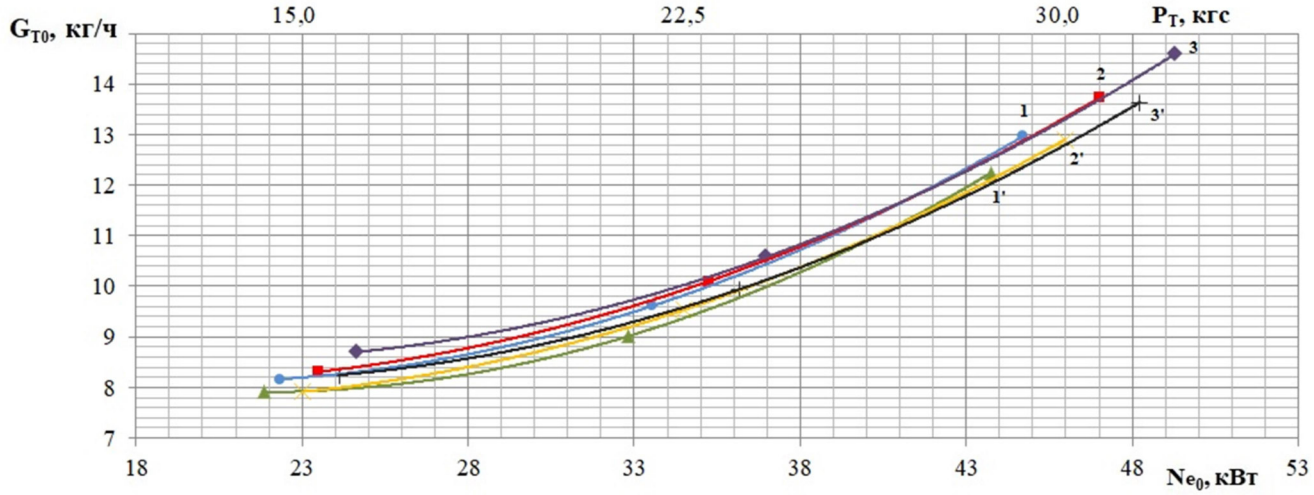
Таблица 4.36 – Некоторые физико-химические характеристики испытуемых топлив

Показатели	Значение		
	по нормативной документации ГОСТ 32511-2013	Исследуемый образец исходный	Исследуемый образец после обработки
Фракционный состав: при температуре 250 °С перегоняется (по объему), % при температуре 350 °С перегоняется (по объему), % 95 % (по объему) перегоняется при температуре, °С	 менее 65 не менее 85 не выше 360	 38,8 94,0 353,0	 43,2 98,8 337,0
Кинематическая вязкость при 40 °С, $мм^2/с$	2,0 – 4,5	2,45	2,30
Плотность при 15 °С, $г/см^3$	820,0 – 845,5	833	831
Предельная температура фильтруемости, °С	≤ – 5	– 15	– 18
Температура вспышки, °С	выше 55	71	70
Содержание: загрязнений, мг/кг воды, мг/кг фактических смол, мг/100 $см^3$	 не более 24 не более 200 –	 31 248 47	 12 68 10
Кислотность, мг КОН/ 100 мл	–	4,6	3,2
Цетановый индекс	не менее 46	52,3	52,7
Диаметр пятна износа на четырехшариковой машинке трения, мкм	не более 460	390	360

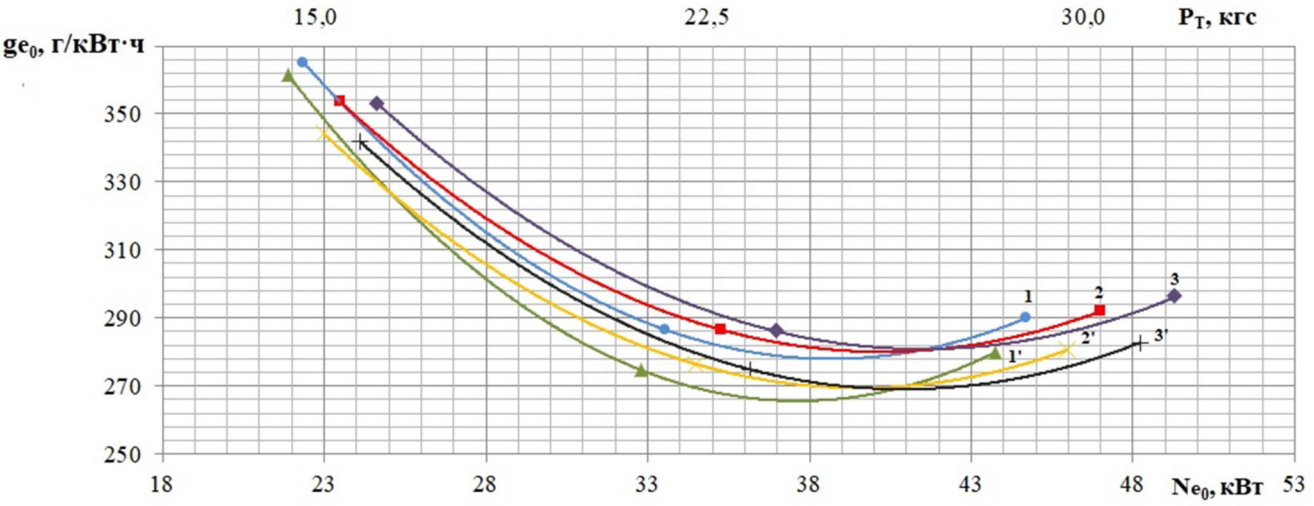
После обработки водно-спиртовым раствором карбамида в смесителе-активаторе с последующим центрифугированием зафиксировано снижение содержания механических примесей, воды и фактических смол, повышение смазывающей способности на 7,7 % и небольшое облегчение фракционного состава, которое не приводит к ухудшению показателей исследуемого образца дизельного топлива – все значения остаются в пределах нормативных требований.

Проведенные испытания на тормозном стенде КИ–5543 ГОСНИТИ показали следующее (рисунки 4.43, 4.44, таблицы 4.37 – 4.39):

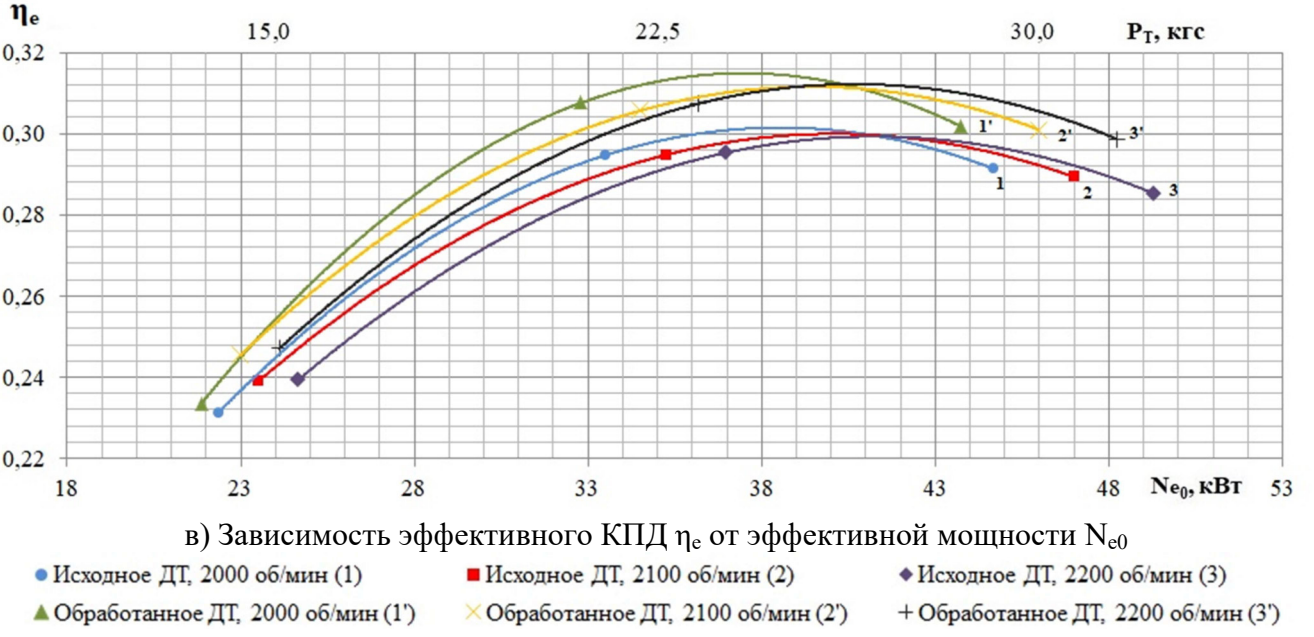
– средний часовой и удельный эффективный расход топлива при одинаковой заданной нагрузке 15 кгс и оборотах от 2000 до 2200 об/мин для обработанного топлива меньше на 1,33 – 3,45 % соответственно чем у исходного топлива;



а) Зависимость среднего часового расхода топлива $G_{т0}$ от эффективной мощности N_{e0}



б) Зависимость удельного эффективного расход топлива g_{e0} от эффективной мощности N_{e0}



в) Зависимость эффективного КПД η_e от эффективной мощности N_{e0}

Рисунок 4.43 – Нагрузочные характеристики двигателя Д–240, работающего на топливе до и после обработки (приведенные к стандартным условиям)

Таблица 4.37 – Микрометрические измерения размеров поршневых колец*

Кольца	1 цилиндр		2 цилиндр		3 цилиндр		4 цилиндр	
	a, мм	h, мм	a, мм	h, мм	a, мм	h, мм	a, мм	h, мм
Комплект поршневых колец при работе двигателя на топливе без обработки								
1 компрессионное	4,962 4,958	2,990 2,944	4,863 4,848	2,989 2,948	4,888 4,880	2,990 2,959	4,847 4,845	2,983 2,946
2 компрессионное	4,889 4,875	2,982 2,975	4,880 4,879	2,990 2,984	4,897 4,890	2,984 2,982	4,898 4,884	2,987 2,981
3 компрессионное	4,879 4,851	2,986 2,973	4,905 4,891	2,984 2,983	4,897 4,896	2,983 2,981	4,893 4,885	2,985 2,978
1 маслосъемное	4,895 4,893	5,984 5,978	4,893 4,863	5,980 5,978	4,867 4,841	5,982 2,980	4,892 4,865	5,980 5,979
2 маслосъемное	4,947 4,883	5,992 5,984	4,978 4,909	5,959 5,986	4,958 4,887	5,990 5,989	4,974 4,905	5,986 5,984
Комплект поршневых колец при работе двигателя на топливе после обработки								
1 компрессионное	4,835 4,828	2,998 2,977	4,880 4,866	2,994 2,972	4,843 4,836	2,989 2,979	4,857 4,845	2,993 2,960
2 компрессионное	4,879 4,853	2,992 2,984	4,895 4,838	2,991 2,988	4,920 4,916	2,992 2,985	4,896 4,882	2,992 2,985
3 компрессионное	4,879 4,868	2,986 2,979	4,884 4,879	2,988 2,985	4,895 4,893	2,992 2,986	4,891 4,888	2,990 2,979
1 маслосъемное	4,903 4,879	5,990 5,986	4,886 4,868	5,985 5,975	4,882 4,844	5,984 5,982	4,902 4,874	5,982 5,974
2 маслосъемное	4,976 4,928	5,990 5,984	4,965 4,914	5,959 5,985	4,950 4,878	5,995 5,989	4,946 4,902	5,986 5,978

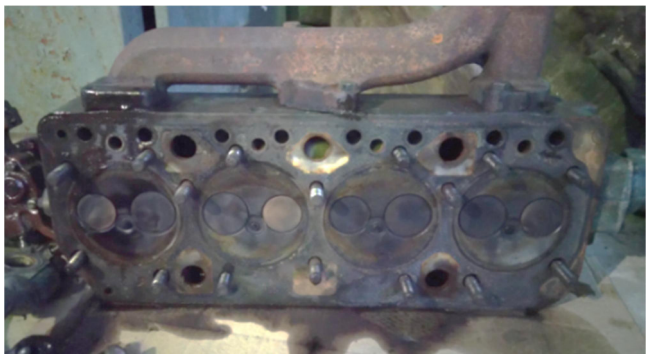
*a – радиальная толщина, мм; h – радиальная высота, мм; в числителе – исходное значение до испытаний, в знаменателе – значение после 100 ч наработки

Таблица 4.38 – Гравиметрические измерения поршневых колец

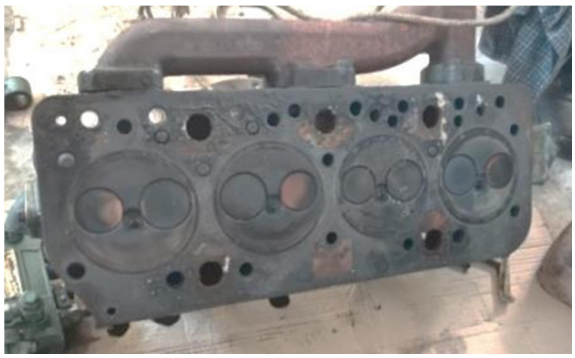
Кольца	Масса, г			
	1 цилиндр	2 цилиндр	3 цилиндр	4 цилиндр
Комплект поршневых колец при работе двигателя на топливе без обработки				
1 компрессионное	32,2564 30,6097	32,4402 31,9112	32,1876 31,6074	32,3706 31,6024
2 компрессионное	33,4650 33,1225	33,6010 33,3028	33,5684 33,2157	33,6357 33,4359
3 компрессионное	33,5492 33,2710	33,4186 33,2377	37,4936 37,2442	33,6280 33,4903
1 маслосъемное	37,7812 37,6960	37,6865 37,5795	37,9462 37,8384	37,8920 37,7999
2 маслосъемное	52,9450 52,7477	52,1380 51,9993	52,5550 52,3815	52,8647 52,6605
Комплект поршневых колец при работе двигателя на топливе после обработки				
1 компрессионное	32,0561 31,9692	32,3280 32,1251	32,2970 31,8471	32,5432 32,1955
2 компрессионное	33,5238 33,3112	33,4555 33,2345	33,5914 33,3464	33,7284 33,6509
3 компрессионное	33,4358 33,2361	33,5198 33,4101	33,4722 33,1916	33,7158 33,6127
1 маслосъемное	37,9254 37,9176	37,4620 37,4405	37,9244 37,8984	37,9612 37,9262
2 маслосъемное	52,9862 52,8044	52,0647 52,0466	52,4624 52,3847	51,9962 51,8343

Таблица 4.39 – Гравиметрические измерения вкладышей

Вкладыши	Масса, г				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№5
При работе двигателя на топливе без обработки					
Шатунные нижние	101,1462 101,1448	101,2875 101,2819	101,2421 101,1989	101,1554 101,1500	–
Шатунные верхние	101,6247 101,6132	101,3851 101,3763	101,3742 101,3589	101,4762 101,4755	–
Коренные нижние	93,8690 93,8645	93,7526 93,7498	93,7359 93,7196	93,6436 93,6424	101,9890 101,9884
Коренные верхние	88,5164 88,5140	88,4177 88,4162	88,4470 88,4452	88,5234 88,5221	97,1810 97,1795
При работе двигателя на топливе после обработки					
Шатунные нижние	101,1448 101,1437	101,2819 101,2774	101,1989 101,1726	101,1500 101,1473	–
Шатунные верхние	101,6132 101,6058	101,3763 101,3685	101,3589 101,3462	101,4755 101,4724	–
Коренные нижние	93,8645 93,8613	93,7498 93,7475	93,7196 93,7098	93,8624 93,8377	101,9884 101,9855
Коренные верхние	88,5140 88,5121	88,4162 88,4158	88,4452 88,4434	88,5221 88,5212	97,1795 97,1787



а



б



в



г

Рисунок 4.44 – Внешний вид головки блока (а, б) и поршней (в, г) после 100 ч работы на дизельном топливе без обработки (а, в) и после обработки (б, г)

– средний часовой и удельный эффективный расход топлива при одинаковой заданной нагрузке 22,5 кгс и оборотах от 2000 до 2200 об/мин для обработанного топлива меньше на 3,87 – 4,48 % соответственно чем у исходного топлива;

– средний часовой и удельный эффективный расход топлива при одинаковой заданной нагрузке 30 кгс и оборотах от 2000 до 2200 об/мин для обработанного топлива меньше на 3,81 – 4,84 % соответственно чем у исходного топлива.

Разница расхода на холостых оборотах составила не более 1 %.

Микрометрические измерения размеров поршневых колец и гравиметрические измерения поршневых колец и вкладышей до и после испытаний, а также консистенция нагара на деталях ЦПГ указывают на то, что процесс сгорания топлива без обработки и после обработки практически не отличался, экстремального износа деталей не наблюдалось.

Результаты анализа физико-химических показателей качества моторного масла до и после испытаний показали их аналогичное изменение для обоих образцов топлива. При этом отработанное масло в каждом случае имеет запас качества для дальнейшей работы (таблица 4.40).

Таблица 4.40 – Изменение показателей качества моторного масла М-10$Г_2$к

Показатели	Значение показателей моторного масла М-10$Г_2$к			
	Исходное	После работы на ДТ без обработки	После работы на обработанном ДТ	Норма для свежего масла
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм^2/с	11,2	12,0	11,8	11,0±0,5
Вязкость кинематическая при 40 °С, мм^2/с	85	91	89	Не нормируется
Температура вспышки, °С	210	208	209	Не ниже 205
Плотность при 20 °С, кг/м^3,	890	894	891	Не более 905
Содержание загрязнений, %	отсутствие	0,1	0,1	Не более 0,015
Содержание воды, %	отсутствие	отсутствие	отсутствие	Следы
Кислотное число, мг КОН/г	1,2	1,4	1,4	Не нормируется
Щелочное число, мг КОН/г	6,2	4,8	5,0	Не ниже 6,0
Зольность сульфатная, %	1,05	1,1	1,1	Не более 1,15

Результаты измерения состава отработавших газов при работе на исходном дизельном топливе и топливе после обработки показали снижение дымности на

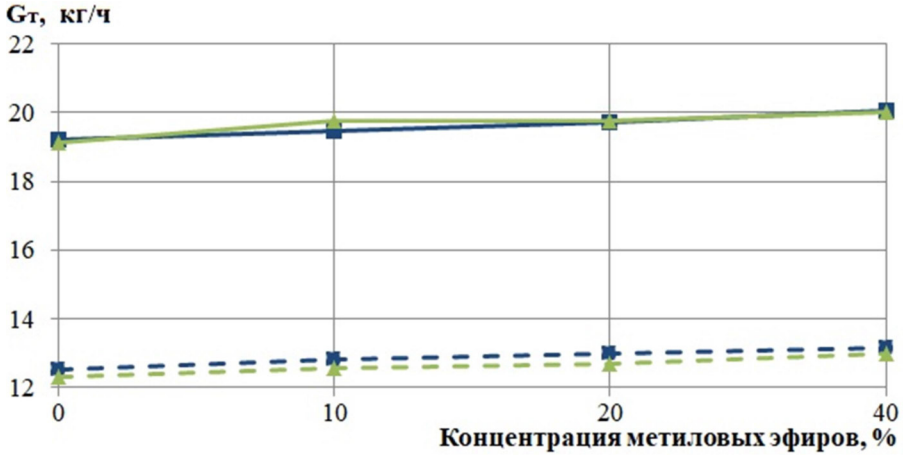
2,5 – 3 % и соответствующее снижение монооксида углерода, и несгоревших углеводородов.

Таким образом, при сравнении работы дизельного двигателя Д-240 в течение 100 часов на дизельном топливе без обработки и с обработкой не обнаружено какого-либо негативного влияния процесса обработки на дизельное топливо, моторное масло или работу двигателя. Наоборот, обнаружено улучшение физико-химических характеристик дизельного топлива после обработки – снижение содержания механических примесей, воды и фактических смол, повышение смазывающей способности. Средний часовой и удельный эффективный расход топлива при одинаковой заданной нагрузке для обработанного и очищенного топлива оказался в среднем на 3,7 % ниже по сравнению с необработанным топливом в зависимости от нагрузки и оборотов.

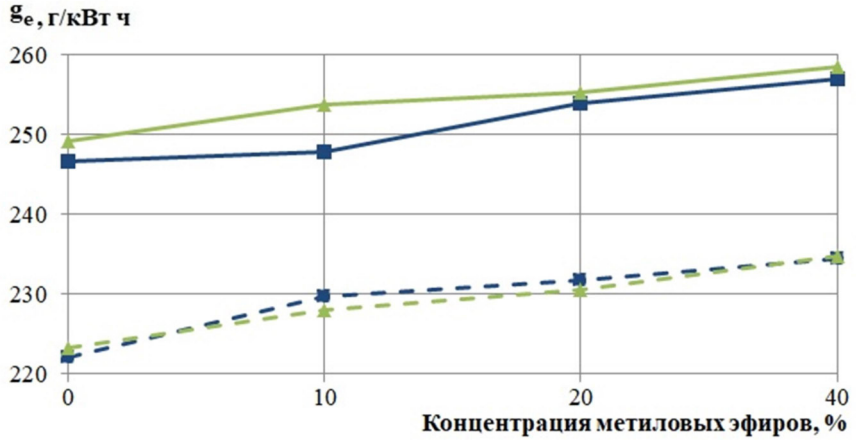
4.5.2. Результаты сравнительных моторных испытаний дизельного топлива, модифицированного биодобавками

Для проверки влияния биодобавок к дизельному топливу на рабочий процесс дизельного двигателя и его экологические и экономические характеристики проводились стендовые испытания на дизеле типа Д-245.12, работающего на нефтяном дизельном топливе и дизельном смесевом топливе с биодобавками [500].

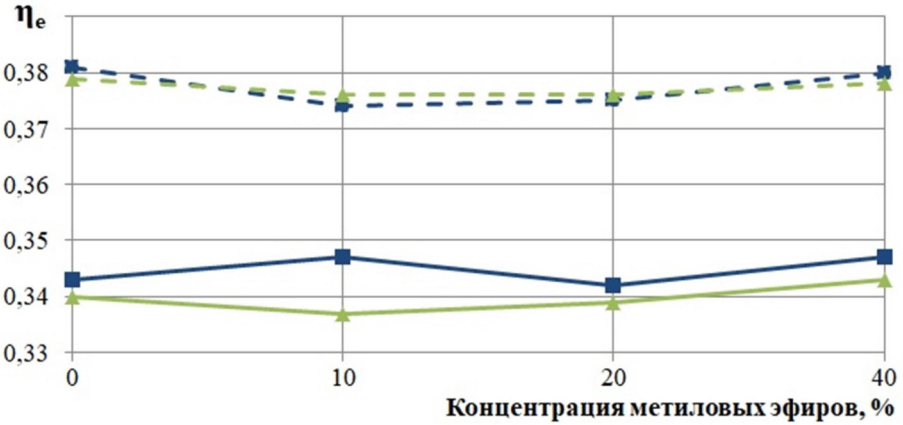
На рисунках 4.45 и 4.46 показаны изменения показателей работы двигателя на метиловых эфирах подсолнечного (МЭПМ) и рапсового масел (МЭРМ). Как видно из представленных данных, проведенные испытания показали улучшение показателей токсичности отработавших газов при использовании в качестве моторного топлива смесей дизельного топлива с метиловыми эфирами, причем с ростом концентрации биодобавки в смесевом топливе показатели токсичности улучшаются. Например, на режиме максимальной мощности при 2400 об/мин уже при содержании 10 % биодобавки (ГОСТ 32511 регламентирует 7 %) дымность отработавших газов снижается на 33,3 и 25,0 % для смесевых топлив содержащих метиловые эфиры подсолнечного (МЭПМ) и рапсового (МЭРМ) масел соответственно. При содержании биодобавки 40 % этот показатель снижается на 60,0 и 44,4 % соответственно.



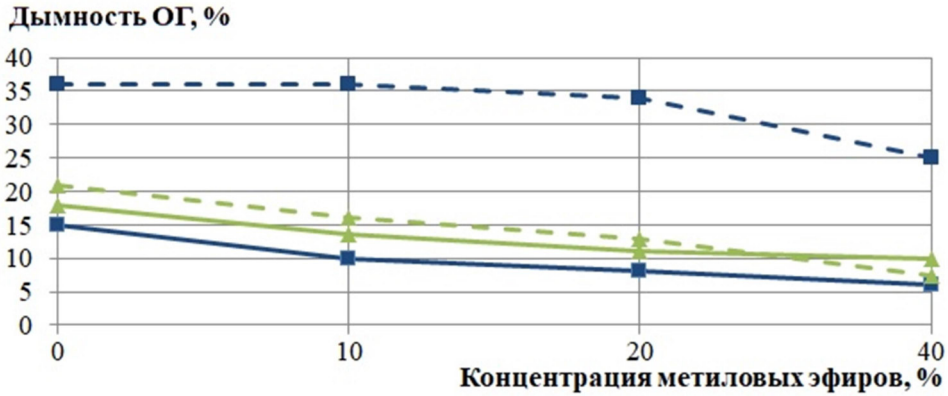
а



б



в



г

— – 2400 об/мин (режим максимальной мощности) - - – 1500 об/мин (режим максимального крутящего момента)

Рисунок 4.45 – Зависимость среднего часового расхода топлива $G_т$ (а), удельного эффективного расхода топлива g_e (б), эффективного КПД η_e (в), дымности ОГ по шкале Хартриджа (г) дизеля Д-245.12 от концентрации биодобавок МЭПМ (■) и МЭРМ (▲) в дизельном смесевом топливе

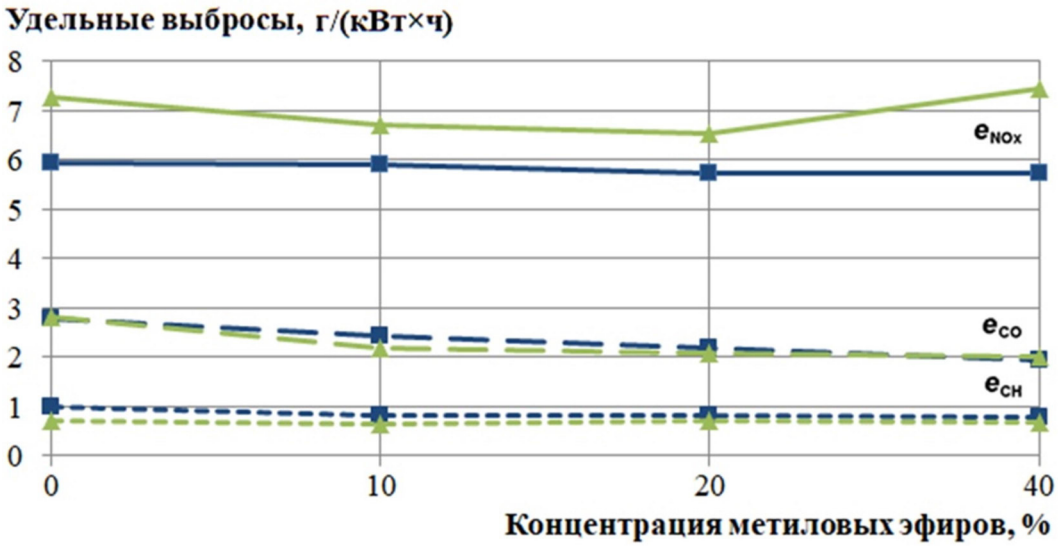


Рисунок 4.46 – Зависимость удельных массовых выбросов с ОГ дизеля Д-245.12С оксидов азота e_{NOx} (——), монооксида углерода e_{CO} (– –) и несгоревших углеводородов e_{CHx} (– – –) от содержания МЭПМ (■) и МЭРМ (▲) в дизельном смесевом топливе на режимах 13-ступенчатого цикла

Интегральные удельные выбросы монооксида углерода снижаются на 12,73 (10 % МЭПМ) и 29,94 % (40 % МЭПМ), на 22,41 (10 % МЭРМ) и 28,69 % (40 % МЭРМ). Интегральные удельные выбросы углеводородов и оксида углерода снижаются на 17,59 (10 % МЭПМ) и 22,07 % (40 % МЭПМ), на 7,71 (10 % МЭРМ) и 2,95 % (40 % МЭРМ).

Наибольшее снижение интегральных удельных выбросов оксидов азота зафиксировано при содержании биодобавки 20 % – на 3,87 и 10,21 % соответственно для МЭПМ и МЭРМ. С увеличением количества биодобавки до 40 % содержание оксидов азота в выбросах немного возрастает.

С увеличением количества биодобавки несколько возрастает расход топлива при практически неизменном эффективном КПД. На режиме максимальной мощности (2400 об/мин) увеличение удельного эффективного расхода топлива составляет 0,49 (10 % МЭПМ) и 4,22 % (40 % МЭПМ), 1,85 (10 % МЭРМ) и 3,73 % (40 % МЭРМ), эффективный КПД дизеля при этом 0,33 – 0,34.

На режиме максимального крутящего момента (1500 об/мин) увеличение удельного эффективного расхода топлива составляет 3,42 (10 % МЭПМ) и 5,58 %

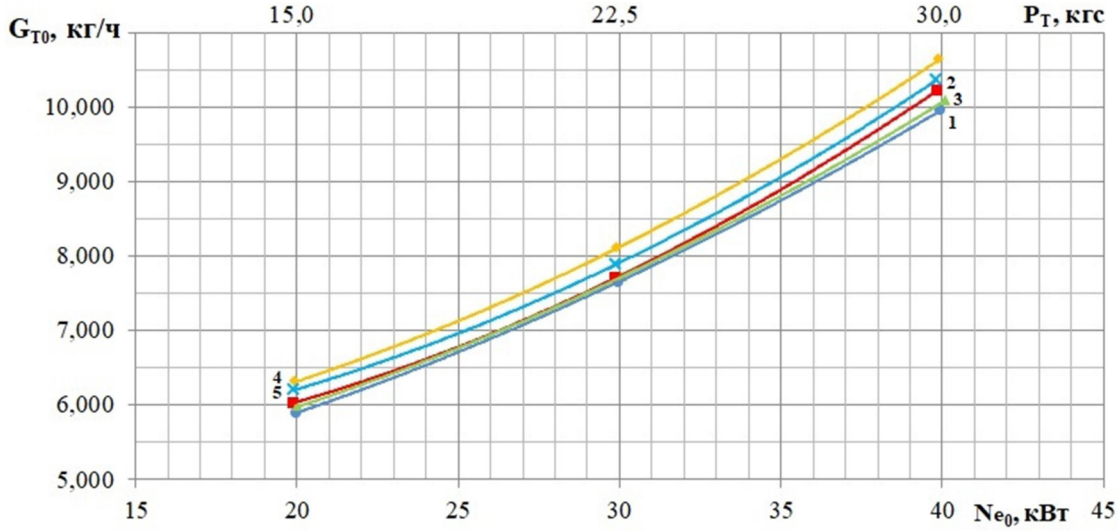
(40 % МЭПМ), 2,15 (10 % МЭРМ) и 5,15 % (40 % МЭРМ), при этом эффективный КПД дизеля оставался в интервале 0,37 – 0,38. Такой эффект обусловлен меньшей теплотворной способностью метиловых эфиров, содержащих большее количество кислорода в молекулах, а также их большей вязкостью и плотностью по сравнению с нефтяным дизельным топливом.

Учитывая изложенное, нормальную работу дизельного двигателя на смесевом топливе без дополнительных модификаций можно обеспечить приблизив характеристики смесевого топлива к параметрам, нормируемым для нефтяного дизельного топлива.

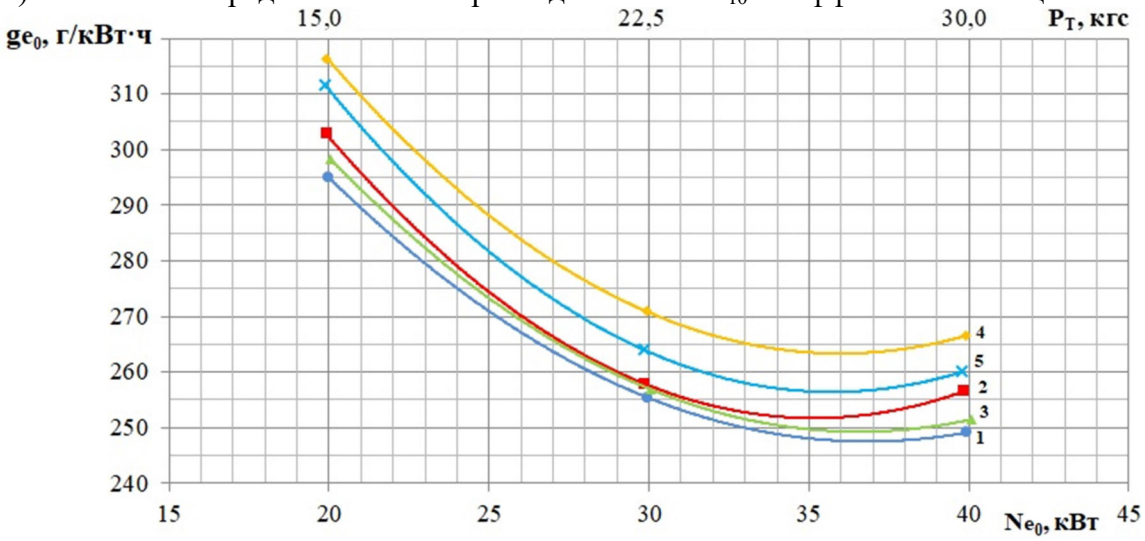
В этой связи были проведены испытания дизельного смесевого топлива, обработанного по разработанному способу в смесителе-активаторе, обеспечивающем многофакторное механоакустическое воздействие на проходящую через него жидкость.

Испытания проводилось на тормозном стенде КИ–5543 ГОСНИТИ с дизелем Д-240, использовались следующие моторные топлива (МТ): 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 в смесителе-активаторе; МТ № 4 – 60 % ДТ и 40 % МЭРыжМ; МТ № 5 – 60 % ДТ и 40 % МЭРыжМ, обработанные в смесителе-активаторе. Значения эффективных показателей работы двигателя и экологических характеристик выхлопа на режимах, соответствующих рациональной загрузке (80 – 90 %) представлены на рисунках 4.47 – 4.52.

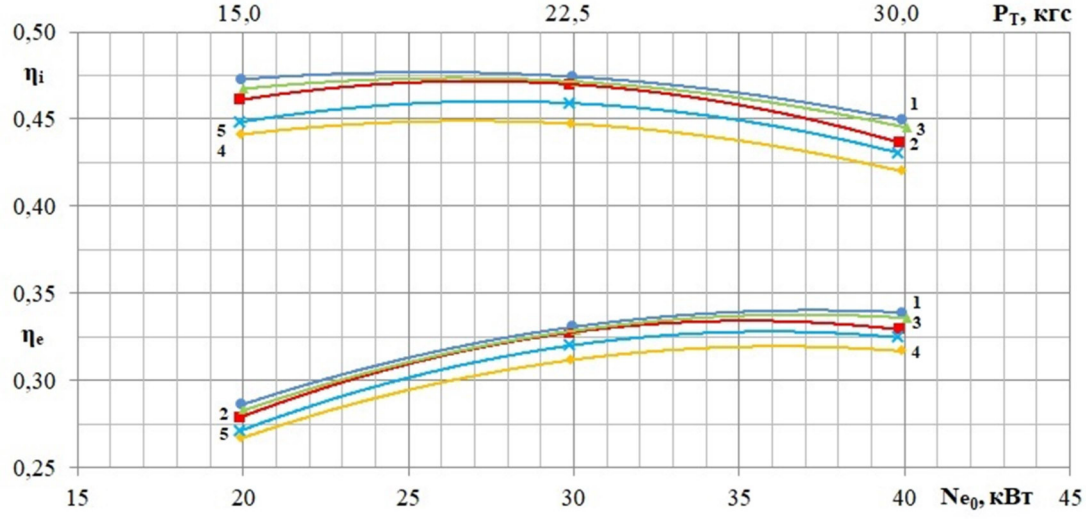
Анализ результатов исследований показал, что, как и при предыдущих испытаниях, в зависимости от вида топлива происходит улучшение показателей токсичности отработавших газов. Например, наименьшее снижение дымности по сравнению с исходным дизельным топливом зафиксировано для смесевого топлива МТ № 2, которое составило в среднем 10,4 % (от 4,3 до 19,5 % в зависимости от режима работы); наибольшее – у обработанного в смесителе-активаторе смесевого топлива МТ № 5 – в среднем 29,0 % (от 14,0 до 38,8 % в зависимости от режима работы).



а) зависимость среднего часового расхода топлива $G_{т0}$ от эффективной мощности N_{e0}



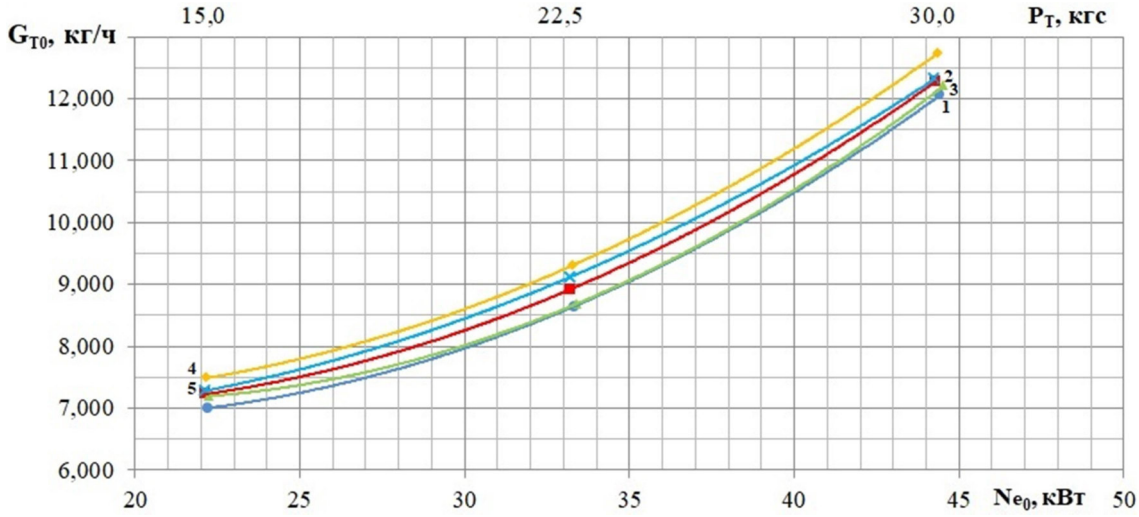
б) зависимость удельного эффективного расход топлива g_{e0} от эффективной мощности N_{e0}



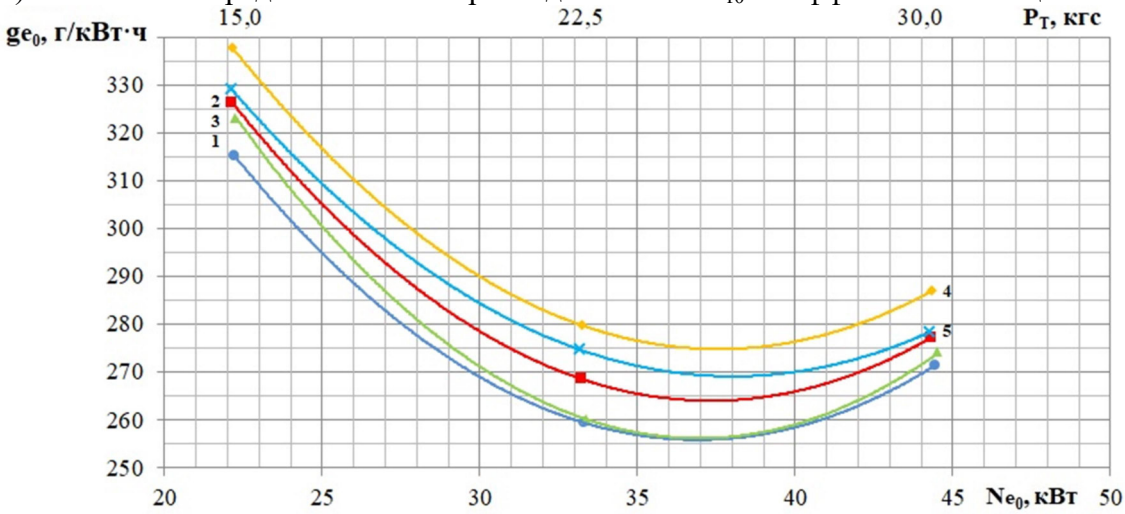
в) зависимость эффективного η_e и индикаторного η_i КПД от эффективной мощности N_{e0}

● БДТ - МТ № 1 (1) ■ МТ № 2 (2) ▲ МТ № 3 (3) ◆ МТ № 4 (4) × МТ № 5 (5)

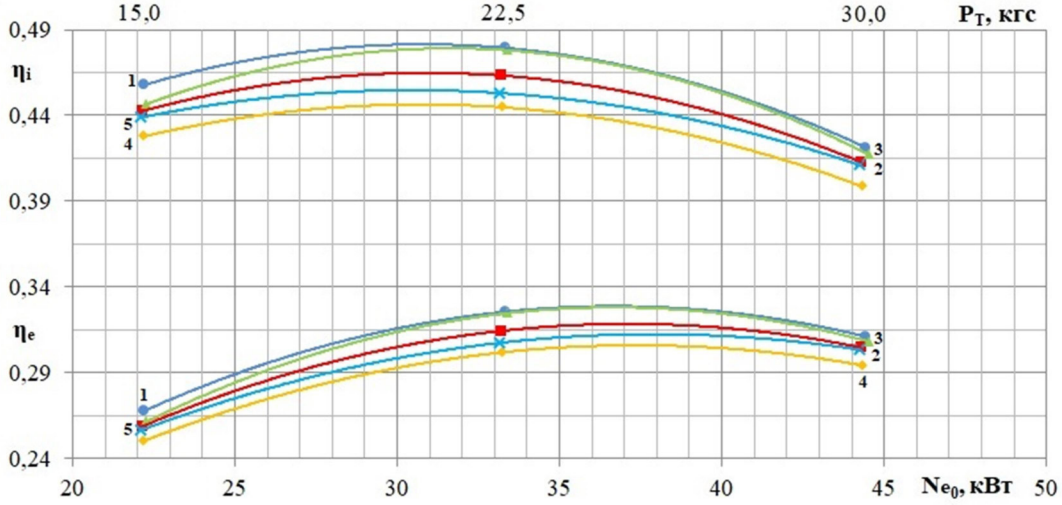
Рисунок 4.47 – Нагрузочные характеристики двигателя Д–240 при 1800 об/мин, работающего на различных видах топлив (приведенные к стандартным условиям)



а) зависимость среднего часового расхода топлива G_{T0} от эффективной мощности N_{e0}



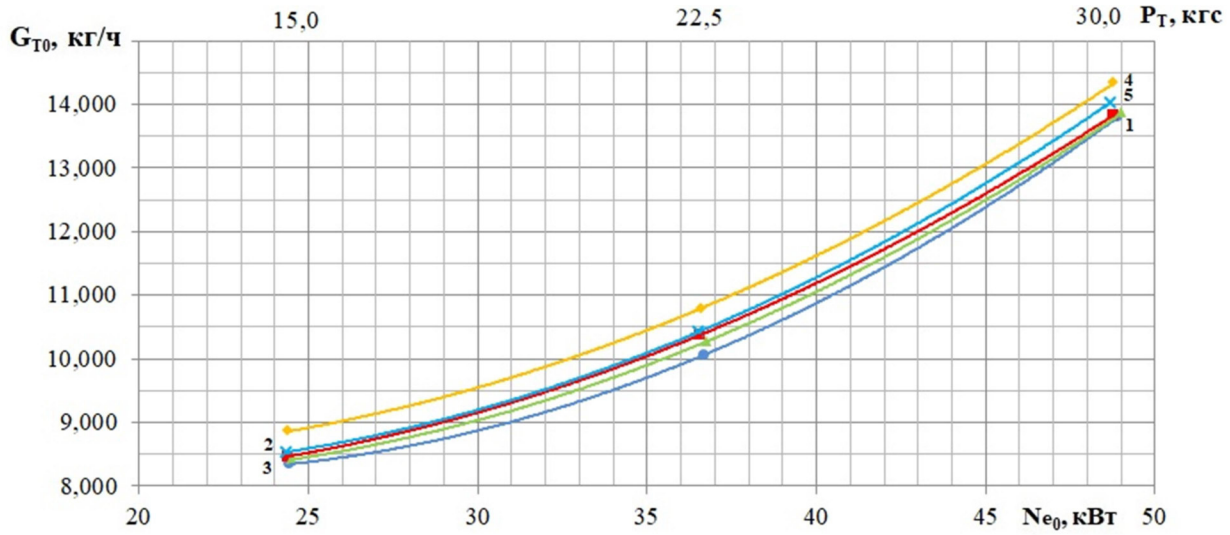
б) зависимость удельного эффективного расход топлива g_{e0} от эффективной мощности N_{e0}



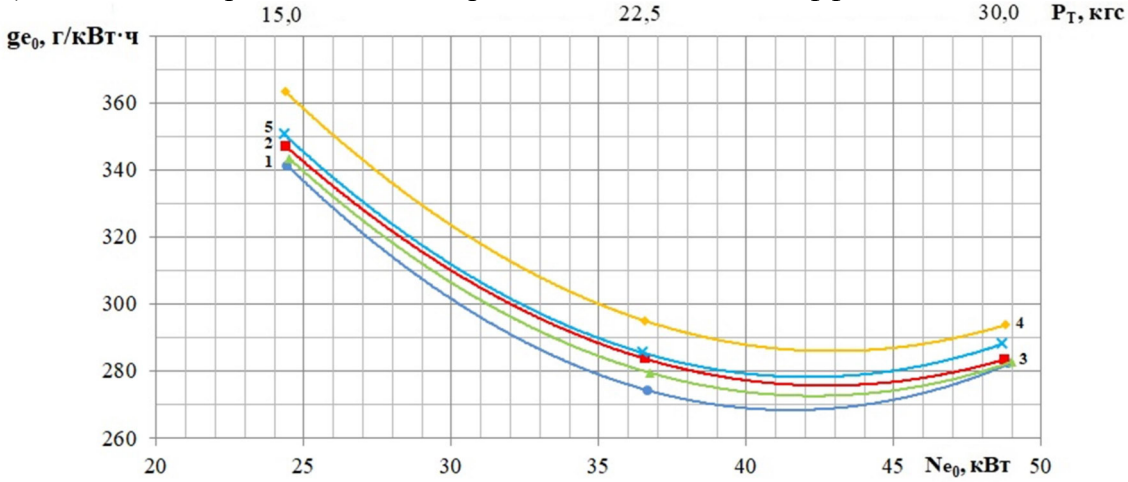
в) зависимость эффективного η_e и индикаторного η_i КПД от эффективной мощности N_{e0}

● БДТ - МТ № 1 (1) ■ МТ № 2 (2) ▲ МТ № 3 (3) ◆ МТ № 4 (4) × МТ № 5 (5)

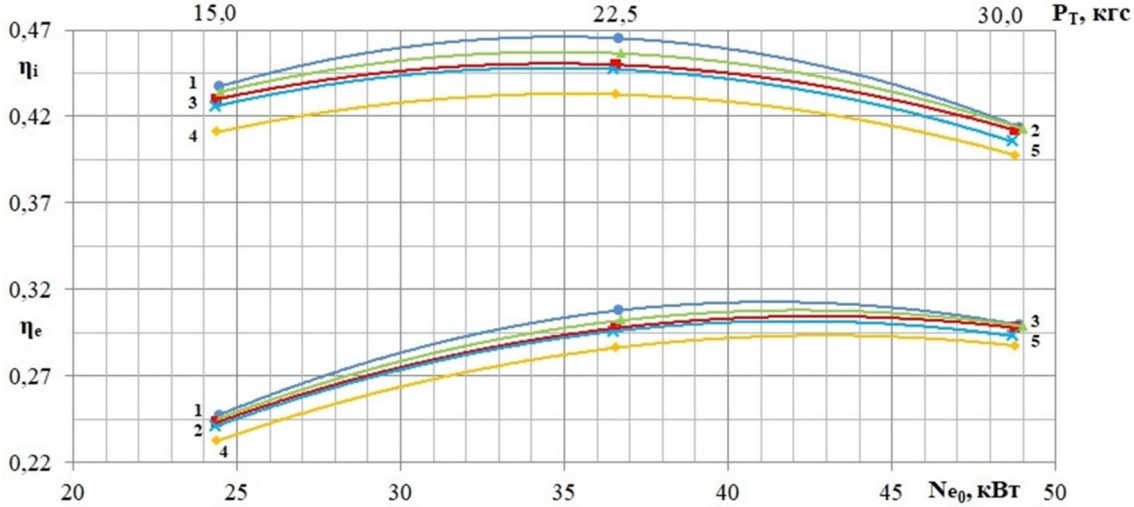
Рисунок 4.48 – Нагрузочные характеристики двигателя Д–240 при 2000 об/мин, работающего на различных видах топлив (приведенные к стандартным условиям)



а) зависимость среднего часового расхода топлива $G_{т0}$ от эффективной мощности N_{e0}



б) зависимость удельного эффективного расход топлива g_{e0} от эффективной мощности N_{e0}



в) зависимость эффективного η_e и индикаторного η_i КПД от эффективной мощности N_{e0}

● БДТ - МТ № 1 (1) ■ МТ № 2 (2) ▲ МТ № 3 (3) ◆ МТ № 4 (4) × МТ № 5 (5)

Рисунок 4.49 – Нагрузочные характеристики двигателя Д–240 при 2200 об/мин, работающего на различных видах топлив (приведенные к стандартным условиям)

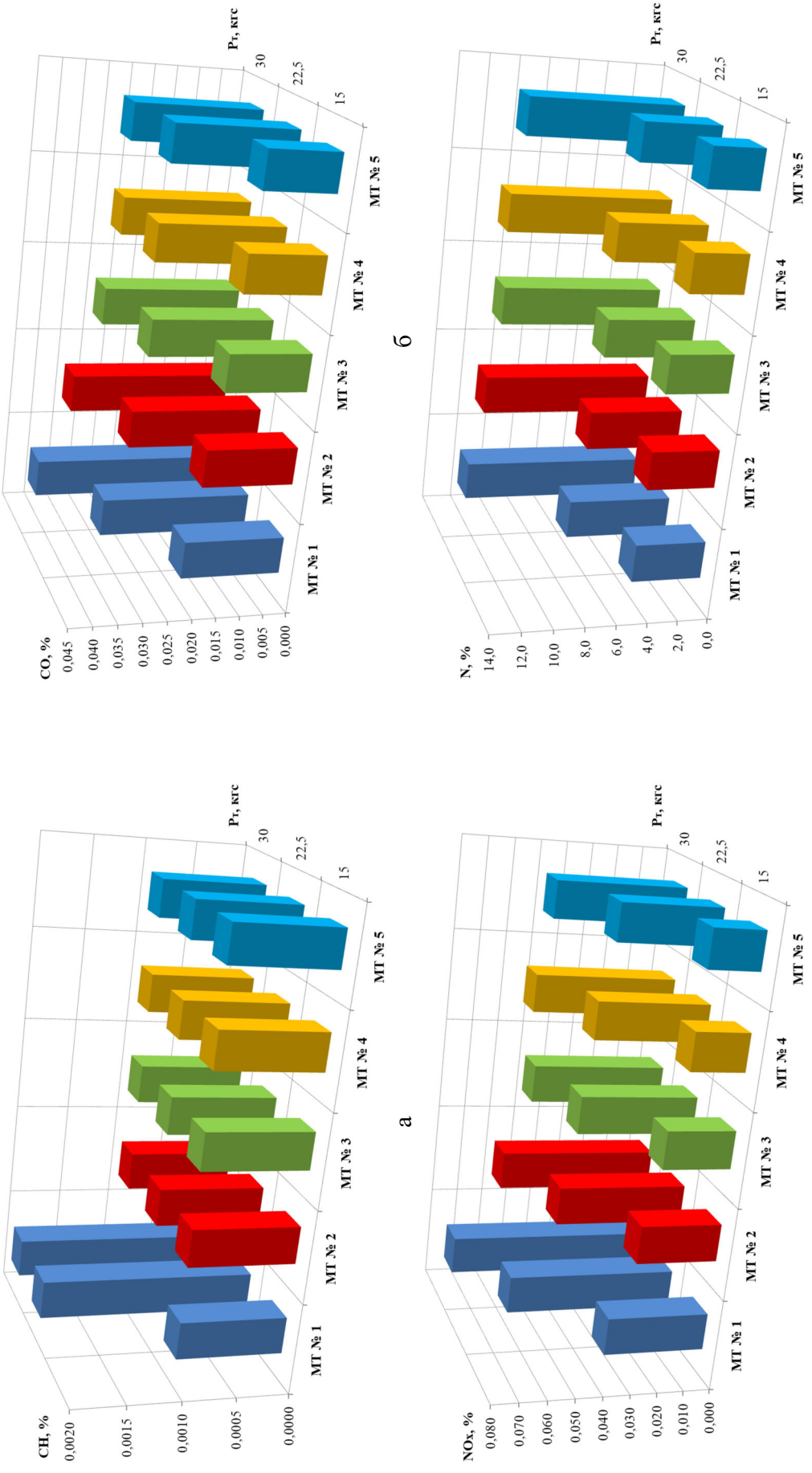


Рисунок 4.50 – Средние значения несгоревших углеводородов CH (а), оксида углерода (II) CO (б), оксидов азота NO_x (в), дымности N (г) дизеля Д-240, работающего на различных видах топлива при 1800 об/мин

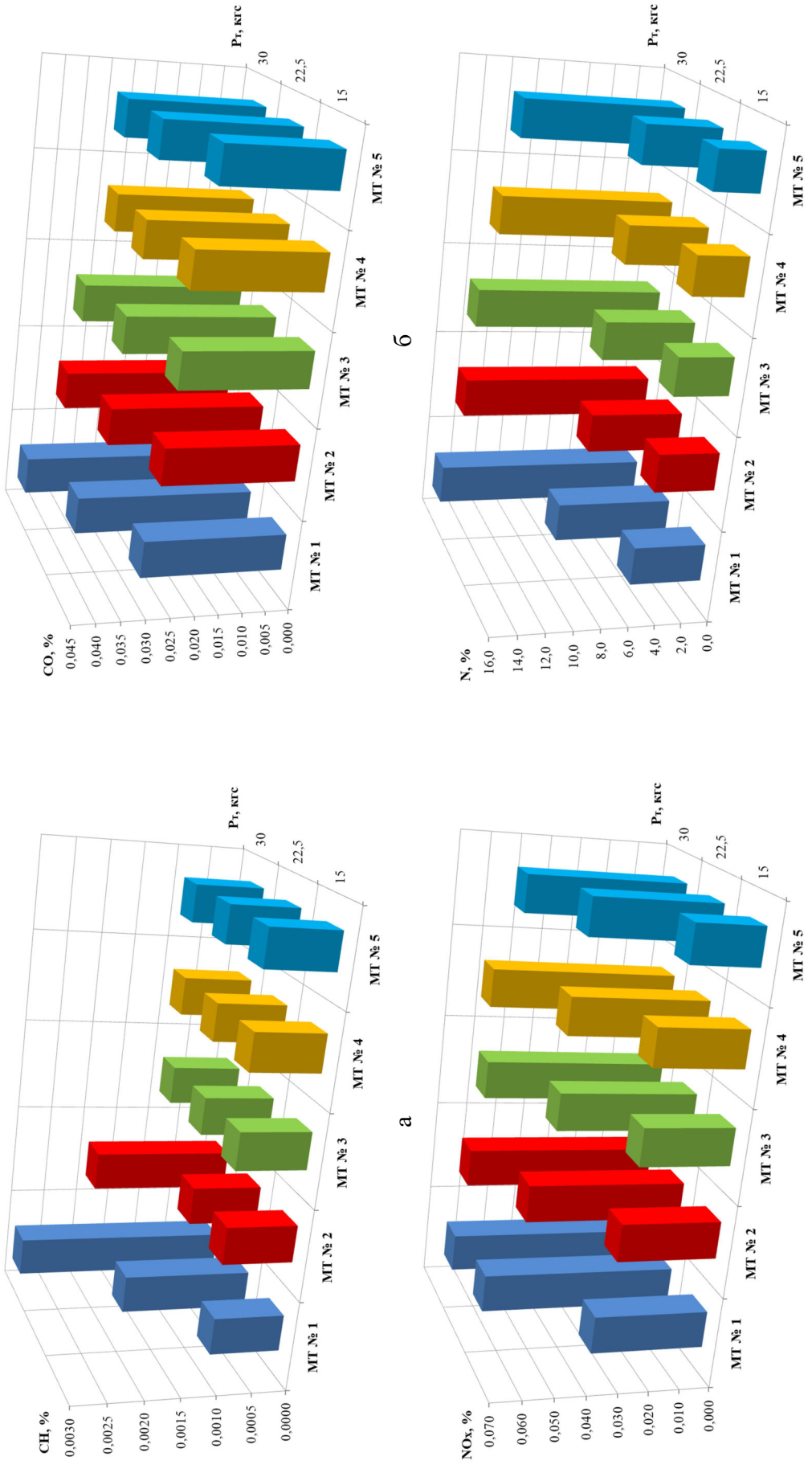


Рисунок 4.51 – Средние значения несгоревших углеводородов CH (а), оксида углерода (II) CO (б), оксидов азота NO_x (в), дымности N (г) дизеля Д-240, работающего на различных видах топлива при 2000 об/мин

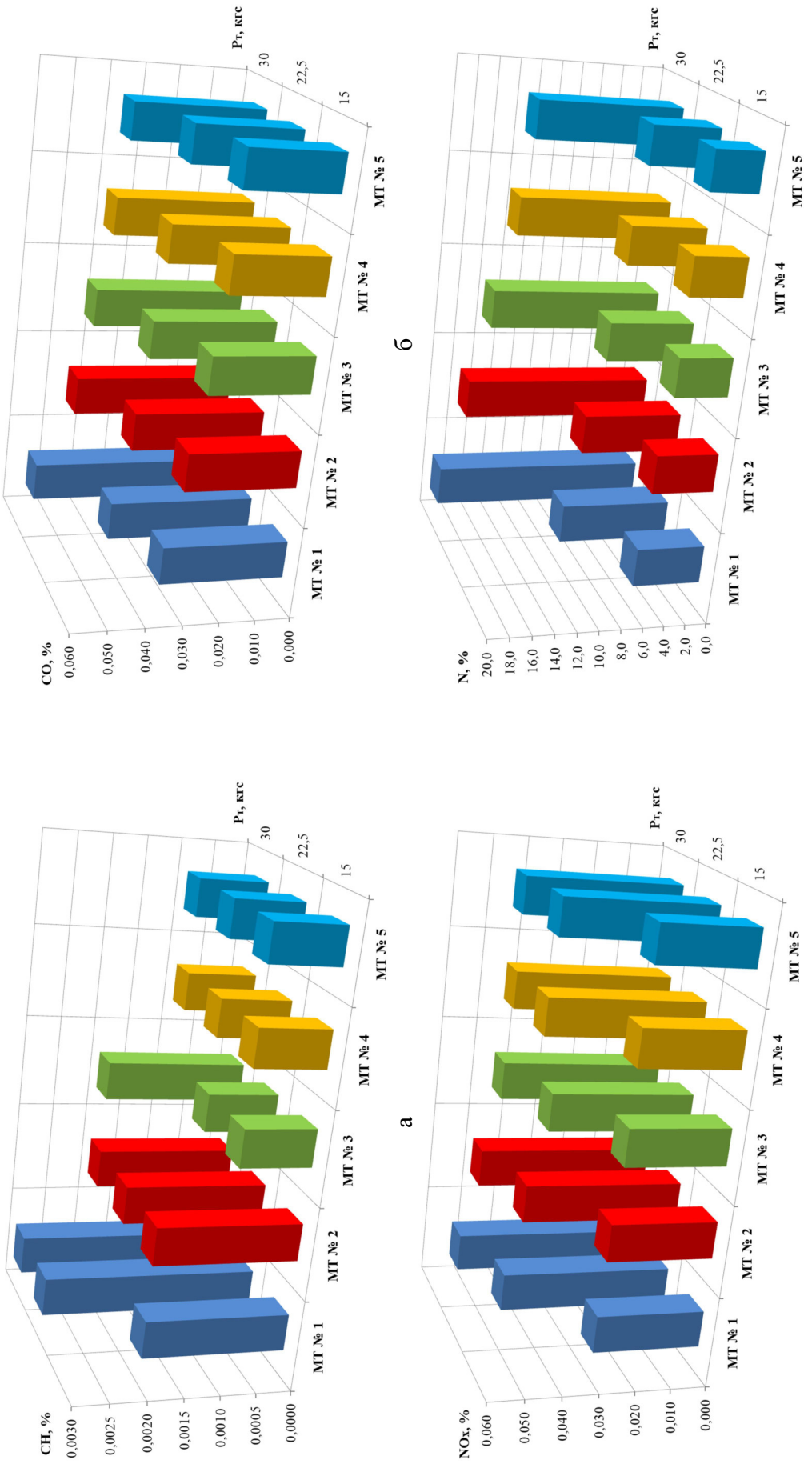


Рисунок 4.52 – Средние значения несгоревших углеводородов CH (а), оксида углерода (II) CO (б), оксидов азота NO_x (в), дымности N (г) дизеля Д-240, работающего на различных видах топлива при 2200 об/мин

Аналогичные изменения были зафиксированы для содержания оксидов углерода и азота: наименьшее снижение отмечено у смесевого топлива МТ № 2 – в среднем на 12,2 % и 13,1 % соответственно; наибольшее – у обработанного в смесителе-активаторе смесевого топлива МТ № 5 – в среднем на 26,5 % и 28,0 % соответственно. Содержание несгоревших углеводородов также снижалось у смесевых топлив более чем на 40 % в зависимости от режима

При этом наибольшее возрастание значений часового и удельного эффективного расходов топлива отмечалась у необработанного топлива МТ № 4 – в среднем на 6,4 % и 6,6 % соответственно. Наиболее близкие значения этих величин наблюдались у МТ № 1 и МТ № 3 – разница составила в среднем 1,3 % и 1,0 % соответственно.

Таким образом, проведенные стендовые испытания позволяют заключить, что использование бидобавок к дизельному топливу на основе возобновляемого сырья – некондиционных растительных масел – положительно сказывается на экологических характеристиках работы ДВС. Так как дымность (количество сажи), содержание оксидов углерода и несгоревших углеводородов в выхлопных газах дизеля в той или иной мере характеризуют полноту сгорания топлива, а их образование и концентрация в большой степени зависят от состава и температуры топливо-воздушной смеси, то с введением биодобавки меняется соотношение углерода, водорода и кислорода при сохранении остальных параметров работы дизеля, что способствует снижению количества оксидов углерода и несгоревших (неокислившихся) углеводородов. Кроме того, щелочные металлы могут сильно снижать или даже подавлять образование сажи при неполном сгорании в диффузионном пламени, способствуя ионизации её частиц и уменьшению их коагуляции, что облегчает окисление, а при получении эфиров как катализаторы часто применяются гидроксиды щелочных металлов и их следы остаются в биодобавках.

Обработка дизельного смесевого топлива в смесителе-активаторе позволяет не только лучше перемешать компоненты смесевого топлива, но и улучшить значения физико-химических показателей, приблизив их к необработанному дизельному топливу.

Рациональным можно считать состав смесевого топлива содержащий 80 % дизельного топлива и 20 % биодобавки, смешанных при помощи смесителя активатора, т.к. он обеспечивает заметное улучшение экологических показателей дизельного двигателя при незначительном ухудшении топливной экономичности и эффективной мощности по сравнению со смесевым топливом с большим содержанием биодобавки, для которых топливная экономичность и эффективная мощность снижаются более серьезно, хоть и при более высоких экологических показателях работы двигателя.

4.6. Совершенствование способов очистки отработанных масел и получения из них основы для вторичных продуктов

Как показано в состоянии вопроса, сельское хозяйство потребляет более 150 тыс. тонн только дизельных масел, при этом около 70 – 80 % из них никак не перерабатываются и различными путями попадают в окружающую среду – почву, водомы и т.п. Большая часть потребления сфокусирована в ЦФО и ЮФО – главных сельскохозяйственных регионах страны.

На сегодняшний день имеется достаточно много технологий утилизации отработанных смазочных материалов, однако не все они применимы в условиях сельхозтоваропроизводителей и не все экологически безопасны. Например, популярная сейчас практика сжигания отработанных нефтепродуктов, запрещена в большинстве европейских стран из-за своего негативного влияния на окружающую среду. Существует потребность в таких разработках, при которых повышается не только эффективность использования нефтепродуктов в технике, но и растет экологическая эффективность производства. Необходимы новые способы и средства утилизации и переработки отработанных нефтепродуктов, не наносящих урон окружающей среде.

В работе поставлена задача – оценить возможность применения очищенных отработавших смазочных материалов из современной техники (преимущественно синтетического и полусинтетического происхождения) как базового материала

для производства аналогов товарных масел и смазок.

4.6.1. Результаты исследований по использованию в качестве коагулянтов загрязнений химических компонентов, применяемых в АПК

При эксплуатации моторных масел в двигателях внутреннего сгорания образуются продукты окисления в виде асфальто-смолистых соединений, нагаров, лаков и др. С целью предотвращения выпадения в осадок вышеперечисленных соединений в масло вводятся моюще-диспергирующие присадки, которые удерживают продукты окисления во взвешенном (коллоидном) состоянии. Для очистки таких масел от загрязнений необходимо тем или иным способом осуществить укрупнение загрязнений – коагуляцию. Процесс коагуляции зависит от количества вводимого коагулянта, продолжительности его контакта с маслом, температуры, интенсивности перемешивания. После коагуляции можно проводить удаление укрупнившихся загрязнений с помощью отстаивания, центробежной очистки или фильтрования.

К настоящему времени для очистки отработанных моторных масел (ОММ) на минеральной основе найдены различные коагулянты, в том числе и из состава сельскохозяйственных удобрений. Наиболее часто, в качестве дешевых коагулянтов используют водные растворы аммиака (NH_3), едкого натра (NaOH), едкого кали (КОН) или технической соды (Na_2CO_3). Основными недостатками их использования являются снижение смазывающей способности очищенных масел за счет разрушения противоизносных присадок и ухудшение антикоррозионных свойств. Поэтому очищенные данными коагулянтами отработанные масла мало пригодны для дальнейшего использования на долив или замены гидравлических масел.

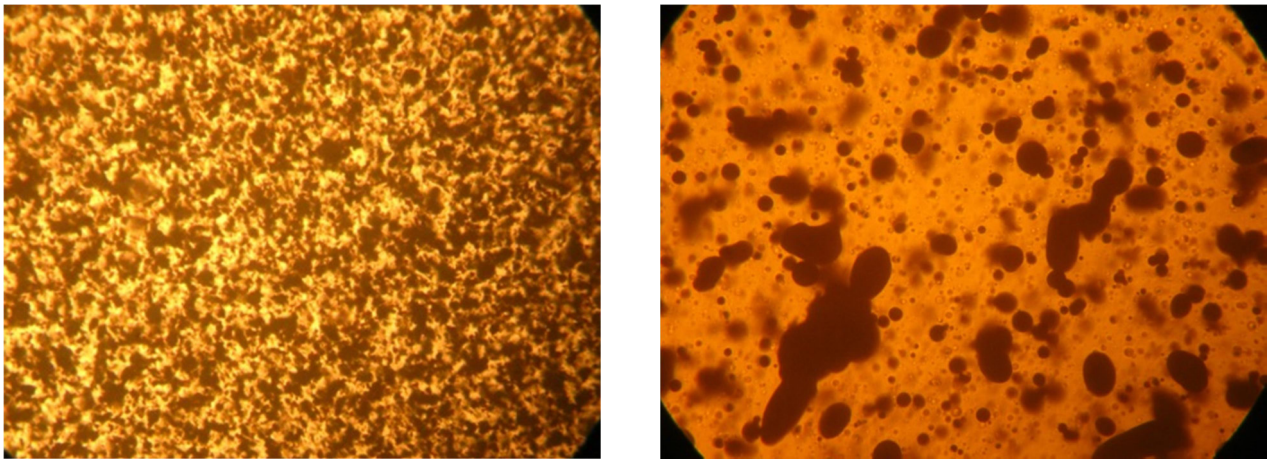
Были исследованы и другие электролиты (таблица 4.41), в частности водные растворы наиболее распространенных минеральных удобрений: суперфосфата ($Ca(H_2PO_4)_2 \cdot H_2O$), аммофоса ($(NH_4)_2 \cdot HPO_4$, диаммонийфосфат), диаммофоски ($(NH_4)_2 \cdot HPO_4 + NH_4H_2PO_4 + KCl$), сложного, безнитратного, водорастворимого, комплексного азотно-фосфорного-калийного минерального удобрения.

Таблица 4.41 – Физико-химические показатели отработанного минерального масла (ОММ), очищенного различными коагулянтами (нагрев до 110 °С, центрифугирование)

Показатели	Свежее М-10$Г_2$к	ОММ М-10$Г_2$к	Водный раствор реагента (добавка 1 %)								2 % сухого карбамида
			NaOH 20 %	KOH 20 %	Na_2CO_3 30 %	NH_3 25 %	Супер-фосфат 30 %	Аммо-фоска 30 %	Диаммо-фоска 30 %	Карбамид 50 %	
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм^2/с	11,0	10,0	10,5	10,5	10,3	10,4	10,5	10,4	10,4	10,5	10,7
Температура вспышки, °С	215	200	205	205	203	205	203	205	205	205	207
Щелочное число, мг КОН/г	6,0	2,5	2,7	2,7	2,6	2,7	2,0	2,4	2,4	2,3	2,2
Кислотное число, мг КОН/г	1,5	2,0	1,8	1,8	1,9	1,8	1,8	1,7	1,7	1,6	1,5
Содержание механических примесей. %	отс	0,5	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	отс	отс	отс	отс
Содержание воды, %	отс	0,1	отс	отс	отс	отс	отс	отс	отс	отс	отс
Диаметр пятна износа на ЧШМТ, мм	0,32	0,36	0,37	0,38	0,39	0,35	0,35	0,34	0,34	0,31	0,30
Испытание на коррозию	выдерж	выдерж	не выдерж	не выдерж	не выдерж	не выдерж	выдерж	выдерж	выдерж	выдерж	выдерж
Цвет, ед. ЦНТ	3,5	7 темный непрозр.	5 – 6 коричн. прозр.	5 – 6 коричн. прозр.	5 – 6 коричн. прозр.	5 – 6 коричн. прозр.	5 – 6 коричн. прозр.	5 – 6 коричн. прозр.	5 – 6 коричн. прозр.	5,5	5,5

Исследования показали, что их водные растворы при добавлении в количестве 1 % к отработанному минеральному маслу (ОММ) и нагревании смеси до 100 – 110 °С приводят к коагуляции имеющихся в ОММ загрязнений до микрочастиц с размером более 10 мкм, которые можно отделить отстаиванием, фильтрованием или центрифугированием.

Наибольшую эффективность в качестве коагулянта продуктов старения минеральных моторных масел показывает органическое удобрение мочевина (карбамид) [501, 502, 503, 504]. Его можно использовать как в виде 50 % водного раствора, так и в сухом виде. Добавка 1 % водного раствора карбамида или 2 % сухого измельченного карбамида к отработанному моторному маслу М-10$Г_2$к приводит к эффективной коагуляции загрязнений (рисунок 4.53).



а б

Рисунок 4.53 – Микрофотографии коагуляции загрязнений при использовании 1 % водного раствора карбамида (а) и сухого карбамида (2 %), (б)

При добавлении в масло водного раствора карбамида проходит его пространственная ориентация в гексагональную спиральную структуру за счет водородных связей. Внутри спирали образуются каналы, которые адсорбируют активную часть диспергирующей присадки. В результате этого взаимодействия происходит коагуляция механических примесей [83]. Применение карбамида позволяет не только обеспечить возможность эффективного удаления мелкодиспергированных загрязнений масла, но и улучшать его смазывающие и антикоррозионные

свойства.

Эти же коагулянты были проверены при очистке отработанных синтетических масел (ОСМ). Установлено, что распространенные минеральные органические удобрения как в сухом виде, так и в качестве водных растворов не способны удовлетворительно коагулировать продукты «старения» в ОСМ. Использование в качестве коагулянта как сухого карбамида, так и его водного раствора в случае ОСМ не приводит к положительным эффектам, что связано с сильным противодействием моющее-диспергирующих присадок, присутствующих в этих маслах в больших количествах. Кроме того, при большой загрязненности масел (более 0,8 %), ингибирующее действие асфальто-смолистых загрязнений резко возрастает, также препятствуя коагулирующему действию карбамида.

Лучшие результаты показал водный раствор щелочи (КОН), однако такого количества реагента (1 %) недостаточно для качественной очистки ОСМ от загрязнений, удерживаемых в объеме масла в мелкодиспергированном состоянии моющее-диспергирующими присадками. Разрушить их диспергирующее действие могут большие концентрации добавляемых щелочей (20 – 40 %), химически взаимодействующих с присадками, что накладывает организационные и технологические ограничения на процесс, поэтому исследования по поиск у коагулянтов были продолжены в других направлениях.

4.6.2. Результаты исследований по определению активаторов процессов коагуляции в отработанных синтетических маслах

Как известно моющие и диспергирующие присадки удерживают частицы загрязнений в масле во взвешенном состоянии, препятствуя их укрупнению. При загрязненности масла свыше 500 $см^{-1}$ асфальто-смолистые продукты «старения» начинают препятствовать коагулирующему действию карбамида. Введение воды и спирта, а так же обработка смеси в электрическом поле приводят к укрупнению частиц загрязнений, однако смолы и прочие продукты старения при этом не затрагиваются [505, 506]. Патентный поиск показал, что существует способ очистки

ОММ, заключающийся в том, что в него добавляют 0,5 – 1 % карбамида (в пересчете на сухое вещество) и 2 – 2,5 % этилового спирта, периодически перемешивают при температуре 70 – 75 °С в течении часа [506]. Он обеспечивает очистку от механических примесей, но не удаляет полностью продукты старения и имеющиеся в масле воду.

Способ был усовершенствован и опробован на минеральных и синтетических маслах. Эффект достигается тем, что отработанное масло предварительно нагревается до температуры 80 – 100 °С, после чего добавляется смесь изопропилового спирта и карбамида в соотношении 1:1 по массе, взятая в количестве 1,0 %, в расчете на сухой карбамид от массы, очищаемого масла. Использование этого способа для очистки синтетических отработанных масел показало, что он может быть применен к некоторым синтетическим моторным маслам, выработавшим большее количество присадок или к гидравлическим маслам на синтетической основе (таблица 4.42). Приоритет разработанного способа подтвержден патентом РФ № 2554357 [9].

Таблица 4.42 – Физико-химические показатели ОСМ после очистки смесью изопропилового спирта и водного раствора карбамида

Показатели	Гидравлическое		Моторное	
	исходное	после очистки	исходное	после очистки
Вязкость кинематическая, мм^2/с – при 40 °С – при 50 °С – при 100 °С	 14,0 10,3 –	 14,3 10,6 –	 – – 11,5	 – – 12,0
Температура вспышки, °С	153	160	175	180
Щелочное число, мгКОН/г	–	–	1,1	1,0
Кислотное число, мгКОН/г	0,27	0,02	2,7	0,6
Содержание воды, %	0,045	отс	0,03	отс
Содержание мех. примесей, %	0,03	отс	0,3	0,05
Цвет, ед. ЦНТ	3,5 мутный, грязно- желтый	2,0 светло-желтый	6,0 темно-коричневый	5,0 коричневый

Низшие спирты жирного ряда частично растворяют смолы и нейтрализуют их действие [503, 506] активизируя процесс коагуляции, однако их использование

в ОСМ не всегда приводит к устойчивым положительным результатам. В тоже время использование в качестве активизатора коагулянта карбамида спиртового раствора едкого кали (0,1 н) привело к появлению ярко видимого эффекта коагуляции загрязнений в ОСМ, что позволяет очистить их до прозрачных масел, без содержания механических примесей и воды, по свойствам, аналогичным очищенным карбамидным способом минеральных отработанных моторных масел (таблица 4.43).

Таблица 4.43 – Физико-химические показатели ОСМ (моторных), очищенных с использованием спиртовых активаторов коагуляции

Показатели	ОСМ № 1				ОСМ № 2			
	Исходное	после очистки:			Исходное	после очистки:		
		водный р-р карбамида	этиловый спирт	водный р-р карбамида, спирт р-р КОН		водный р-р карбамида	этиловый спирт	водный р-р карбамида, спирт р-р КОН
Кинематическая вязкость при 100 °С, $мм^2/с$	13,0	13,1	12,9	13,2	12,5	12,4	12,3	12,8
Температура вспышки, °С	196	198	197	200	180	185	185	187
Щелочное число, мг КОН/г	2,0	2,0	2,0	2,1	2,8	2,7	2,7	2,9
Кислотное число, мг КОН/г	2,9	2,9	2,9	2,4	1,7	1,6	1,6	1,5
Содержание механических примесей. %	0,5 – 0,8	0,5 – 0,8	0,5 – 0,8	0,01	0,5 – 0,8	0,5	0,5	отс
Содержание воды, %	> 0,1	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03	0,3	≤ 0,03	≤ 0,03	≤ 0,03
Диаметр пятна износа на ЧШМТ, мм	0,39	0,36	0,40	0,33	0,38	0,35	0,39	0,32
Цвет, ед. ЦНТ	7,0 черный	7,0 темный	7,0 темный	6,0 коричн. прозр.	8,0 черный	8,0 темный	8,0 темный	6,0 коричн. прозр.

Вместе с тем, спиртовой раствор щелочи не всегда проявлял свою эффективность при очистке смесей ОСМ с ОММ и посторонними примесями, попадающими в масла при неорганизованном сборе, поэтому поиски коагулянтов для таких масляных смесей были продолжены. Было установлено, что спиртовые растворы смол ели, сосны или их очищенного продукта – канифоли, в смеси с не-

большими добавками водных растворов щелочей способны приводить к активным коагуляционным процессам загрязнений при нагревании (таблица 4.44).

Таблица 4.44 – Результаты очистки смеси ОСМ и ОММ коагулянтами

Показатели	Исходная смесь ОСМ и ОММ	Коагулянты очистки			
		30 % водный р-р гидроксида натрия	1 % водный р-р гидроксида натрия	5 % р-р канифоли в изопропиловом спирте	Смесь растворов гидроксида натрия и канифоли
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм^2/с	15,6	15,2	15,2	15,6	15,0
Температура вспышки, °С	185	190	190	188	190
Щелочное число, мг КОН/г	2,4	7,3	3,0	2,3	2,4
Кислотное число, мг КОН/г	2,3	–	1,5	3,3	2,9
Содержание механических примесей. %	1,0	0,05	1,0	1,0	< 0,01
Содержание воды, %	1,2	0,01	0,01	0,01	следы
Цвет масла, ед. ЦНТ	8, черный, непрозр.	8, черный, непрозр.	8, черный, непрозр.	8, черный, непрозр.	6, темно-коричн., прозр.
Средний размер частиц, мкм	< 1	< 5	< 1	< 1	5 – 20

Раствор канифоли способен при нагреве реагировать с вносимой в масло щелочью с образованием солей канифоли, которые в масле плохо растворимы, выпадают в осадок, дестабилизируя коллоидную систему СОМ. Недостаток этого способа – относительно высокая стоимость одного из компонентов, канифоли, поэтому в качестве коагулянтов и адсорбентов загрязнений были исследованы добавки древесных опилок хвойных пород (сосны, ели) в смеси с изопропиловым спиртом и водным раствором щелочи (таблица 4.45).

Такая смесь при нагревании приводила к коагуляции загрязнений масла, а пористая структура опилок адсорбировала в себя загрязнения. Масло после центрифугирования очищалось не только от механических примесей, но и улучшало свой цвет за счет сорбции опилками темных загрязнений – асфальтенов и смол. Реализация данного способа очистки позволяет отказаться от использования дорогостоящей канифоли, фактически заменив ее экстрактом смол из опилок хвойных деревьев в изопропиловом спирте, которые и содержат канифоль.

Таблица 4.45 – Физико-химические показатели ОСМ (моторного) очищенного с использованием древесных опилок

Показатели	Исходное ОСМ	После очистки
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм^2/с	13,0	12,7
Температура вспышки, °С	196	200
Щелочное число, мг КОН/г	2,0	2,2
Кислотное число, мг КОН/г	2,9	2,5
Содержание мех. примесей, %	0,8	0,005
Содержание воды, %	0,1	отс
Испытания на ЧШМТ, Ди, мм	0,39	0,32
Цвет, ед. ЦНТ	7,0 черный	5,5 – 6,0 коричн., прозрачный

На разработанные способы очистки отработанных синтетических моторных масел получены патенты РФ № 2437923, № 2529858, № 2537297 [2, 7, 8].

Полученные результаты исследований хорошо корреспондируется друг с другом – можно выделить последовательность усложнения коагулирующей смеси, зависящую, видимо от количества и состава присадок, а также качества и свойств масляной основы очищаемых масел (рисунок 4.54)



Рисунок 4.54 – Эффективность действия смесей коагулянтов в различных маслах

Как было показано ранее, при нагревании растительных масел без доступа воздуха образуются высокомолекулярные полимеризационные продукты, а при нагреве с доступом воздуха – смесь полимеризованных и оксидированных фракций. Исследования их коагулирующей способности в отношении загрязнений отработанных моторных масел дало положительный эффект, причем более сильный коагулирующий эффект проявили омыленные щелочью некондиционные масла с высоким кислотным числом. Процессы коагуляции наблюдались при использова-

нии как жидких калиевых (КРМ), так и твердых натриевых продуктов омыления растительных масел. Было выявлено, что оптимальной концентрацией КРМ в ОСМ является 7– 8 %, а температура устойчивой коагуляции составляет 110 – 120 °С (таблица 4.46).

Таблица 4.46 – Показатели исходных и очищенных отработанных синтетических моторных масел, добавкой 7 % КРМ при различных температурах.

Показатели	ОСМ № 1		ОСМ № 2		ОСМ № 3		ОСМ № 4	
	Исх.	Очищ. (130°С)	Исх.	Очищ. (110°С)	Исх.	Очищ. (120°С)	Исх.	Очищ. (110°С)
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм^2/с	13,0	12,8	10,1	10,3	12,5	12,4	12,5	12,4
Температура вспышки, °С	196	200	105	120	180	185	205	207
Щелочное число, мг КОН/г	2,0	2,2	1,0	1,2	2,8	2,7	1,7	1,8
Кислотное число, мг КОН/г	2,0	2,5	3,5	3,0	1,7	1,5	2,3	2,0
Содержание механических примесей. %	0,8	0,01	0,8	0,01	0,8	0,01	0,5	0,81
Содержание воды, %	0,1	отс	0,1	отс	0,3	отс	следы	следы
Цвет масла, ед. ЦНТ	7, черн.	6, коричн.	8, черн.	6, коричн.	8, черн.	6, коричн.	7, черн.	6, коричн.

Повышение температуры свыше 140 °С приводит к обратному эффекту – диспергированию скоагулировавших частиц загрязнений масла. Оказалось также, что ОСМ или их смеси, имеющие остаточное щелочное число менее 4,0 мг КОН/г хорошо очищаются от продуктов старения и механических примесей с использованием коагуляции омыленными растительными маслами.

Если щелочное число ОСМ более 4,0 мг КОН/г, то в них не наблюдалось проявление коагуляционных эффектов при добавлении до 5 % коагулянтов. Масла не осветлялись, но очищались от механических примесей на 70 – 80 % при добавлении 10 % КРМ и более. Если такие ОСМ обработать ортофосфорной кислотой, то они легко очищались от продуктов старения и механических примесей уже при концентрации 5 % КРМ. На данный способ очистки также получен патент на изобретение РФ № 2556641 [12].

4.6.3. Результаты исследований по очистке отработанных масел аминоспиртами

Дальнейший поиск коагулянтов для очистки отработанных масел показал, что существуют способы очистки ОММ с применением смесей алифатических спиртов (этанол, пропанол) и аминоспиртов (триэтаноламин) [507, 508, 509]. Регенерация ОМ осуществляется путем обработки аминоспиртом (триэтаноламином) 0,1 – 2,0 масс. % в расчете на исходное сырье в смеси с изопропиловым спиртом в объемном соотношении 1,0:0,5 с последующим перемешиванием, нагреванием до 50 °С, обработкой электромагнитным полем 0,5 – 1,5 Тл и последующим отстаиванием более 6 часов.

Указанный процесс трудоемок, очистке не подвергаются ОСМ, так как предлагаемые параметры (нагрев до 50 °С, обработка электромагнитным полем) не приводят к коагуляции и седиментации загрязнений, удалению воды и легкокипящих углеводородных фракций. Поэтому нами была исследована возможность использования для очистки ОСМ аминоспиртов в других условиях.

Как показали эксперименты, алифатические спирты сами по себе не оказывали заметного коагулирующего воздействия на ОСМ. Аминоспирты (моноэтаноламин, триэтаноламин) при их добавлении в ОСМ с нагреванием до 150 °С приводили к коагуляционным процессам, обеспечивающим укрупнение загрязнений в 5 – 10 раз. Однако данные конгломераты оказались жидкими, а их размеры 0,1 – 0,4 мкм не способствовали глубокой очистке масла при центрифугировании.

Водные 50 % растворы моноэтаноламина (МЭА) и триэтаноламина (ТЭА) активного воздействия на коагуляционные процессы в смесях ОСМ и ОММ не проявляли. Аналогичный эффект наблюдается и при использовании МЭА в смеси с водным 20 % раствором КОН (1 об. %). После центрифугирования из масла удалялись примеси на 70 – 80 %, но масло оставалось непрозрачным, темного цвета.

Более яркий коагуляционный эффект проявляется при использовании в качестве коагулянтов загрязнений ОСМ смеси 2:1 МЭА с изопропиловым спиртом.

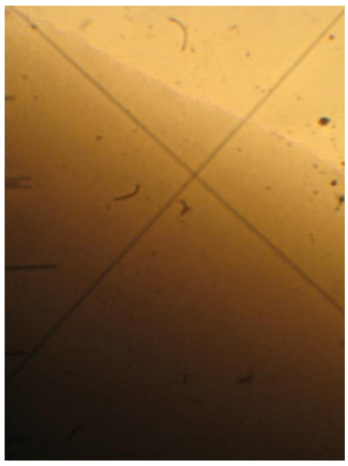
При нагревании смеси до 150 °С и последующем охлаждении до комнатной температуры (20 – 25 °С) в масле образуются частицы размером более 5 мкм, после разделения на центрифуге в масле оставалось не более 0,01 – 0,05 % загрязнений, масло становилось прозрачным, хотя и темного цвета (таблица 4.47).

Таблица 4.47 – Результаты очистки отработанного синтетического моторного масла аминоспиртами

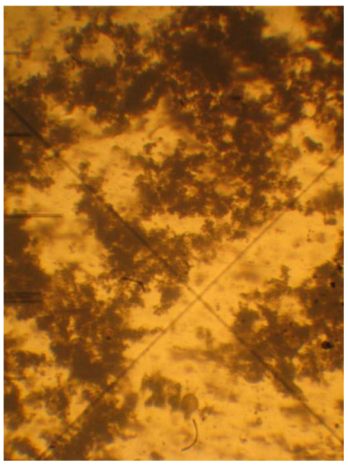
Показатели	Исходное ОСМ	После очистки с коагулянтом:					
		моноэтаноламин (МЭА)		триэтаноламин (ТЭА)		ИПС 2 %	МЭА + ИПС (2:1), 6 %
		2 %	4 %	2 %	4 %		
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм^2/с	13,3	13,2	13,1	13,2	13,0	13,2	13,1
Температура вспышки, °С	195	193	192	198	199	192	190
Щелочное число, мг КОН/г	2,7	2,8	2,9	2,8	2,9	2,7	2,8
Кислотное число, мг КОН/г	4,2	4,0	4,0	4,1	4,0	4,2	4,0
Содержание механических примесей, %	> 0,8	0,3	0,2	0,4	0,1	0,8	0.01 – 0,05
Содержание воды, %	0,1	отс	отс	отс	отс	отс	отс
Размер мех. примесей, мкм	0,01	0,1	0,5	0,1	0,5	0,01	5,0
Цвет, ед. ЦНТ	8,0 черный	8,0 черный	7,0 черный	8,0 черный	7,0 черный	8,0 черный	5,5 темный, прозрачн.

ИПС – изопропиловый спирт

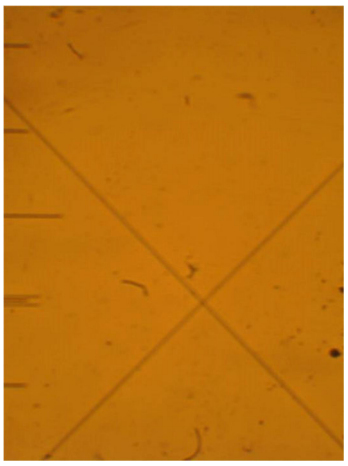
Механизм коагуляционных процессов в ОСМ может быть следующим. Аминоспирты (МЭА, ТЭА) являются электролитами (слабые основания), способными оказывать дестабилизирующее действие на моющее-диспергирующие присадки синтетического моторного масла. Однако их действие как ПАВ не столь значительны (ослабляют диспергирующие свойства присадок на 10 – 20 %). В то же время, при смешении ионогенного ПАВ (МЭА) с неионогенным ПАВ (ИПС) коагулирующее действие этой смеси усиливается, так что активность моюще-диспергирующих присадок ослабляется на 80 – 90 %, частицы загрязнений масла коагулируют почти полностью до размеров более 5 мкм (рисунок 4.55, таблица 4.48), которые легко отделить центрифугированием до низких значений – остаточное количество загрязнений составляет 0,01 – 0,05 %.



а) загрязненное масло



б) загрязненное масло после введения реагентов и нагрева



в) очищенное масло

Рисунок 4.55 – Микрофотографии коагуляционных процессов, протекающих в ОСМ до и после внесения реагентов

Таблица 4.48 – Результаты очистки различных ОСМ смесью моноэтаноламина и изопропилового спирта (1:1) в количестве 4 об. % и нагреве до 130 °С

Показатели	Образцы ОСМ							
	№ 1		№ 2		№ 3		№ 4	
	Исх.	Очищ.	Исх.	Очищ.	Исх.	Очищ.	Исх.	Очищ.
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм^2/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 черн.	6,5 темн., прозр.	8,0 черн.	6,0 темн., прозр.	7,0 темно-коричн.	5,5 рубин., прозр.	7,0 серый, не-прозр.	6,0 светло-ко-ричн., прозр.

Было установлено, что коагуляционный эффект зависит от температуры смешивания и остаточного содержания моющее-диспергирующих присадок в масле, оцениваемых по щелочному числу масла. Оптимальной температурой

для начала коагуляционных эффектов является интервал в 130 – 150 °С, а оптимальными концентрациями добавок моноэтаноламина и изопропилового спирта – 2 – 4 об. %.

Данный способ позволяет очищать и отработанные минеральные масла. Например, отработанное масло М–10ДМ с загрязненностью 0,1 – 0,3 %, непрозрачное, цвет 5,5 – 6,0 ед. ЦНТ после обработки по разработанному способу приобретает прозрачный светло- желтый цвет (3,5 – 4,0 ед. ЦНТ) и полностью очищается от механических примесей (< 0,01 %). На способ очистки получен патент на изобретение РФ № 2556221 [11].

4.7. Получение вторичных продуктов на основе очищенных отработанных масел и возобновляемого сырья

4.7.1. Обоснование составов аналогов гидравлических жидкостей

Отработанное моторное масло уже не имеет достаточного набора эксплуатационных свойств для повторного использования по прямому назначению, в то же время, разработанные методы очистки отработанных масел позволяют очищать их до состояния при котором они могут быть использованы для изготовления вторичных продуктов. Можно предположить, что при удалении механических примесей и продуктов старения из отработанных масел остаточная часть присадок положительно скажется на свойствах гидравлической жидкости, приготовленной на их основе. Поэтому можно очищать гидравлические жидкости от загрязнений, продуктов старения и применять повторно, либо использование как гидравлических жидкостей или базовых масел для их приготовления очищенные от продуктов старения и загрязнений отработанные масла, например моторные.

Установлено, что очищенные от механических примесей, воды и продуктов старения отработанные синтетические масла по основным свойствам (за исключением цвета) обычно удовлетворяют требованиям к гидравлическим маслам, ис-

пользуемым в сельскохозяйственной и строительной технике (таблица 4.49).

Таблица 4.49 – Физико-химические свойства некоторых гидравлических жидкостей, используемых в сельскохозяйственной технике, а также очищенных отработанных и растительных масел

Показатели	Товарная гидравлическая жидкость			Очищенное отработанное масло			Некондиционное растительное масло	
	МГЕ–46В	МГ–8А (М–8А)	М–10Г$_2$	минеральное моторное М–10Г$_2$	синтетическое моторное (смесь)	синтетическое гидравлическое (смесь)	рапсовое	подсолнечное
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм^2/с	≤ 6,0	≥ 7,5 – 8,5	11,0 ± 0,5	10,7	12,5	9,8	6,5	7,7
Плотность при 20 °С, кг/м^3	≤ 890	≤ 900	≤ 905	902	893	886	891	916
Температура вспышки в открытом тигле, °С	≥ 190	200	≥ 205	207	204	175	282	320
Кислотное число, мг КОН/г	0,7 – 1,5	–	–	1,5	2,5	0,8	21,0	4,5
Содержание механических примесей, %	отс	0,015	≤ 0,015	отс	0,01 – 0,05	0,01	0,03	0,02
Содержание воды, %	следы	отс	следы	отс	отс	отс	0,15	0,20
Диаметр пятна износа на ЧШМТ при 20 °С, мм	≤ 0,45	–	0,29	0,30	0,33	0,32	0,30	0,26
Цвет, ед. ЦНТ	4,0	4,0	5,0	5,5	6,5	5,5-6,0	4,0	3,0

Достаточно высокое кислотное число в прогорклых некондиционных растительных маслах, а также значительное содержание механических примесей и воды свидетельствуют о необходимости их очистки перед использованием. Достигнуть этого можно с помощью нейтрализации щелочью или алкоголятами металлов и очисткой сепаратором ОМ–1А и последующим центрифугированием на центрифуге конструкции ФГБНУ ВНИИТиН.

Полученные результаты (таблицы 4.50, 4.51) свидетельствуют, что после щелочной нейтрализации смазывающие свойства несколько ухудшаются, а вот очистка с использованием водного коагулянта и центрифугирования помимо

снижения кислотного числа и удаления механических примесей, воды, продуктов гидролиза и других органических загрязнений растительного масла позволяет повысить смазывающие свойства и понизить температуру застывания исходного масла даже более эффективно, чем добавление низкозамерзающих растворителей. Снижение температуры застывания растительных масел за счет специальной очистки с использованием в технологическом процессе воды объясняется коагуляцией белков и фосфолипидов масел, удаляемых из масла последующим центрифугированием.

Таблица 4.50 – Физико-химические характеристики проб рапсового масла и отходов его производства после очистки сепаратором и центрифугой

Показатели	Рапсовоевое масло (РМ)			Отходы производства		
	исходное	сепарация	центрифугирование	исходное	сепарация	центрифугирование
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм^2/с	8,2	7,8	7,6	12,3	7,9	7,7
Кислотное число, мг КОН/г	2,5	2,2	1,9	5,7	2,2	1,9
Содержание примесей, %	5,9	1,2	отс	13,3	1,4	отс
Содержание воды, %	1,0	0,7	отс	5,0	3,2	отс
Цвет, ед. ЦНТ	3,0	2,1	2,0	7,0	2,5	2,2
Диаметр пятна износа на ЧШМТ при 20 °С, мм	0,41	0,34	0,32	0,45	0,34	0,32

Таблица 4.51 – Температуры застывания масляных смесей на основе растительных масел

Масляная смесь	Температура застывания, °С
Рапсовое масло (РМ)	–20
РМ+ 0,2 % полипропиленгликоля (ППГ)	–24
РМ+ 2 % ДТ-3	–24
РМ+ 2 % изопропилового спирта	–26
Очищенное водным коагулянтом РМ	–28
РМ + толуол (5 %)	–37
Подсолнечное масло (ПМ)	–16
Очищенное водным коагулянтом ПМ	–24
ПМ + толуол (5 %)	–35
Отстой отходов подсолнечного масла (ООПМ)	–17
ООПМ + 0,2 % ППГ	–17
ООПМ + 0,2 % ДТ-3	–18
ООПМ + 0,2 % изопропилового спирта	–18
Очищенные водным коагулянтом ООПМ	–25

Проведеные исследования позволили разработать способ очистки отходов производства растительного масла для получения вторичных смазок, приоритет которого подтвержден патентом на изобретение РФ № 2437924 [3].

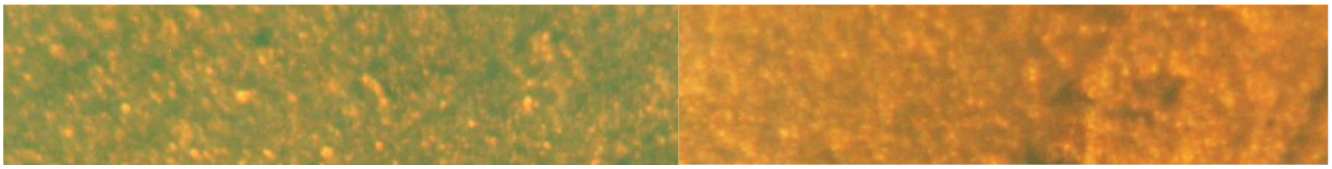
Таким образом, в качестве гидравлической жидкости для сельскохозяйственной техники могут быть использованы отработанные синтетические или минеральные моторные масла, очищенные при помощи аминоспиртов или карбамида. Для улучшения вязкостно-температурных и смазывающих свойств в них могут быть добавлены небольшие количества (до 5 %) полимеризованных и оксидированных растительных масел или синтетических высокомолекулярных соединений (ВМС) – полиэтиленгликолей, полиизобутилена и т.п.

Для проверки поведения масляных смесей в условиях, преближенных к реальным были проведены испытания в стендах, имитирующих работу узлов и агрегатов сельскохозяйственной техники. Сначала оценивали моющие, пенообразующие и коррозионные свойства модельных смесей, которые оказались сопоставимы со свойствами товарных масел, использующихся в качестве гидравлических жидкостей (таблица 4.52).

Таблица 4.52 – Результаты стендовой оценки пенообразующих, коррозионных и моющих свойств модельных масляных смесей (МС) для гидросистем

Масла и их смеси / Показатели работы		Модельная смесь (МС)			М-10Г$_2$к	МГЕ-46В
		№1: Очищенное ОММ, 5% ПРМ, 1 % ПЭГ–3000	№2: Очищенное ОСМ	№3: Очищенное ОММ:ОРМ (1:1), 4 % ПРМ		
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 удаленных низкотемпературных загрязнений после 5 мин работы стенда, %	20 °С	80	83	85	75	85
	100 °С	98	99	98	99	98

Далее в стенде с насосом НШ-32 оценивался износ трущихся деталей при перекачке смазки в течение 200 часов. Испытания показали, что модельные смеси масел обеспечивают работу деталей насоса НШ-32 без значительного износа, производительность насоса не изменилась, вязкость масел осталась практически на том же уровне, что и в начале испытаний. При микроскопическом наблюдении трущейся поверхности бронзовой втулки можно видеть сглаживание микронеровностей через 200 часов работы без заметного износа или задира (рисунок 4.56).



а) до испытаний б) после испытаний

Рисунок 4.56 – Микрофотографии трущейся поверхности бронзовой втулки насоса НШ-32 (увеличение: х100)

По результатам визуального осмотра состояния и метрического контроля геометрических параметров деталей стенда, имитирующего работу гидравлической системы навески трактора, установлено, что за 200 часов работы (42000 циклов срабатывания золотника распределителя) модельных смесей заметного износа и коррозии не обнаружено. Не отмечено и изменений в параметрах работы гидростенда: количество срабатываний распределителя (в среднем 210 в час) и давление срабатывания остались к концу испытаний на первоначальном уровне.

Физико-химические показатели модельных смесей за 200 часов испытаний изменились слабо.

Таким образом, проведенные исследования подтверждают, что гидравлические жидкости, изготовленные из регенерированных синтетических и минеральных масел с компонентами на основе возобновляемого сырья, демонстрируют хорошие показатели при испытаниях, близких к условиям реальной эксплуатации. Они способны работать длительное время в гидросистемах, подобных навеске трактора, и могут способствовать продлению сроков службы деталей гидравлических систем сельскохозяйственной техники.

4.7.2. Обоснование составов аналогов трансмиссионных масел

Как известно, главные функции трансмиссионного масла – снижение износа и минимизация потерь на трение. Чаще всего их получают на основе экстрактов от селективной очистки остаточных нефтяных масел с добавлением дистиллятных масел и присадок (противоизносных, противозадирных, главным образом содержащих фосфор, хлор, серу, дисульфид молибдена) [510]. Для основы трансмиссионных масел нужны масла с вязкостью 15 – 18 мм^2/с и более (таблица 4.53).

Таблица 4.53 – Физико-химические характеристики некоторых масел и их производных в сравнении с товарными трансмиссионными маслами

Показатели / Масла	Вязкость кинематическая при 100 °С, мм^2/с	Кислотное число, мг КОН/г	Температура застывания, °С	Диаметр пятна износа на ЧШМТ при 20 °С, мм
Трансмиссионные масла				
ТЭп–15	15,3	1,6	–18	0,28
ТАД–17и	17,5	2,0	–25	0,24
Отработанные масла				
Очищенное ОММ	10,7	1,5	–15	0,30
Очищенное ОСМ	12,5	2,5	–25	0,33

Из приведенных показателей видно, что очищенное отработанное масло можно рассматривать в качестве масляной основы для получения трансмиссионных масел, но при этом вязкость, особенно у очищенного минерального масла обычно на 30 – 50 % ниже, чем у товарных трансмиссионных масел, поэтому для доведения физико-химических показателей масляной композиции до нормативных нужно использовать присадки, прежде всего, загущающую и противоизносную.

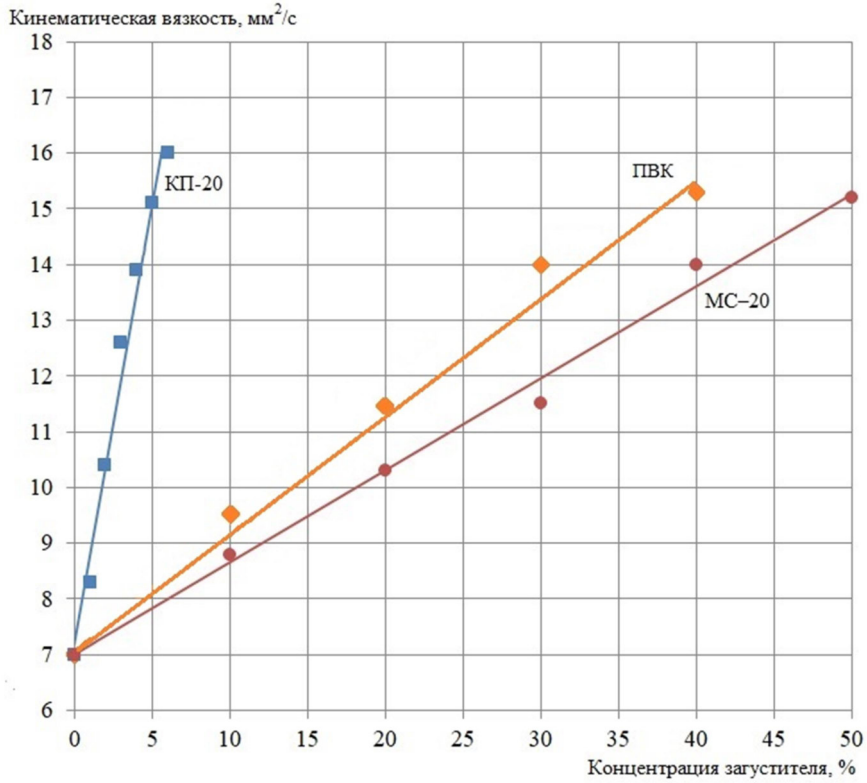
В роли загустителя очищенных отработанных масел рассматривались смазка ПВК, высоковязкое масло МС–20, присадка загущающая КП–20 (полиизобутилен), а для придания противоиизносных, антикоррозионных и защитных свойств использовалась многофункциональная композиция присадок (пакет) к трансмиссионным маслам «Крата ПТМ» от ОАО «Пигмент» (г. Тамбов). Композиция со-

держит диизопропилксантогенат этилена (противозадирная), ДФ–11 (50 % раствор диалкилдитиофосфата цинка в минеральном масле – противоизносная), полиизобутилен (ПИБ) с молекулярной массой 600 – 1000, модифицированной серой, N–циклогексилбензотиазолсульфенамид–2 (антикоррозионная серо-, азотсодержащая), диалкилбензолсульфонат кальция (противокоррозионная, детергентная (моющая) и диспергирующая) [284, 511, 512, 513, 514, 515].

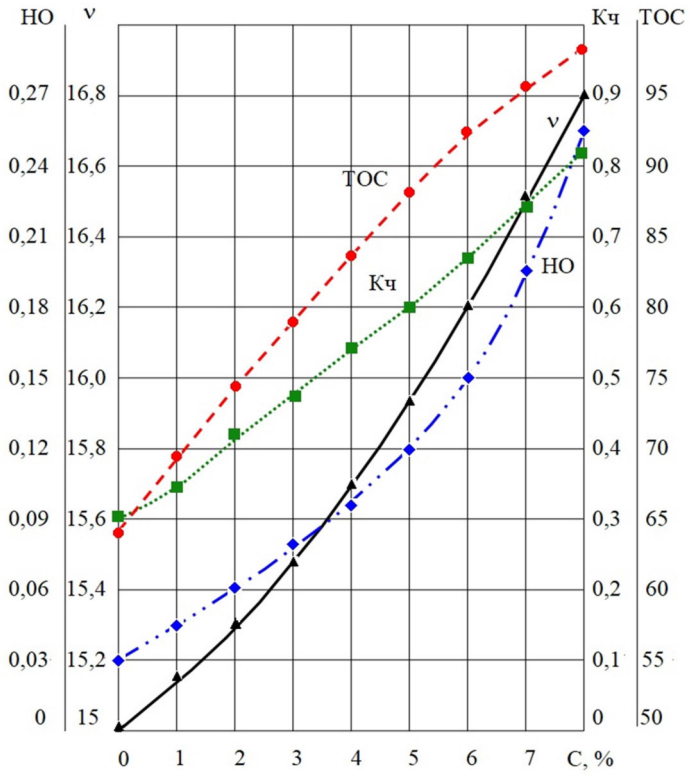
Исследования вязкостно-температурных свойств масляной основы и загустителей (рисунок 4.57а) показали, что наиболее рациональным загустителем следует считать 5 – 6 % присадки КП–20, представляющей собой концентрированный раствор полиизобутилена со средней молекулярной массой 15000 – 25000 в индустриальном масле И–12А.

Оптимальная концентрация пакета присадок к трансмиссионным маслам ОАО «Пигмент» определялась исходя из анализа изменения вязкости, кислотного числа, термоокислительной стабильности, содержания нерастворимого осадка (рисунок 4.57б) и также составила 5 – 6 % [284, 511, 512, 513, 514, 515].

Сравнение противоизносных свойств смазочных композиций на машине трения (рисунок 4.58) подтвердило выбор состава и количества компонентов в смазочной композиции. Установлено, что приготовленные экспериментальные композиции обладают лучшими смазывающими свойствами, чем товарные трансмиссионные масла. Испытания на медной пластине при различных температурах показали, что масло ТСп–15к, содержащее присадку ДФ–11, проявляет хорошие противокоррозионные свойства, в то время как масла ТАП–15В и ТАД–17и, содержащие элементную серу и противозадирную присадку ОТП (ТАП–15В) имеют повышенную коррозионную активность. Таким образом, из приведенных данных видно, что по основным физико-химическим характеристикам смазочная композиция, состоящая из очищенного отработанного масла с добавлением загустителя и пакета присадок к трансмиссионным маслам аналогичны или превосходят товарные трансмиссионные масла ТЭп–15 и ТАД–17и [284, 511, 512, 513, 514, 515].



а



б

ν – кинематическая вязкость, мм²/с; Кч – кислотное число, мгКОН/г; НО – содержание нерастворимого осадка, %; ТОС – термоокислительная стабильность, мин, С – концентрация пакета присадок «Крата ПТМ» от ОАО «Пигмент»

Рисунок 4.57 – Изменение кинематической вязкости (при 100 °С) масляной основы в зависимости от концентрации загустителей (а) и ее физико-химических показателей после добавления 5 % КП–20 в зависимости от концентрации пакета присадок «Крата ПТМ» от ОАО «Пигмент» (б)

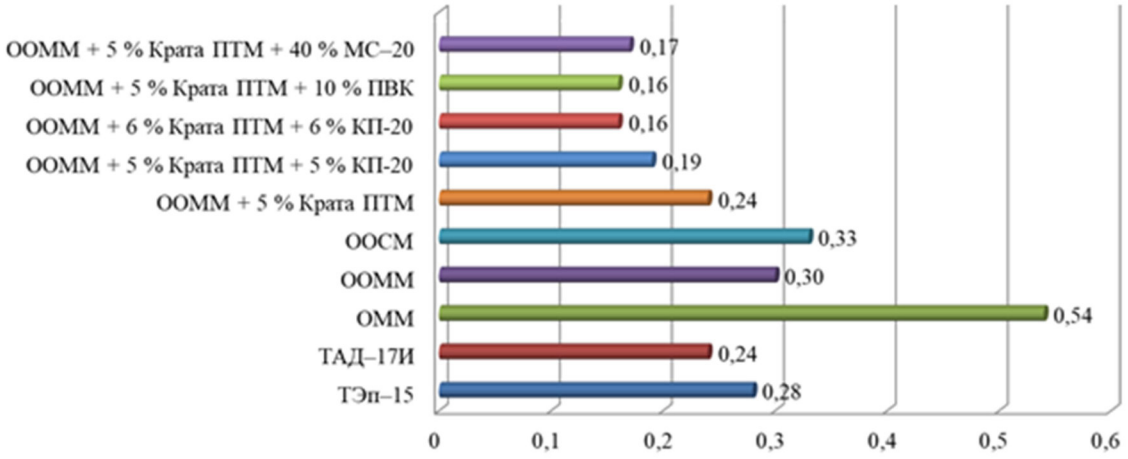


Рисунок 4.58 – Результаты определения диаметра пятна износа шариков на машине трения при нагрузке 200 Н и температуре 70 °С

Сравнительные испытания с товарным маслом ТЭп–15 на стенде, имитирующем работу конечных передач трансмиссии трактора Т–40А по методике, изложенной в разделе 3.13 показали, что экспериментальная смазочная композиция обладает эксплуатационными свойствами аналогичными товарному трансмиссионному маслу, а по смазывающим, противоизносным и защитным характеристикам превосходит его [284, 511, 512].

4.7.3. Обоснование составов аналогов пластичных смазок

Как известно в состав пластичных смазок входит от 65 до 95 масс. % базового масла, от 5 до 35 масс. % загустителя и до 10 масс. % присадок или добавок.

Кальциевые мыла на основе стеариновой, пальмитиновой, олеиновой или синтетических жирных кислот (СЖК) обладают низкой ценой и худшими рабочими характеристиками – температура каплепадения 90 – 110 °С, максимальная температура применения – 80 °С.

Литиевые мыла на основе оксистеариновой кислоты наиболее применяемые загустители при изготовлении смазок с температурой каплепадения 150 – 195 °С, в часности некоторых буровых смазок и смазок особого назначения. Количество этого загустителя колеблется от 6 до 12 масс. % или больше (что редко) в зависимости от типа исходного масла.

Базовым маслом при производстве смазок работающих при высоких нагрузках является остаточное нефтяное масло с кинематической вязкостью от 150 до 250 мм^2/с при 40 °С. Для универсальных смазок применяют масла с вязкостью от 60 до 1000 мм^2/с при 40 °С.

В проводимых исследованиях исходной дисперсионной средой служили как отработанные масла, так и их смеси, очищенные по ранее описанным способам. Из полученных очищенных масел готовились образцы пластичных смазок. Первым этапом исследований был подбор оптимального соотношения масляной основы (дисперсионной среды) и загустителя (дисперсной фазы), в качестве которых были исследованы натриевые, кальциевые и литиевые мыла жирных кислот (КОСЖК, Кч = 70 мг КОН/г) и 12–оксистеариновой кислоты [248, 249, 516, 517, 518, 519, 520].

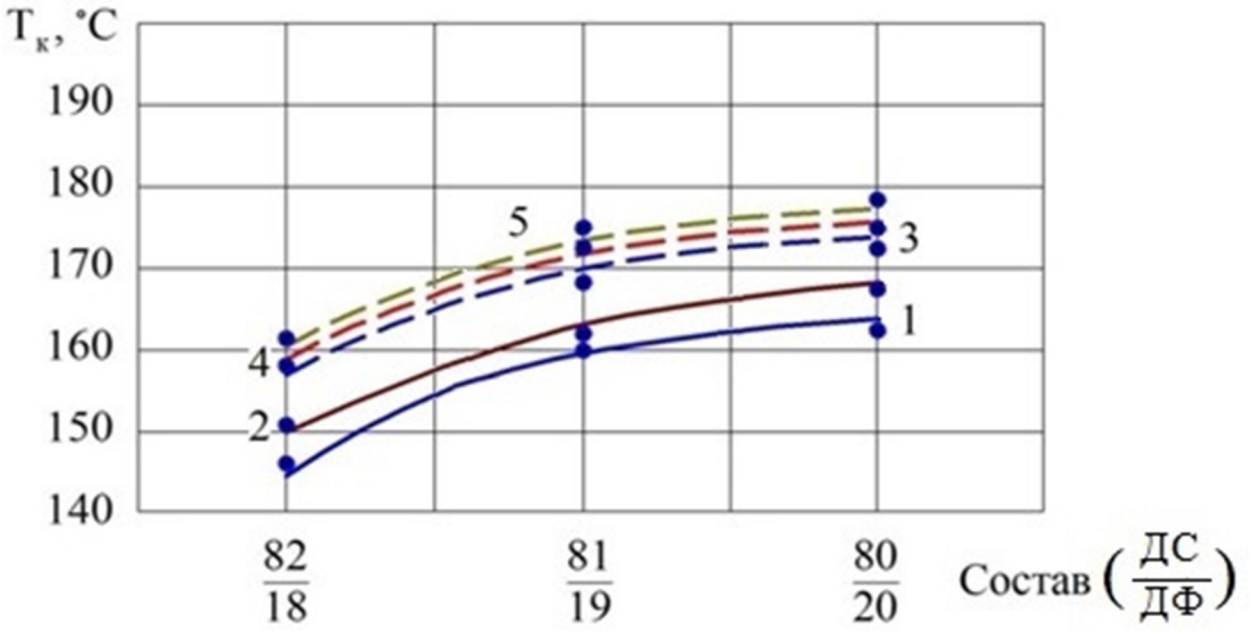
Процесс омыления КОСЖК проводился водным раствором (3:1) извести (пушонки), а 12–оксистеариновой кислоты – водным раствором гидроксида лития (3:1). Контролируемым параметром была температура каплепадения смазки (таблица 4.54).

Таблица 4.54 – Изменение температуры каплепадения смазки в зависимости от вида загустителя и его количества

Загуститель – кальциевое мыло	Соотношение дисперсионной среды (ДС) и дисперсной фазы (ДФ)						
	80/20	70/30	60/40	50/50	40/60	30/70	20/80
Температура каплепадения	ДС – очищенное синтетическое масло						
	34	72	98	105	110	111	111
	ДС – очищенное минеральное масло						
	32	68	87	97	100	100	101
Загуститель – литиевое мыло	Соотношение дисперсионной среды (ДС) и дисперсной фазы (ДФ)						
	90/10	88/12	86/14	84/16	82/18	80/20	78/22
Температура каплепадения	ДС – очищенное синтетическое масло						
	94	115	123	134	147	161	178
	ДС – очищенное минеральное масло						
	85	99	118	126	138	142	159

Смазки, приготовленные с использованием в качестве загустителя кальциевых мыл СЖК или их остатков, имели удовлетворительную структуру и температуру каплепадения на всех типах используемых отработанных масел, в то время как смазки, приготовленные с использованием готового стеарата лития не всегда

имели хорошо сформированную структуру, особенно при использовании самого сложного для очистки и переработки масла – смеси отработанных синтетических моторных масел. Причиной этого может служить как большое количество кислых продуктов, так и отрицательное действие оставшихся моющее-диспергирующих присадок, препятствующих загущению смеси. Для них были проведены исследования по уточнению температурных режимов и времени термообработки смеси ДС и ДФ (рисунок 4.59).

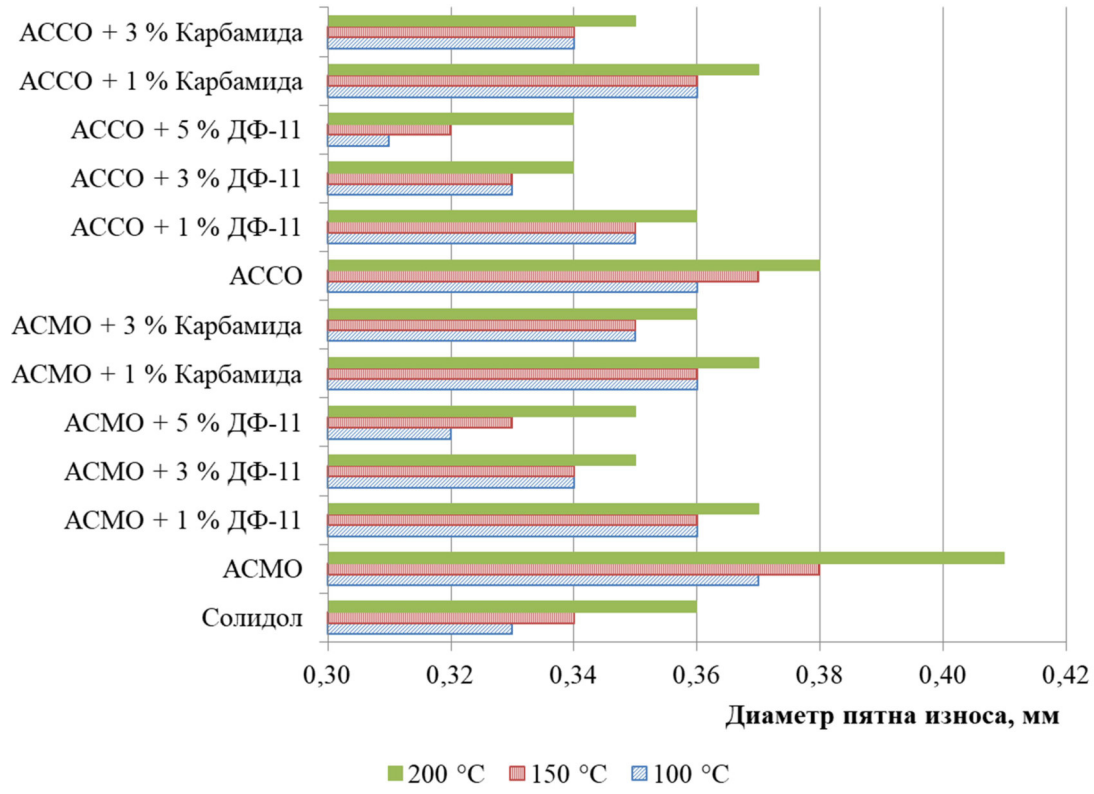


1 – без обработки; 2 – 50 °С; 3 – 100 °С; 4 – 150 °С; 5 – 200 °С

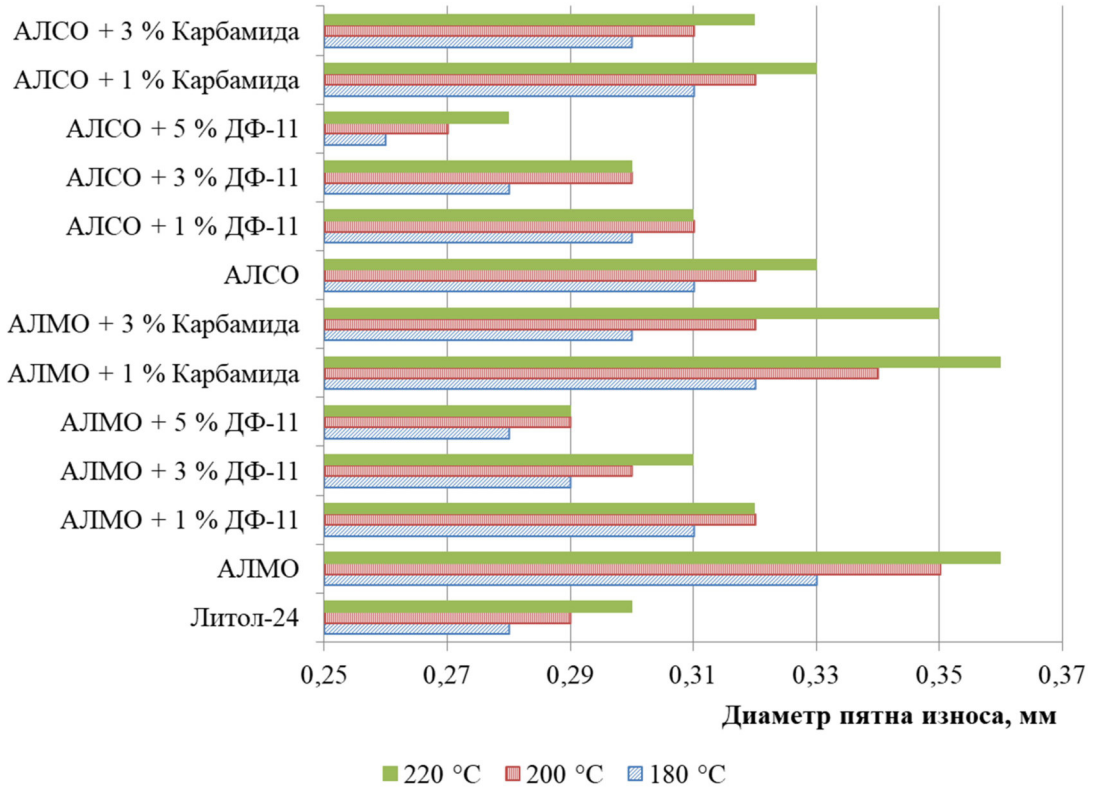
Рисунок 4.59 – Влияние предварительной температурной обработки на температуру каплепадения смазки

Уже через 2 ч предварительной температурной обработки при 100 °С этом температура каплепадения увеличивается на 11 – 25 % по сравнению со значениями таблицы 4.75 в зависимости от характера дисперсионной среды и составляет 178 – 180 °С.

На следующем этапе исследовались смазывающие свойства пластичных смазок – их важнейшая эксплуатационная характеристика. В качестве противоизносной присадки применялся диалкилдитиофосфат цинка (ДФ-11), а также исследовался расплавленный карбамид, который как показано ранее, способен значительно повысить противоизносные свойства нефтепродуктов (рисунок 4.60).



а



б

Рисунок 4.60 – Изменение диаметра пятна износа в зависимости от состава экспериментальной смазки аналога солидола (а), аналога литола (б) и температуры испытаний

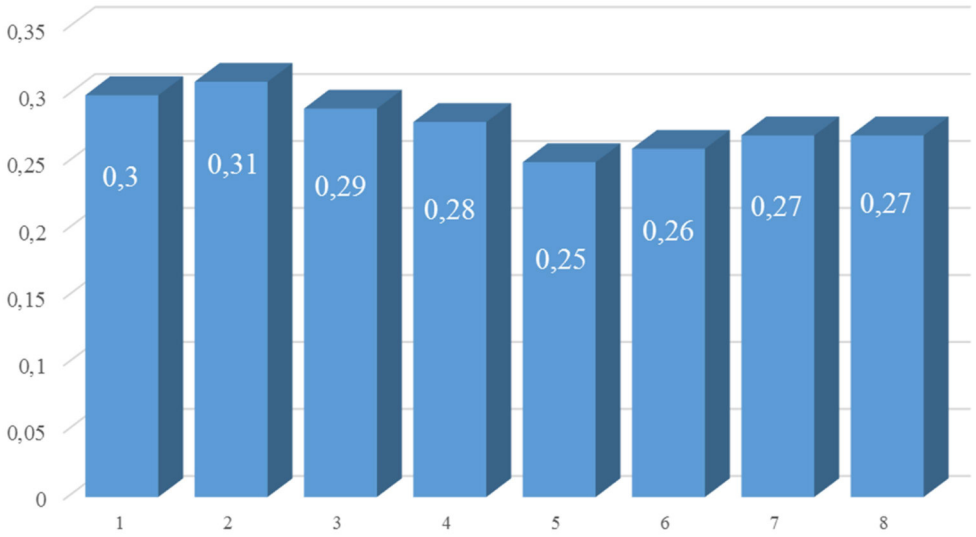
Установлено что с ростом температуры противоизносные свойства всех смазок ухудшаются, при этом составы, состоящие только из очищенного отработанного минерального масла и загустителя, имеют худшие противоизносные свойства, нежели товарные смазки. Более высокие противоизносные свойства показывает составы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

Добавление в составы расплава карбамида или присадки ДФ-11 улучшает их смазывающие свойства. Наличие карбамида в очищенном масле не только улучшает смазывающую способность, но и способствует сокращению необходимого количества противоизносной присадки. Оптимальной концентрацией присадки ДФ-11, определенной в результате исследований, можно считать 4 – 5 %. В этом случае смазывающие свойства экспериментальных композиций были аналогичны или же превосходили товарные смазки.

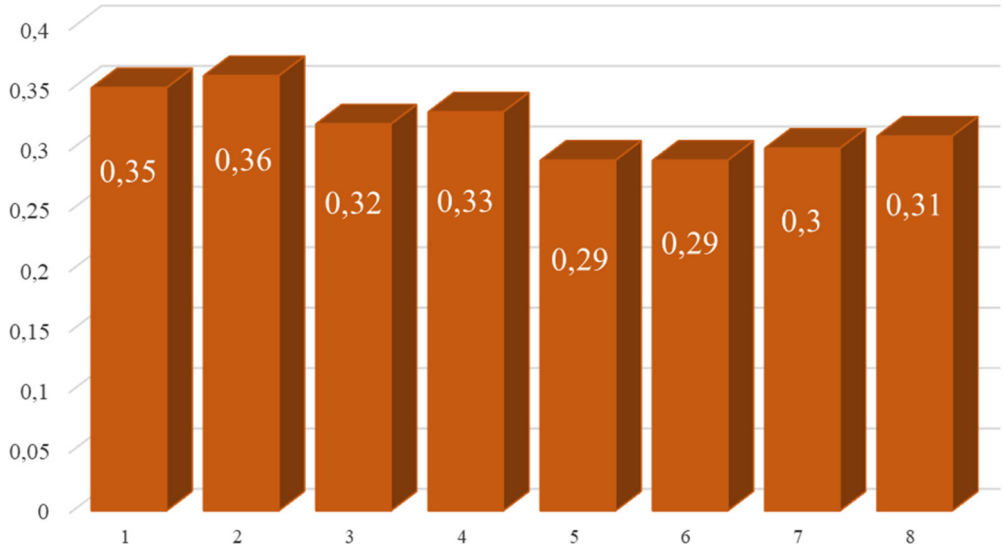
В специальных смазках могут применяться твердые порошкообразные наполнители, например дисульфид молибдена или графит, улучшающие прочностные и смазывающие свойства смазок. В этой связи в исследованиях были использованы производные углерода – графеновые нанопластины (ГНП) и углеродные нанотрубки (УНТ) серии «Таунит». В качестве исследуемых нефтепродуктов использовались пластичные смазки – аналоги литолов собственного изготовления, дисперсионную среду которых составляло индустриальное масло (рисунок 4.61).

При приготовлении использовались два вида УНМ – ГНП–10 и ГНП–25, представляющие собой малослойные графеновые нанопластины в индустриальном масле И–20А с концентрацией нанопластин 10 % и 25 % соответственно.

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что добавление графена в пластичные смазки, равно как и использование товарного или очищенного индустриального масла в качестве основы пластичных смазок не оказывает существенного влиянии на температуру каплепадения смазки. Она остается в пределах 164 ± 2 °С. В тоже время внесение в смазку различных модификаций графена улучшает смазывающую способность на 10 – 17 %. При этом не наблюдалось заметной разницы между вносимыми модификациями графена [521].



а

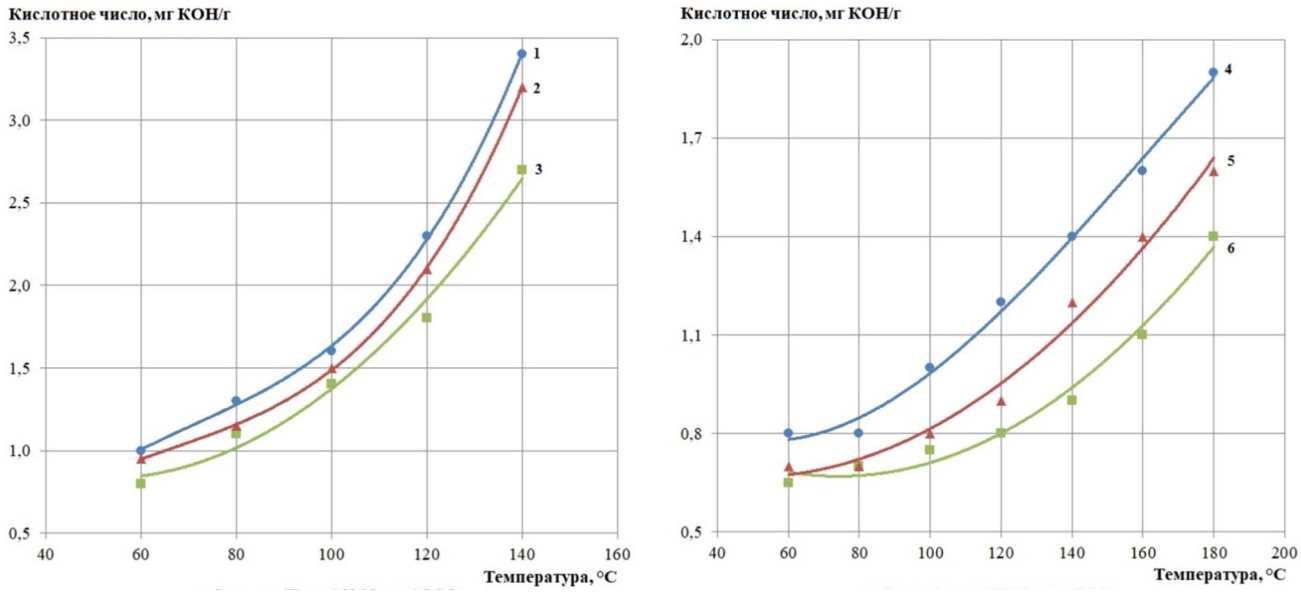


б

1 - И-20А(Т); 2 - И-20А(О); 3 - И-20А(Т)+10 % графита; 4 - И-20А(О)+10 % графита; 5 - И-20А(Т)+ГНП-10; 6 - И-20А(О)+ГНП-10; 7 - И-20А(Т)+ГНП-25; 8 - И-20А(О)+ГНП 25; (Т) – товарное масло; (О) – очищенное отработанное масло

Рисунок 4.61 – Изменение диаметра пятна износа смазок при 20 °С (а) и 120 °С (б) в зависимости от вида основы и добавок

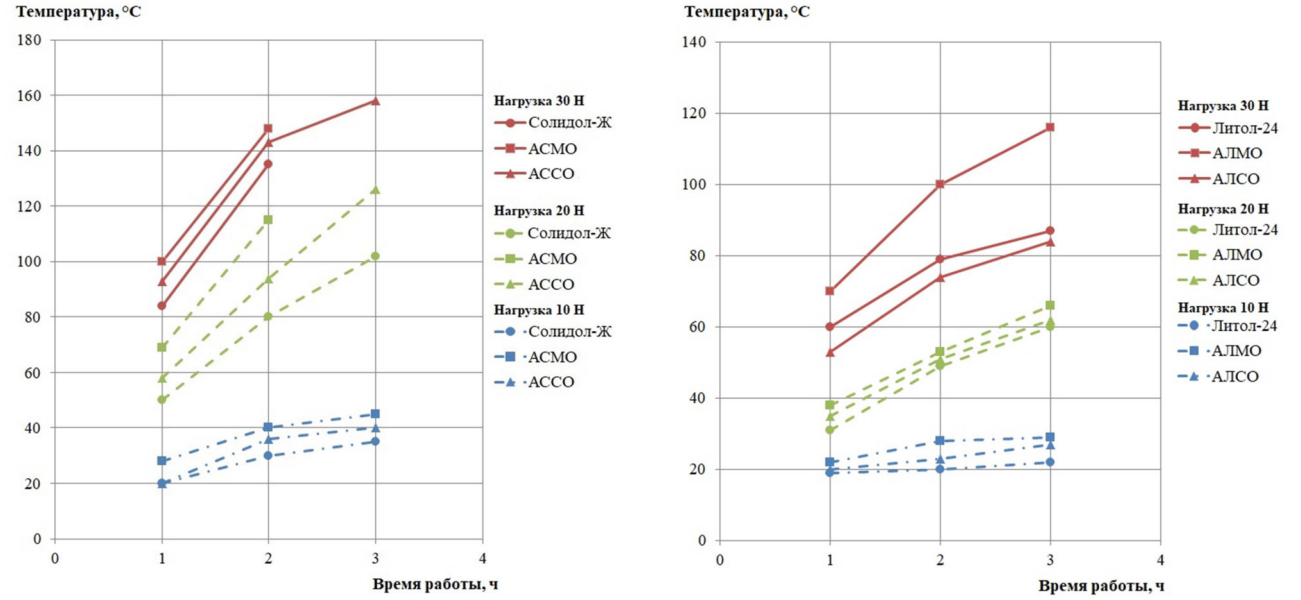
При длительном действии высоких температур может происходить окисление и термическое разложение смазок, что приводит к ухудшению их эксплуатационных свойств. Способность экспериментальных смазок отводить тепло от подшипников и изменение их свойств под действием высоких температур оценивали по изменению кислотного числа и температуре подшипников при работе специального стенда (рисунки 4.62 и 4.63).



а б

1 – Солидол-Ж; 2 – АССО; 3 – АСМО; 4 – Литол-24; 5 – АЛСО; 6 – АЛМО

Рисунок 4.62 – Зависимость изменения кислотного числа смазок типа Солидол (а) и Литол (б) от температуры



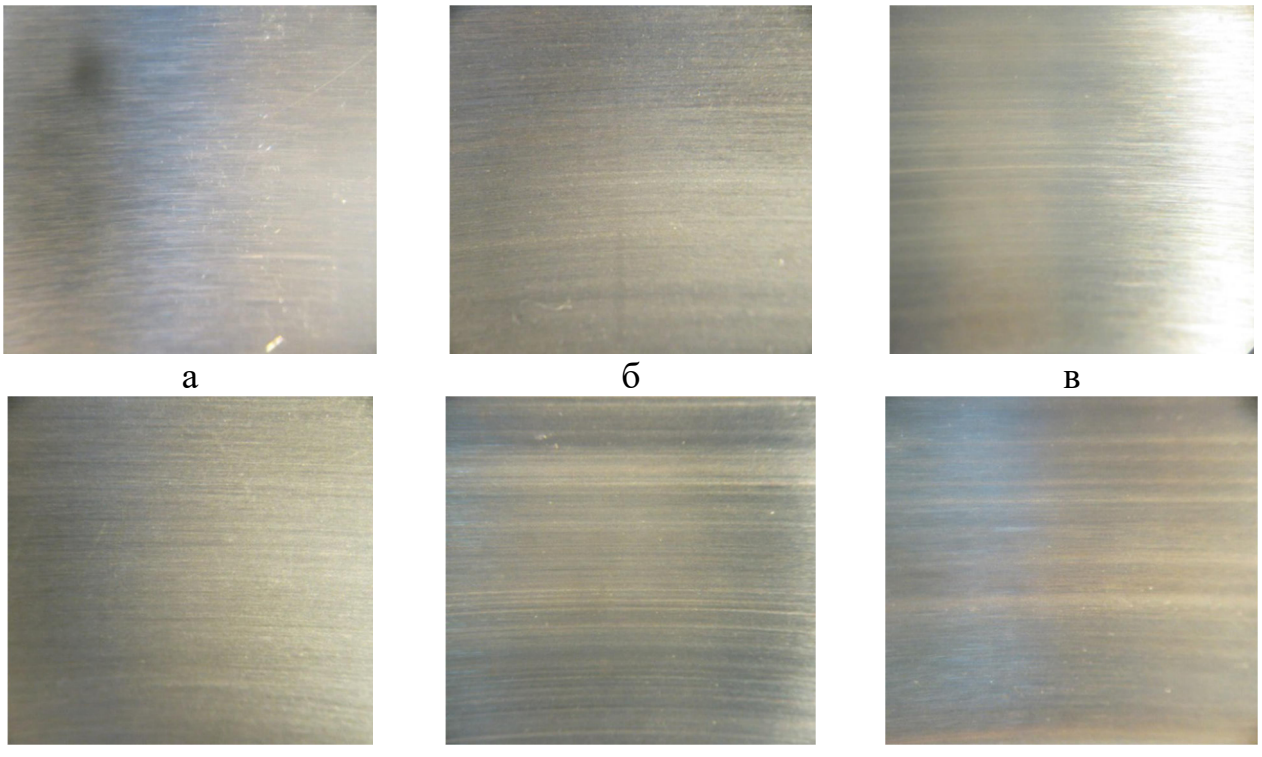
а б

Рисунок 4.63 – Изменение температуры обоймы подшипника с Солидолом (а) и Литолом (б), в зависимости от времени работы и нагрузки

Установлено, что в смазках типа Солидол кислотное число резко начинает возрастать после 100 °С и к 140 °С увеличивается практически в два раза, что говорит об ускорении окислительных процессов и сокращении эффективного срока

службы. В смазках типа Литол активное увеличение кислотного числа отмечается при нагреве выше 160 °С.

С увеличением нагрузки на подшипниках температура обоймы закономерно возрастала со временем, причем для жировых смазок наблюдались более высокие температуры чем при использовании литиевых смазок. Микрофотографии внешнего вида неподвижных обойм подшипников до и после испытаний на стенде подтверждают, что наибольший износ поверхности наблюдался у товарных смазок (рисунок 4.64 б, д), а наименьший – у аналогов на синтетической основе (рисунок 4.64 в, е).



а, г – поверхности обоймы подшипника до начала испытаний; б – Солидол–Ж; в – АССО; д – Литол–24; е – АЛСО

Рисунок 4.64 – Микрофотографии внешнего вида обойм подшипников до и после испытаний (время испытаний – 3 ч, нагрузка – 20 Н)

Таким образом, разработанные составы экспериментальных смазок, на которые получены патенты РФ на изобретения № 2529857, № 2556215, № 2764085 [6, 10, 15], могут эффективно работать при высоких температурах, даже лучше, чем их товарные аналоги [522].

4.8. Выводы

1. Результаты мониторинга качества ТСМ в сельскохозяйственных предприятиях показывают, 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. В хозяйствах имеются проблемы со средствами контроля качества нефтепродуктов и оборудования для их очистки. Существующие экспресс-лаборатории не позволяют определять температуры вспышки, щелочного и кислотного числа нефтепродуктов.

2. Результаты исследований по улучшению свойств дизельных топлив позволили определить параметры комплексной механохимической обработки в статическом смесителе-активаторе (концентрация реагента, водно-спиртового раствора гидроперита, 3 – 5 %, давление 5 – 6 кгс/см^2, время обработки 15 – 30 мин), обеспечивающие 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. При лабораторных исследованиях по получению биодобавок к нефтепродуктам на основе некондиционного возобновляемого сырья установлены оптимальные значения параметров синтеза на гомогенном катализаторе для максимального выхода моноалкиловых эфиров: концентрации спирта – 20 – 25 %, катализатора – 1 – 2 %; температура синтеза – 55 – 60 °С, время проведения синтеза при перемешивании лопастной мешалкой – 50 – 60 минут, выход 90 ± 5 %. При использовании сырья с кислотным числом выше 2 мгKOH/г предпочтительнее применение двухстадийного процесса: последовательного применения кислотного и основного катализаторов для ускорения стадий этерификации и переэтерификации, соответственно. Оптимальным условием этерификации является температура 60±3°С, время реакции 50 – 60 мин,

концентрация серной кислоты 1 % (при кислотном числе ≤ 10 мгКОН/г). Использование ультразвукового воздействия в процессе синтеза позволяет сократить время реакции – минимум в 20 раз, количество используемого спирта - на 5 – 7 %. Установлены параметры этерификации и переэтерификации жирового сырья с использованием биокатализаторов (ферментов): мольное соотношение спирт: жир – 3:1 при порционном внесении не более 3 % за раз. При значениях кислотного числа жира до 10 мгКОН/г достаточно 0,75 %, 10 - 20 мгКОН/г - 1 % фермента. Содержании воды в жире – 0,8 % – 1 %, температура проведения синтеза 35 – 40 °С.

4. Получена корреляция между жирнокислотным составом сырья и физико-химическими характеристиками моноалкиловых эфиров: плотность, вязкость и низкотемпературные характеристики зависят от соотношения средне- и длинно-цепочечных радикалов жирных кислот, а также от степени их непредельности. 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 % - в 0,5 М растворе NaCl. Помимо моноалкиловых эфиров на основе некондиционного возобновляемого жирового сырья были получены амиды и их алкильные производные из сложных эфиров, оксидированное и полимеризованное масло. Показано, что при взаимодействии триацилглицеринов с моноэтаноламином преимущественно осуществляется реакция аминолиза, а при использовании триэтаноламина наряду с ней протекает реакция переэтерификации. Определены условия синтеза: температура взаимодействия с этаноламином 120 – 130 °С, с триэтаноламином 160 – 180 °С, время протекания реакции при перемешивании – 3 часа.

5. Все синтезированные соединения улучшают смазывающие свойства дизельного топлива и могут быть использованы в качестве противоизносных присадок. Наибольшим эффектом обладают диэфиры высших алифатических кислот и триэтаноламина, а также оксидированное рыжиковое масло, которые улучшают смазывающие свойства на 15 – 25 % и на 39 – 49 %, соответственно. В наименьшей степени этот эффект выражен у метиловых эфиров высших алифатических

кислот. Установлена удовлетворительная корреляция между значениями дипольного момента и заряда на атомах азота исследуемых соединений и их смазывающей способностью. Показано, что вода снижает эффективность действия противоизносной присадки, соединяясь с ее молекулами посредством водородных связей: при повышении количества воды до 5 % и 30 % диаметр пятна износа резко возрастает, после чего практически не меняется до добавления 30 % воды, после чего снова резко возрастает. Очистка и обработка дизельного топлива увеличивает его смазывающей способности в среднем на 12 %. Улучшать низкотемпературные свойства дизельных топлив предлагается с помощью депрессорных присадок сельхозпредприятиями в зимнее время.

6. Установлено, что после обработки процесс сгорания топлива практически не изменился, но уменьшились средний часовой и удельный эффективный расход топлива на 1,63 – 9,98 %, дымность - на 2,5 – 3 %, количество монооксида углерода, и несгоревших углеводородов. Модифицирование дизельного топлива биодобавками на основе возобновляемого сырья приводит к значительному улучшению показателей токсичности отработавших газов. С увеличением объемной концентрации метиловых эфиров в смесевом топливе показатели токсичности улучшаются, несколько возрастают значения часового расхода и удельного эффективного расхода топлива при практически неизменном эффективном КПД дизеля, что обусловлено меньшей теплотворной способностью метиловых эфиров, содержащих в молекулах большее число атомов кислорода, по сравнению с нефтяным дизельным топливом, а также их большей вязкостью и плотностью. Обработка дизельного смесевого топлива в смесителе-активаторе позволяет улучшить значения наблюдаемых показателей по сравнению с необработанным топливом. Зафиксированное возрастание температуры пропускаемого через смеситель-активатор топлива до 40 – 50 °С позволяет рассматривать устройства механоактивации как решение для внесения в топливо необходимых присадок на местах его применения. Оптимальным можно считать состав смесевого топлива, содержащий 80 % дизельного топлива и 20 % биодобавки, смешанных при помощи смесителя-активатора.

7. Установлено, что образцы синтетических моторных масел, применяемых в зарубежной технике, не могут быть удовлетворительно регенерированы в усло-

виях сельскохозяйственных предприятий известными методами. Основной причиной является действие моюще-диспергирующих присадок, оставшихся в масле после замены. Наиболее заметного эффекта коагуляции в синтетических отработанных маслах можно добиться при смешении ионогенного ПАВ моноэтаноламина с неионогенным ПАВ изопропиловым спиртом. Частицы загрязнений масла коагулируют почти полностью до размеров более 5 мкм, которые легко отделить центрифугированием до низких значений – остаточное количество загрязнений составляет 0,01 – 0,05 %. Данный способ позволяет очищать и отработанные минеральные моторные масла. В некоторых случаях в качестве коагулянтов можно использовать водный раствор карбамида вместе с раствором едкого кали в этиловом спирте, спиртовые растворы смол ели, сосны или их очищенного продукта – канифоли, экстракт смол хвойных деревьев из опилок в изопропиловом спирте, полимеризованных и оксидированных фракций растительных масел.

8. 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), либо масляную основу с небольшими добавками оксидированных или полимеризованных фракций растительных масел – очищенное ОММ : ОРМ (1 : 1), 4 % ПРМ. Для получения аналога трансмиссионного масла в масляную основу нужно добавить 5 % загустителя КП–20 и 5 % пакета присадок к трансмиссионным маслам «Крата ПТМ» (ОАО «Пигмент»). Такая экспериментальная смазочная композиция, а также оксидированные и полимеризованные фракции рапсового масла аналогичны или превосходят товарные трансмиссионные масла ТЭп–15 и ТАД–17и, при этом их стоимость находится на уровне 50 – 60 % от стоимости товарного масла. Проведенные стендовые испытания этих составов показали, что экспериментальная смазочная композиция обладает эксплуатационными свойствами аналогичными товарному трансмиссионному маслу, а по смазывающим, противоизносным и защитным характеристикам превосходит его. Продукты переработки растительных масел (оксидирован-

ные и полимеризованные фракции) обладают хорошей смазывающей способностью, на уровне минеральных масел со специальными противоизносными добавками.

9. Определены составы и свойства пластичных смазок на основе очищенных отработанных масел – аналогов товарных Солидол-Ж и Литол–24. Установлено, что смазки на кальциевом мыле при соотношении дисперсионной среды (ДС) и дисперсной фазы (ДФ) – 60/40 и 50/50 имеют температуру каплепадения 97 – 100 °С (основа очищенное минеральное масло) и 105 – 110 °С (очищенное синтетическое масло-основа). Значения температуры каплепадения экспериментальных составов, загущенных литиевым мылом, при соотношении ДС:ДФ – 82/18, 80/20 приближается к нормативным значениям для смазки Литол-24 без негативных изменений в структуре. Важное значение имеет последовательность приготовления загустителя, температурный режим и время обработки смеси ДС и ДФ, которые влияют на температуру каплепадения и образование структуры смазки. Установлено, что добавление в пластичные смазки углеродных наноматериалов, товарного или очищенного индустриального масла в качестве основы не оказывает существенного влиянии 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 смазки. При этом наибольший износ поверхности наблюдался у товарных смазок, а наименьший – у аналогов на синтетической основе.

5. ТЕХНОЛОГИИ И МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ, МАСЕЛ И СМАЗОК

Результаты проведенных экспериментальных исследований и выявленные закономерности легли в основу запатентованных способов восстановления и улучшения свойств нефтепродуктов, нашедших отражение в разработанных технологических процессах и технических средствах, которые можно разделить на две группы: технологические процессы воздействия на топливо для дизельных двигателей и технологические процессы получения вторичных смазочных материалов. В каждую из этих групп входят несколько технологических процессов, которые, в зависимости от исходных условий и поставленных целей можно применять как индивидуально, так и совместно в виде отдельных стадий.

Сочетание разработанных методов, технических средств и организационных мероприятий представляет собой организационно-технологическую основу рационального использования нефтепродуктов в условиях предприятий АПК.

5.1. Совершенствование методов оперативного контроля качества нефтепродуктов на предприятиях АПК

В современном сельскохозяйственном производстве возрастает интенсивность использования и многофункциональность машин, внедряется большее количество электронных систем, призванных облегчить труд механизатора. Надежность и готовность сельскохозяйственной техники, особенно зарубежной, даже в большей степени, чем раньше, определяется, в том числе, качеством топлив и смазочных материалов, применяемых в ней.

Организация оперативного контроля качества и рационального использования нефтепродуктов в условиях АПК включает в себя систематические мероприятия по поддержанию качества нефтепродуктов на всех этапах, от покупки до потребления, а также оптимизацию процессов для минимизации потерь и отходов.

Требования современных дизельных двигателей к качеству топлива и масел

существенно возросли, особенно в плане экологичности. При этом между техническим уровнем и требованиями применяемых сельхозмашин и реальным качеством используемых ТСМ имеется существенное противоречие. Рациональное использование ТСМ в современной технике определяется не столько размером сэкономленных на покупке средств (хотя это тоже немаловажный момент), сколько количеством выполненной работы на исправных машинах, отсутствием непредвиденных отказов и простоев техники в напряженные периоды, увеличением сроков службы основных агрегатов. Экономически это выражается снижением затрат на ремонт и прибылью от реализации излишков продукции.

При этом следует учитывать несколько основополагающих моментов, определяющих современную специфику вопроса:

1) С ростом мощностей и нагрузок стали необходимы смазочные материалы, способные выдержать жесткие режимы работы. Большая часть масел для современных тракторов или комбайнов имеет синтетическую природу. В условиях рыночных отношений и конкурентной борьбы их точный состав и технологии производства труднодоступны и малопонятны неспециалисту, поэтому простой потребитель в вопросе выбора может ориентироваться только на рекомендации поставщиков, данные экспертиз и справочников.

2) Рекомендованные компаниями-производителями смазочные материалы для сельхозтехники реализуются потребителям через дилерские сети, партнеров и дочерние компании. В большинстве случаев применение не рекомендованного масла в гарантийный срок эксплуатации аннулирует гарантийные обязательства производителя техники, однако, в послегарантийный период таких ограничений уже нет. Кроме того, стоимость, оригинальных смазочных материалов остается высокой для многих хозяйств, что ставит перед инженерными службами вопрос поиска более доступных по цене аналогов, обладающих эквивалентными свойствами.

3) Российские условия эксплуатации и культура применения сельскохозяйственной техники отличаются от зарубежных. Не вся импортная техника, попадающая в страну, проходит испытания на машинно-испытательных станциях. Большой процент техники приобретается на вторичном рынке частично изношен-

ной. В результате у потенциальных потребителей мало фактических данных по поведению техники в отечественных условиях. Дилерские сети или специализированные сервисные центры недостаточно полно охватывают территории, на которых техника применяется, а стоимость их услуг для многих хозяйств остается высокой. Поэтому сельхозпредприятия пытаются проводить ремонт и обслуживание послегарантийной техники своими силами, что не всегда эффективно из-за нехватки квалифицированных специалистов и оборудования в хозяйстве и неорганизованности системы по обучению эксплуатации новой техники.

4) Нельзя рассматривать работу смазочных материалов в отрыве от качества используемого ДТ. Потребитель не всегда может быть уверен в качестве топлива, даже если имеются все документы о его соответствии нормативным документам.

5) Возможность экономного расходования ГСМ не должна отрицательным образом сказываться на технической готовности и надежности используемой техники.

С учетом перечисленного выше комплекс организационно – технологических мер должен включать в себя следующие действия:

1. Подбор и использование топлив и смазочных масел в зависимости от конкретных условий эксплуатации.

2. Обеспечение условий хранения и заправки, исправность и соответствие нормам резервуаров и складов, заправочных колонок.

3. Контроль качества ТСМ при покупке, хранении и заправке.

4. Периодический контроль качества и замена масел по фактическому состоянию, а не только по наработке.

5. Использование малоотходных технологий очистки, восстановления и улучшения свойств некондиционных топлив и масел.

6. Применение экологически чистых топлив и смазочных материалов на основе возобновляемого сырья, отличающихся высокой биоразлагаемостью.

Организация оперативного контроля качества нефтепродуктов невозможна без обученного персонала. Так подбор ТСМ должен осуществляться ответственным инженером совместно с работниками нефтебазы и отделом снабжения. Грамотный подбор заключается не столько в слепом следовании советам производи-

теля, который часто указывает конкретные марки смазочных материалов того же бренда, что и техника, сколько в оптимальном выборе смазочных материалов исходя из региона эксплуатации, климатических условий, предполагаемой нагрузки и видов работ. Для этого ответственный специалист должен иметь представление об основных свойствах и характеристиках масел, их классификации, рекомендациях производителей техники и методах подбора масел в зависимости от климатических особенностей.

Как нигде актуален для России вопрос качественного зимнего дизельного топлива. Как показывают результаты проверок, часто оказывается, что низкотемпературные свойства ДТ не удовлетворяют конкретным климатическим условиям, где их собираются применять. Повышение температуры помутнения и застывания свидетельствуют о высоком содержании парафинов в топливе, которые при охлаждении начинают оседать на фильтрах и компонентах топливной системы, что приводит к невозможности запуска и аварийным простоям техники. В подобных ситуациях оправдано использование депрессорных присадок к топливу, однако для минимизации таких случаев, специалистам хозяйств следует сделать экспресс-анализ пробы топлива перед покупкой и провести независимую экспертизу в случае сомнительных результатов.

Следующий по важности вопрос – хранение приобретенных нефтепродуктов, свойства которых могут ухудшаться из-за попадания пыли, обводнения, разбавления другими нефтепродуктами. Необходимо, чтобы хранилища и заправочные станции имели исправное оборудование, резервуары нужно периодически очищать от осадка и отложений. Следует минимизировать процессы перекачки нефтепродуктов из одних емкостей в другие и использовать для этих целей современные переносные секции с блоками фильтров для очистки от крупных механических примесей и воды.

Если топливо или масло все-таки загрязнилось при хранении, либо каким-то образом была приобретена некачественная партия, то следует использовать технологии и технические средства для очистки и восстановления свойств нефтепродуктов.

Контролировать качество каждой закупаемой партии нефтепродуктов в независимой лаборатории может быть накладно, особенно, для крупных хозяйств с обширным парком техники и большим оборотом топлив и масел. Можно использовать экспресс-лабораторию, организовав на пункте приема и выдачи нефтепродуктов рабочее место для проведения экспресс-анализов приобретаемых, хранящихся и выдаваемых топлив или масел. При закупке отрицательные результаты подобного анализа могут служить основанием для отправки пробы в независимую лабораторию для проведения арбитражного исследования. Подобным же образом можно контролировать изменение качества нефтепродуктов при их использовании.

Все производители импортной техники регламентируют проводить замену масел по наработке без поправок на техническое состояние и условия эксплуатации. Это неправильно, так как даже одна и та же техника подвергается различным нагрузкам, использует различное топливо, работает в разных климатических зонах, имеет свои особенности и неисправности. Поэтому старение масла может происходить неравномерно. В результате, один трактор к контрольной наработке будет иметь масло с запасом свойств, а другой может длительное время работать на масле, достигнувшем браковочных показателей.

Большинство производителей рекомендуют корректировать сроки замены моторных масел, в зависимости от качества применяемого топлива, прежде всего, смазывающих свойств и содержания в нем серы. Нормы удлиненных замен моторного масла для дизельных двигателей напрямую увязываются с качеством топлива. По состоянию моторного масла можно контролировать и выявлять неисправности в силовом агрегате. Применение экспресс-средств для наблюдения за состоянием смазочных материалов, может прямым образом сказаться на эффективности их использования, предотвратив чрезмерный износ или аварийный выход из строя, и потребует от хозяйства лишь наличия времени у механизатора или ответственного инженера для отбора пробы и средств на приобретение экспресс-лаборатории. В случае определения отклонений от нормативного изменения свойств масел следует провести его замену и диагностику агрегатов.

Проблема внедрения малоотходных или безотходных технологий использования нефтепродуктов в хозяйствах весьма обширна и требует индивидуального подхода. Основные принципы таких технологий базируются на понятиях ресурсосбережения, экологичности и экономичности. Подобный подход включает в себя использование как перечисленные выше средств контроля качества, так и методов и средств улучшения свойств и регенерации некондиционных или отработавших нефтепродуктов с целью их повторного использования в других областях деятельности хозяйства.

Реализацию изложенных выше принципов можно проиллюстрировать с помощью схемы организационной модели системы оперативного контроля качества и рационального использования нефтепродуктов, приведенной на рисунке 5.1, основной особенностью которой является внедрение и использование средств контроля качества топлива и смазочных материалов на определенных стадиях (I, II, III) распределения ГСМ, за счет организации участка контроля качества и технологического воздействия на топлива и смазочных материалов на территории хозяйства (IV).

При контроле качества ГСМ при закупке (I) рекомендуется заранее произвести подготовку резервуаров для нефтепродуктов, проверить исправность и чистоту технологического оборудования, готовность помещений для хранения. Оно должно быть чистым и исключать попадание влаги и примесей в емкости с нефтепродуктами. Провести подготовку экспресс-лаборатории для отбора проб и проведения испытаний. Перед закупкой нефтепродуктов необходимо проверить его паспорт качества, сделать копию или переписать декларируемые поставщиком характеристики в журнал.

Отбор проб нефтепродуктов производится оператором нефтесклада в соответствии с рекомендациями ГОСТ 2517–2012, после чего проводится экспресс-анализ в специально отведенном и оборудованном месте (рисунок 5.2). Анализ по возможности следует проводить при температуре воздуха 20 – 22 °С. В случае совпадения значений контролируемых характеристик нефтепродукта с указанными в паспорте качества, производится заливка в резервуары для хранения.

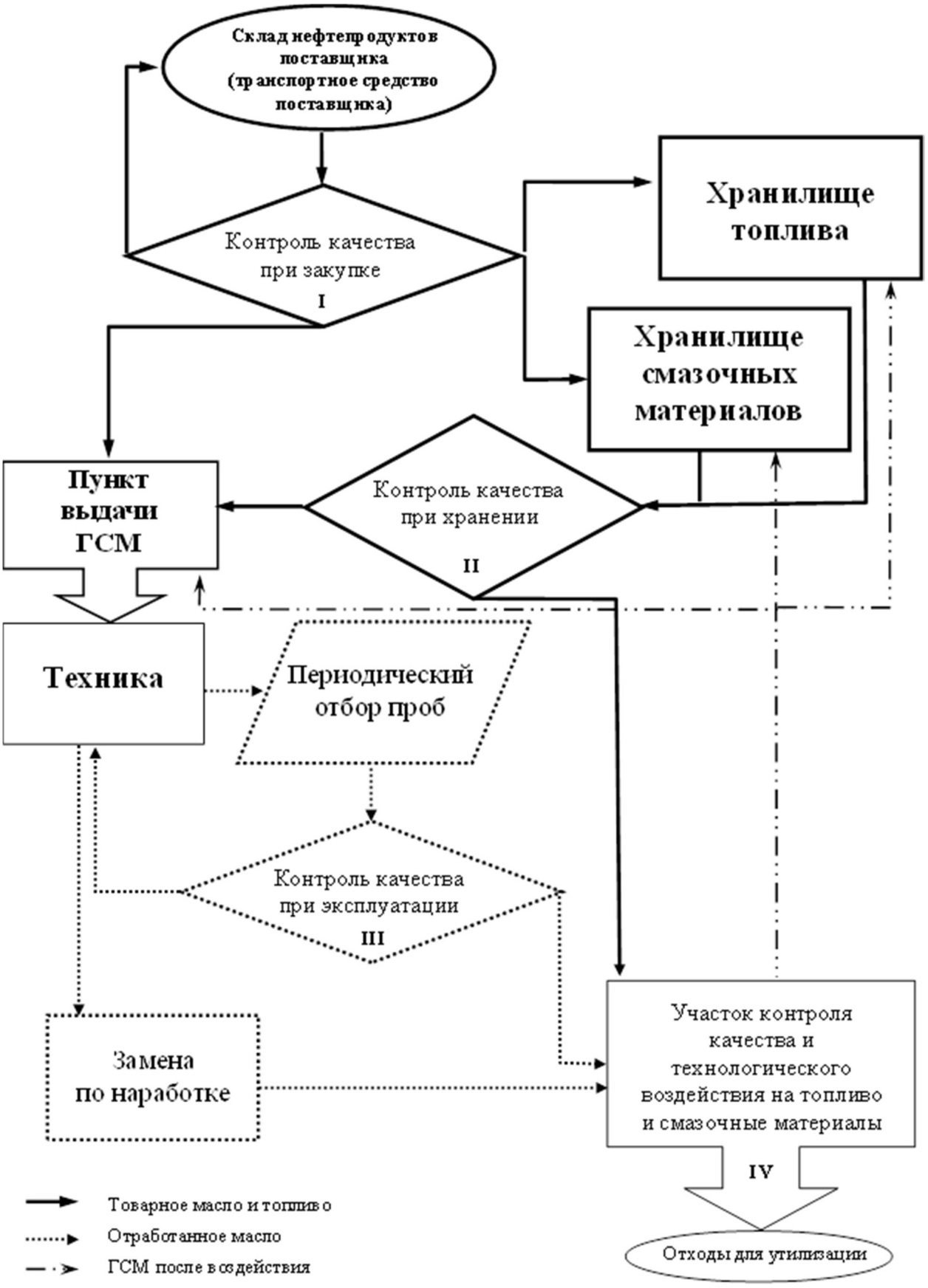
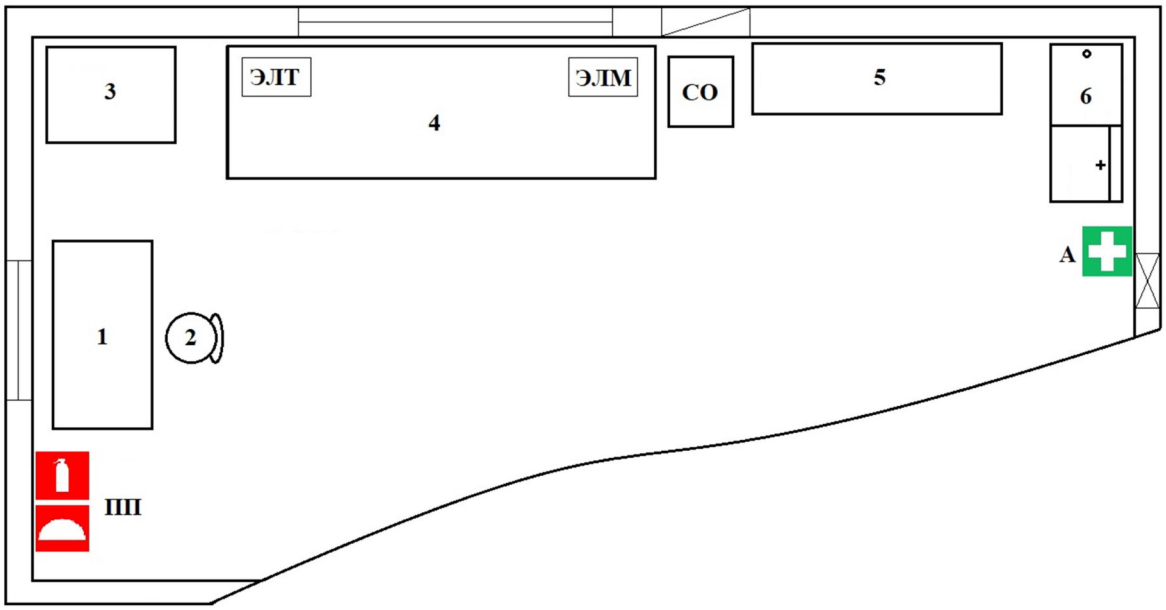


Рисунок 5.1 – Схема организационной модели системы оперативного контроля качества и рационального использования нефтепродуктов



1 – стол и стул – 2 для ведения записей, 3 – сейф, 4 – стол для проведения анализов, 5 – несгораемый шкаф для образцов, 6 – мойка; А – аптечка; СО – ёмкость для отходов; ПП – противопожарные средства

Рисунок 5.2 – Схема участка контроля качества нефтепродуктов

О неудовлетворительном качестве контролируемого продукта сообщается руководству для оперативного принятия решения по дальнейшим действиям.

Контроль качества нефтепродуктов при хранении (II) на нефтескладах сельхозпредприятий следует проводить с периодичностью 1 раз в 3 месяца. Контроль качества топлива должен включать определение воды, количество общих загрязнений, вязкости, плотности, температуры вспышки. В отобранных пробах масла особое внимание следует уделять таким показателям как вязкость, щелочное число, наличие воды и нерастворимого осадка. Данные результатов анализов заносятся в журнал оценки качества хранящихся масел и топлив, предоставляются руководству.

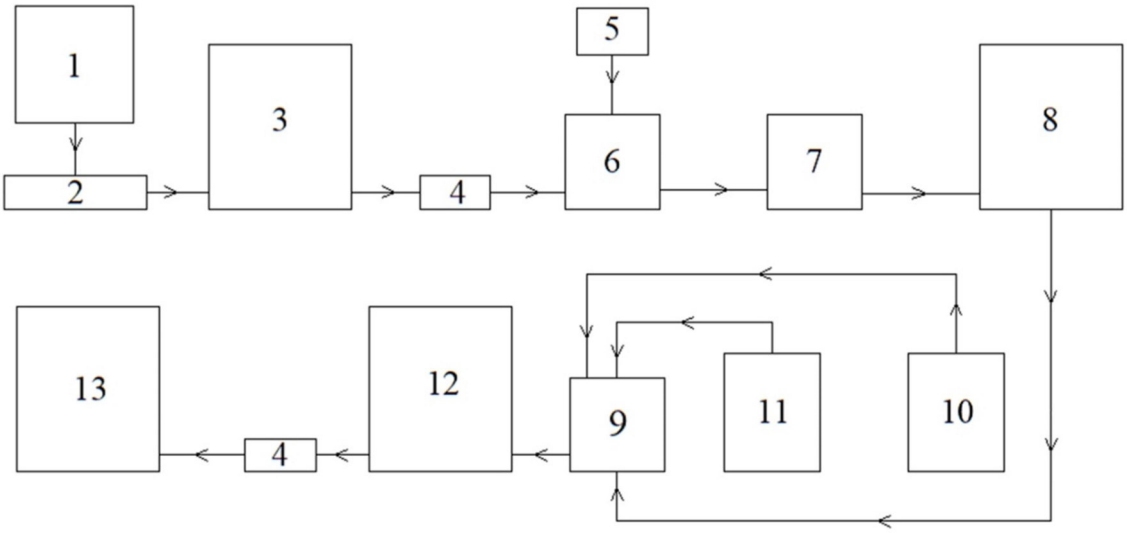
Контроль качества смазочных масел при эксплуатации (III) техники следует проводить в местах стоянки техники или в мастерской не ранее чем через 10 мин после остановки двигателя. При длительной стоянке перед отбором пробы двигатель следует прогреть. Отбор пробы масла осуществляется через штуцер масляного щупа или сливную пробку, тщательно очщенные от загрязнений ветошью.

Периодичность отбора проб работающего масла определяется исходя из года выпуска и срока эксплуатации техники, рекомендаций производителя по

срокам смены масла, оценки качества используемого топлива.

Для новой техники периодичность может составлять половину наработки до смены масла. Например, если замену масла рекомендуется провести после 300 ч, то отбор пробы работающего масла можно провести через 150 ч и при его замене после 300 ч, при условии использования топлива с рекомендуемым содержанием серы, без воды и примесей. Для техники старше 5 лет интервал между отборами проб следует сократить до 100 ч вследствие более быстрого старения масла в двигателях с длительным сроком эксплуатации.

Забракованные или выработавшие ресурс нефтепродукты следует собирать в специальные емкость для дальнейшей переработки. Участок контроля качества и технологического воздействия на топливо и смазочные материалы (IV) должен включать помещение, размеры которого зависят от предполагаемых объемов переработки, используемого оборудования для осуществления технологического воздействия на ТСМ (рисунок 5.3).



1 – резервуар или сельхозтехника; 2 – маслосборник; 3 – емкость для хранения отработанных нефтепродуктов; 4 – насос; 5 – химический реагент; 6 – реактор химического воздействия; 7 – установка физического воздействия; 8 – емкость для очищенного (обработанного) нефтепродукта; 9 – смеситель-диспергатор; 10, 11 – присадки и добавки; 12 – емкость для хранения готового продукта; 15 – емкость потребителя

Рисунок 5.3 – Принципиальная схема технологического воздействия на ТСМ

В общем случае, технологический процесс воздействия на ТСМ включает несколько стадий (без учета процессов получения присадок и добавок): подготовка сырья (отработанное масло или некондиционное топливо); подготовка реаген-

та; обработка сырья реагентом в реакторе; физическое воздействие; контроль качества полученного продукта (основы); внесение присадок и добавок; обработка смеси в установке (смеситель-диспергатор); контроль качества полученного продукта; хранение и выдача. Основные сведения о технологических режимах приведены в картах технологических процессов (Приложение Г).

Как показали многолетние наблюдения за использованием топлив и смазочных материалов в сельскохозяйственном производстве, свойства приобретаемых нефтепродуктов не всегда соответствуют нормативным значениям, а их замена производится не по фактическому состоянию, а по наработке, что во многих случаях отрицательно влияет на надежность работы машин и увеличивает затраты на их эксплуатацию. Количество неисправностей в машинах можно значительно сократить за счет контроля качества приобретаемых и используемых нефтепродуктов. Наиболее эффективной и прогрессивной является технологическая стратегия обслуживания машин по их фактическому состоянию с использованием экспресс-методов оценки основных показателей качества нефтепродуктов. Подобный подход особенно хорошо зарекомендовал себя применительно к изношенной отечественной сельскохозяйственной технике [523].

Существующие на сегодняшний день средства экспресс-контроля качества нефтепродуктов не позволяют определять все необходимые показатели качества, отсутствуют способы оперативного определения некоторых важных эксплуатационных характеристик, а многие применяемы экспресс-методы либо достаточно сложны для неподготовленного оператора, либо дают существенную ошибку измерений. Поэтому для практического применения необходима разработка новых и совершенствование имеющихся экспресс-методов. В этой связи были разработаны метод для определения температуры вспышки нефтепродуктов в полевых условиях и усовершенствован индикаторный метод оценки щелочного и кислотного числа масел (патенты РФ на изобретение № 2365907, № 2484462 [1, 5]), которые вошли в обновленный состав портативных экспресс-лабораторий контроля качества топлив (ЭЛТ) и смазочных материалов (ЭЛМ), выпускаемых ФГБНУ ВНИИТиН (рисунок 5.4).



а



б

Рисунок 5.4 – Портативные экспресс-лаборатории контроля качества топлив – ЭЛТ (а) и смазочных материалов – ЭЛМ (б)

Оценку работоспособности новых методов экспресс-анализа проводили в полевых условиях в хозяйствах Тамбовской и Воронежской областей [51, 52, 53, 523]. Достоверность результатов экспресс-анализов контролировали при помощи лабораторных измерений отобранных проб (таблица 5.1).

Таблица 5.1 – Результаты оценки физико-химических показателей масел с использованием экспресс-лаборатории и лабораторных методов

Хозяйство	Марка техники	Результаты полевых испытаний		Результаты лабораторного контроля	
		Щелочное число, мг КОН/г	Температура вспышки, °С	Щелочное число, мг КОН/г	Температура вспышки, °С
СХП им. Ленина (Тамбовская обл.)	К-701	2,0	175	2,1	170
	Дон-1500	5,0	200	4,8	200
	ACROS 530	4,0	170	4,2	172
	МТЗ-80	4,5	195	4,5	197
	ДТ-75М	3,5	180	3,6	182
СХП «Серебряковский» (Тамбовская обл.)	К-701	3,0	190	3,1	192
	Дон -1500	4,0	200	4,2	203
СХП «Степь» (Воронежская обл.)	К-701	3,0	190	2,8	190
	Т-150 К	2,5	170	2,6	170
	Дон-1500	4,5	195	4,6	195
ЗАО «Прихоперье» (Воронежская обл.)	К-701	3,5	200	3,55	200
	МТЗ-80	4,8	200	5,0	200
	ДТ-75М	3,0	170	3,2	170

Анализ полученных данных показал достаточно высокую степень совпадения результатов экспресс-анализа и лабораторного определения контролируемых показателей, что позволяет сделать вывод о пригодности разработанных средств экспресс-контроля к использованию в условиях сельскохозяйственных предприятий (Приложение А).

5.2. Совершенствование технологического процесса удаления механических примесей, смол и воды из дизельного топлива

Как было показано в разделе 4 наибольшее количество отклонений показателей качества дизельного топлива в сельскохозяйственном производстве связаны с наличием воды и механических примесей, причем загрязнение и обводнение топлива нарастает по всей цепочке поставки от нефтеперерабатывающих предприятий до расходных емкостей техники, в которых оно применяется [212].

В настоящее время эффективность работы очистителей топлив ограничивается их техническими возможностями по удалению загрязнений размером менее 5 мкм, а также сроками службы и возможностью регенерации фильтрующих элементов, простотой обслуживания подобных устройств. На сегодняшний день большинство существующих средств очистки, как отечественного, так и зарубежного производства, не способны удалять из дизельного топлива смолы и эмульсионную воду, влияние которой на работу двигателя считается неоднозначным. С одной стороны современными нормами на ДТ позиционируется обязательное условие полного отсутствия воды, с другой стороны рядом проведенных исследований утверждается ее положительное влияние на эксплуатационные характеристики машины.

Достаточно часто в различных сельхозпредприятиях используются серийно выпускаемые сепараторы СОГ (г. Саратов), предназначенные для очистки ДТ, масел, рабочих жидкостей гидросистем от механических примесей и нерастворенной воды при небольшой ее концентрации. Многочисленные проверки центрифуг подобного класса и стоимости показали, что декларируемые технические харак-

теристики выполняются только для самых минимальных расходов, при этом удаление загрязнений на уровне 5 мкм практически не осуществляется. Поэтому для использования подобного типа центрифуги в качестве первого звена комплексной очистки, были проведены исследования по определению режимов ее работы с выходом на максимальные возможности.

Для проведения испытаний было приготовлено топливо с фиксированным значением загрязненности. Загрязненное топливо соответствовало 16 классу чистоты жидкости по ГОСТ 17216–2001, с общей массой загрязнителей 0,031 % или 26 мг/100 см^3 (таблица 5.2). Предварительно топливо было обезвожено.

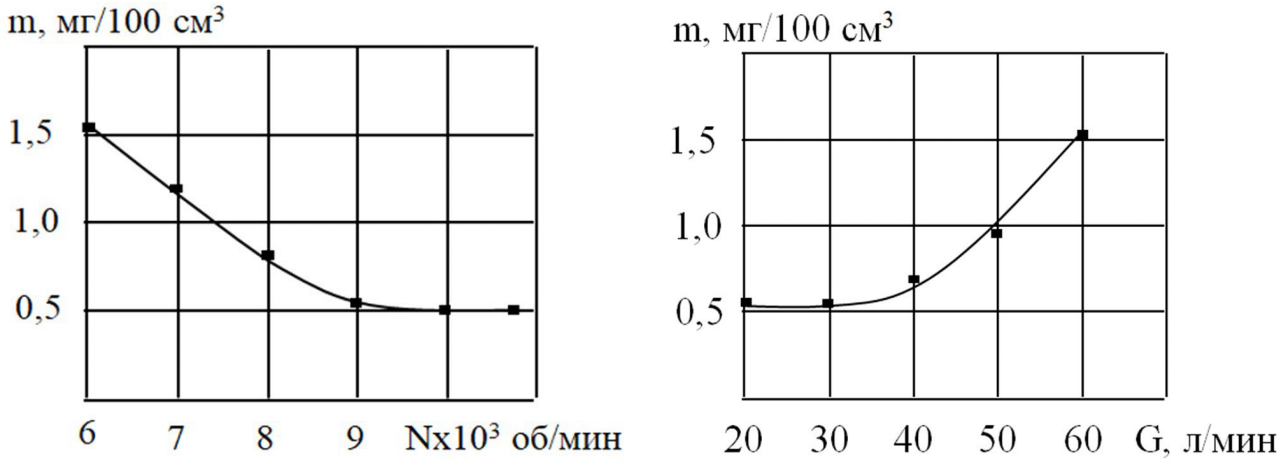
Таблица 5.2 – Число частиц загрязнителя и их масса до очистки в подготовленном дизельном топливе

Число частиц загрязнителя в 100 см^3 ДТ при размере частиц, мкм							Массовая доля загрязнений, %
св. 1 до 2	св. 2 до 5	св. 5 до 10	св. 10 до 25	св. 25 до 50	св. 50 до 100	св. 100 до 200	0,031 (16 кл.)
63x10^6	4x10^6	1200000	390000	46000	7100	1200	

Исследовали зависимость степени очистки от частоты вращения ротора при номинальной паспортной производительности. Для этого была произведена доработка стенда СОГ – увеличен диаметр шкива, а привод центрифуги был подключен к частотному преобразователю, для плавного изменения оборотов ротора. Очистка осуществлялась в один проход при отсутствии осадка в центрифуге.

Затем исследовали зависимость степени очистки от производительности стенда при оборотах ротора 9200 об/мин. Для этого была произведена доработка стенда, путем установки демпферных шайб между напорным штуцером и напорным шлангом стенда, что позволило частично перекрывать напорную магистраль стенда, тем самым регулировать расход центрифуги (рисунок 5.5).

В результате проведенных исспытаний установлено, что необходимые технологические режимы достижимы при минимальной доработки центрифуги – доведение оборотов ротора до 9200 об/мин и уменьшении расхода очищаемого топлива до 32 л/мин. Проведенные доработки позволили получить устойчивое значение чистоты дизельного топлива по 10 классу, при этом из дизельного топлива удалялось большинство загрязнений с размерами от 5 мкм и выше (таблица 5.3).



а б



в

Рисунок 5.5 – Зависимость степени очистки дизельного топлива от частоты вращения ротора центрифуги (а) и производительности (б) на модифицированном стенде СОГ 933КТ1 (в)

Таблица 5.3 – Число частиц загрязнителя и их масса после очистки при однократном проходе на модернизированном стенде СОГ 933КТ1

Число частиц загрязнителя в 100 см^3 ДТ при размере частиц, мкм							Массовая доля загрязнений, %
св. 1 до 2	св. 2 до 5	св. 5 до 10	св. 10 до 25	св. 25 до 50	св. 50 до 100	св. 100 до 200	0,0005 (10 кл.)
47x10^6	1,7x10^6	15000	8500	690	87	15	

Оценку степени очистки топлива от воды проводили на при помощи модельного дизельного топлива с содержанием воды 1 % по объему. Наблюдалось

совпадение результатов при использовании разных методик определения воды в топливе. Содержание воды во всех отобранных образцах после очистки находилось в пределах 480 – 520 мг/кг (0,048 – 0,052 %) топлива.

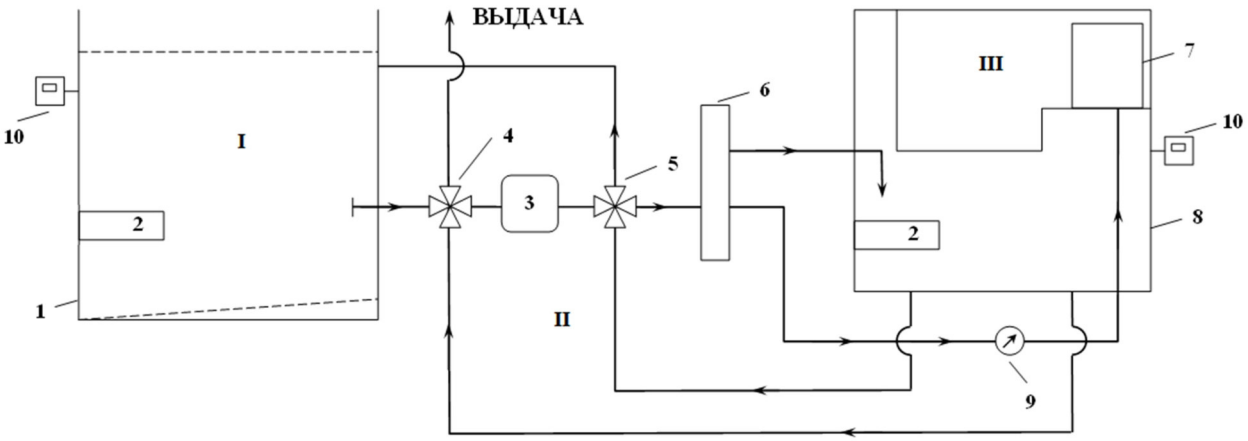
Таким образом, после реализации описанных выше модификаций и очистки дизельного топлива от механических примесей и воды в нем остаётся малая часть частиц с размерами от 5 мкм и выше и большая часть загрязнителей с размерами менее 5 мкм, которые могут быть удалены посредством фильтров тонкой очистки в топливной магистрали сельскохозяйственной техники. При этом степень очистки от воды недостаточная, так как ее содержание на выходе составляет в среднем 500 мг/кг, что в 2,5 раза больше нормы (200 мг/кг). Кроме того, центрифугирование не позволяет отделить растворенные в топливе смолы без предварительной коагуляции. Поэтому следующим этапом стала разработка экспериментальной установки (рисунок 5.6) для реализации описанного в разделе 4 способа очистки дизельного топлива от смол и примесей [4].

Как видно из зависимостей (рисунок 5.7) после 45 минут изменения содержания загрязнений в очищаемом топливе практически не происходит, при этом удаляются практически все примеси и вода. Большую роль в процессе обезвоживания играет нагрев жидкости выше 100 °С на выходе из сопел и поступление воздуха через отверстие в крышке корпуса центрифуги проталкивающего паровоздушную смесь из корпуса центрифуги в пространство установки. При давлении потока воздуха от 0,1 – 0,2 кГс/см^2 и 20 циклах прохода через центрифугу снижается время протекания процесса влагоудаления на 8 – 10 % при начальном содержании воды 0,5 – 0,6 % (рисунок 5.8).

Повышение смазывающих свойств топлива происходит за счет действия карбамида, который диспергируется в нем в процессе удаления воды. Остающийся в топливе карбамид, как известно, относится к полярным и сильно ассоциированным соединениям, образующим межмолекулярные водородные связи. Коэффициент трения между деталями мало зависит от числа мономолекулярных слоев, поэтому достаточно небольшого количества вещества, обладающего высокой полярной активностью для упрочнения поверхностной пленки.



а



б

I – Бак-реактор; II – Блок управления; III – Блок очистки;
1 – Ёмкость теплоизолированная (бак-реактор); 2 – нагреватель;
3 – насос с электродвигателем; 4 – кран К1; 5 – кран К2;
6 – клапан редукционный; 7 – центрифуги (2 шт); 8 – емкость (ступенчатая);
9 – манометр (20 кгс/см^2); 10 – датчики температуры (ТРМ)

Рисунок 5.6 – Экспериментальная установка очистки топлива (а)
и принципиальная схема процесса обработки топлива в установке (б)

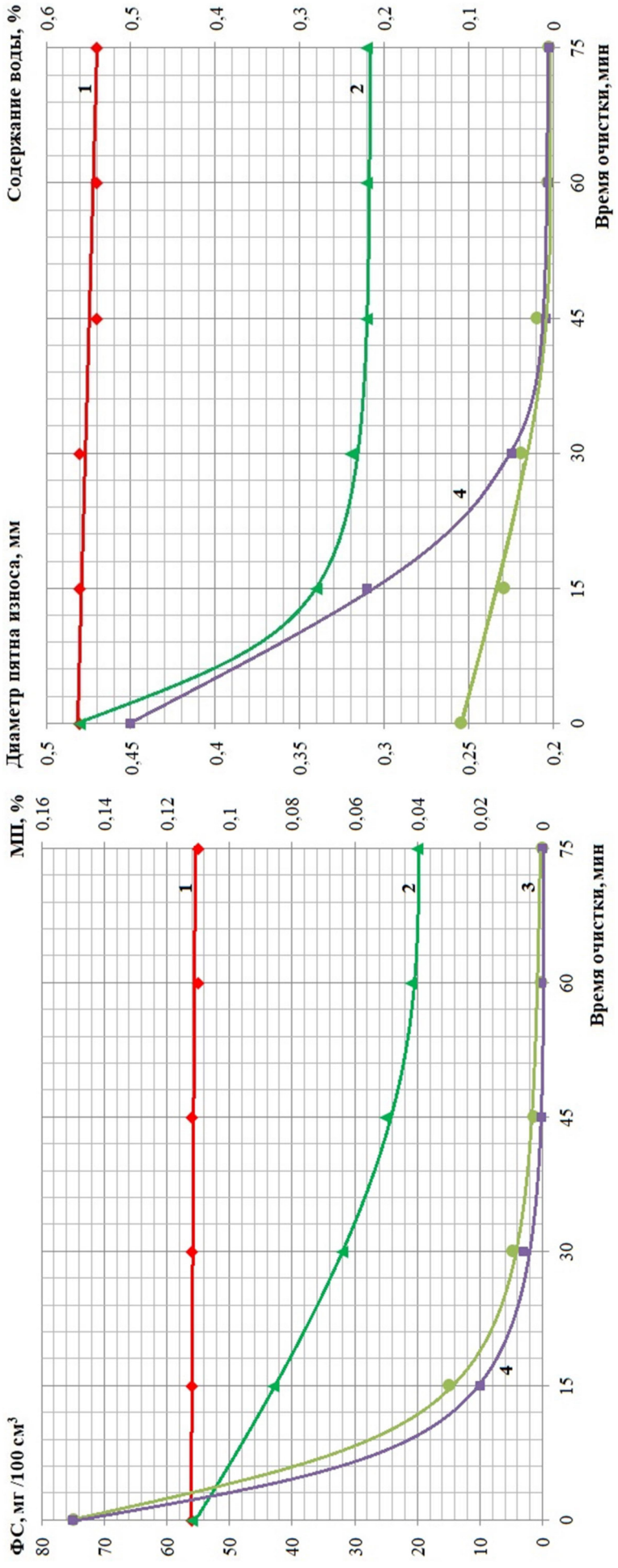
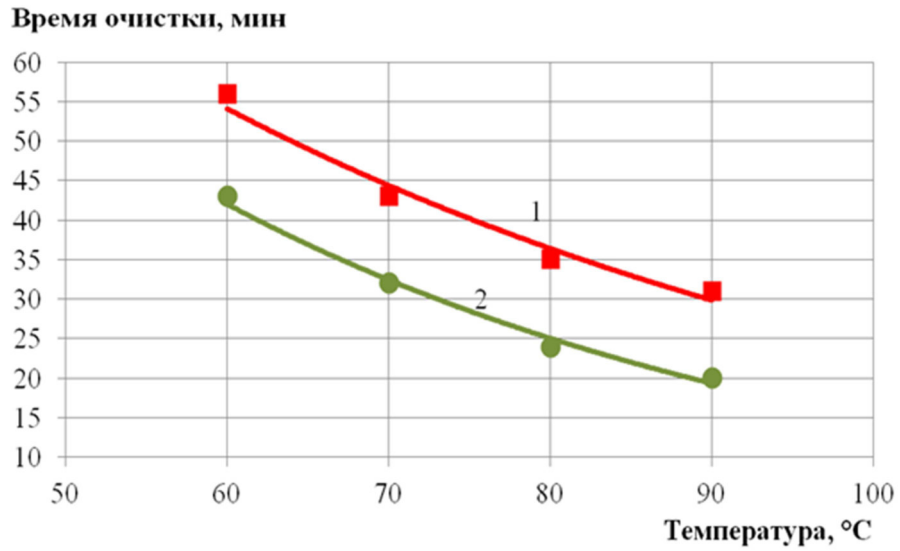


Рисунок 5.7 – Зависимости изменения содержания фактических смол (а – 1, 2), механических примесей (а – 3, 4) и изменения диаметра пятна износа (б – 1, 2), содержания воды (б – 3, 4) в дизельном топливе от времени очистки на установке без использования коагулянта (1, 3), при использовании коагулянта (2, 4)



1 – начальное содержание воды 0,6 %; 2 – начальное содержание воды 0,06 %

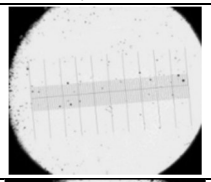
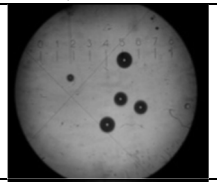
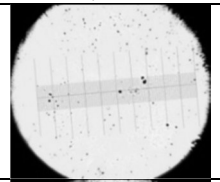
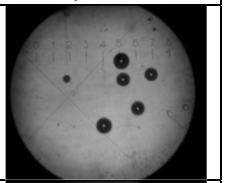
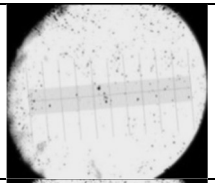
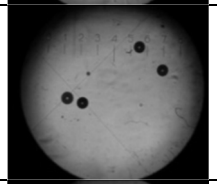
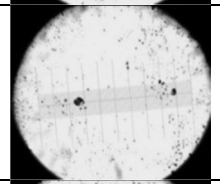
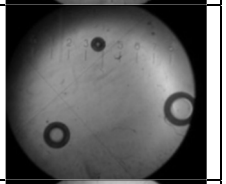
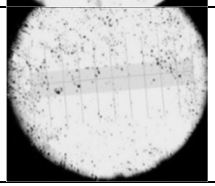
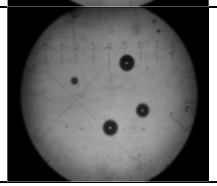
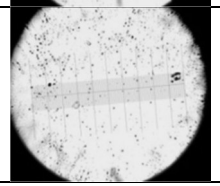
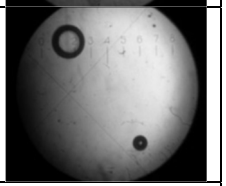
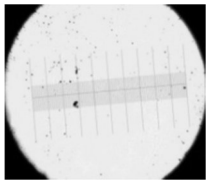
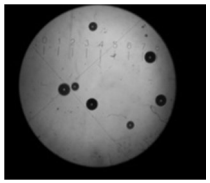
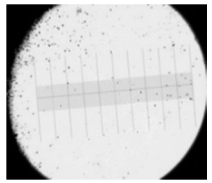
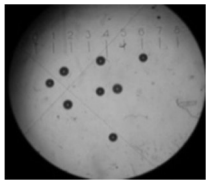
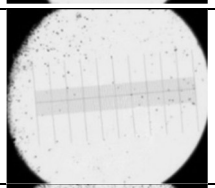
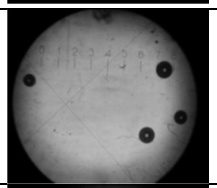
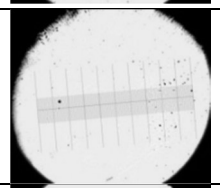
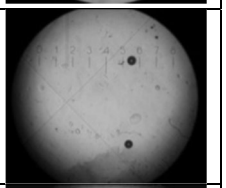
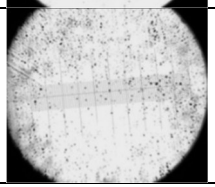
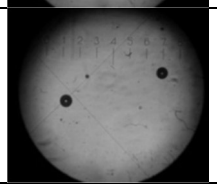
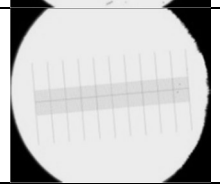
Рисунок 5.8 – Зависимость времени обезвоживания топлива от температуры процесса

Для апробации усовершенствованного технологического процесса удаления механических примесей, смол и воды в производственных условиях разработанное оборудование было установлено на территории ООО ТД «Акцент – Агро» (г. Тамбов), занимающейся поставками нефтепродуктов в сельскохозяйственные предприятия Тамбовской, Воронежской и Липецкой областей. По информации представителей ООО ТД «Акцент – Агро» порядка 10 – 15 % их ежегодного оборота (3000 т) дизельных топлив имеют отклонения от требований нормативной документации. За период проведения испытаний с помощью разработанной технологии и оборудования были улучшены свойства около 300 т ДТ (Приложение А).

Помимо этого, в хозяйствах Тамбовской и Пензенской областей отбирались пробы дизельных топлив, в которых определяли содержание механических примесей и воды до и после очистки по разработанной технологии (таблица 5.4).

Следует отметить, что отобранное топливо отвечает требованиям 14 – 17 класса чистоты жидкости по ГОСТ 17216-2001, хотя для применения в технике оно должно соответствовать 12 классу.

Таблица 5.4 – Содержание и микрофотографии загрязнений в пробах дизельного топлива

№	Наименование хозяйства	Содержание мех. примесей до очистки, % масс.		Содержание воды до очистки, % масс.		№	Наименование хозяйства	Содержание мех. примесей до очистки, % масс.		Содержание воды до очистки, % масс.	
1	ООО «Дина», Мордовский район Тамбовской обл.	0,0160		0,0450		7	СХПК «Родина», Мордовский район Тамбовской обл.	0,0470		0,0550	
2	СХПК «Искра», Сампурский район Тамбовской обл.	0,0250		0,0350		8	СХПК «Серп и молот», Мордовский район Тамбовской обл.	0,0120		0,0300	
3	СХПК «Борец», Сампурский район Тамбовской обл.	0,0210		0,0300		9	СХПК «Петровский», Башмаковский район Пензенской обл.	0,0660		0,0200	
4	СХПК «Первомайский», Ржаксинский район Тамбовской обл.	0,0530		0,0600		10	ООО «Славянка», Мордовский район Тамбовской обл.	0,0420		0,0600	
5	ООО «Рассвет», Мордовский район Тамбовской обл.	0,0080		0,0280		11	Оптовый отпуск ПАО «Роснефть» Тамбовской обл.	0,0015		0,0150	
6	ООО «Русь», Мордовский район Тамбовской обл.	0,0090		0,0200		12	Пример образца после очистки	0,0011		0,0065	

Обводненность исходного дизельного топлива практически во всех пробах значительно превосходит допустимые ГОСТ 52368-2005 200 мг/кг топлива (0,02 %).

После очистки во всех пробах дизельного топлива класс чистоты соответствовал минимум 9 – 10, а количество воды составляло не более 50 – 90 мг/кг, что должно обеспечить качественную работу топливной аппаратуры и двигателя любой современной техники.

Для проверки эксплуатационных показателей очищенное дизельное топливо с улучшенными смазывающими свойствами проходило испытание в тракторах СХПК ПЗ – колхоз им. Ленина (Тамбовская обл.), представители инженерных служб которого обращались в ФГБНУ ВНИИТиН с проблемами неудовлетворительного качества приобретаемого топлива.

Тракторы МТЗ – 1221 заправлялись очищенным топливом (таблица 5.5) и выполняли операции вспашки, боронования, культивации, транспортировки. Перед испытаниями проводилась оценка технического состояния тракторов, замена топливных фильтров, определялись значения контролируемых показателей. Спустя 100 часов работы вновь проводился контроль расхода топлива, загрязненности выхлопных газов, состояния и наличия отложений на форсунках (рисунки 5.9, 5.10).

Таблица 5.5 – Физико-химические показатели дизельного топлива до и после очистки и обработки

Показатели	Исходное	После очистки и обработки
Фракционный состав:		
50 % перегоняется при температуре, °С	267	270
90 % перегоняется при температуре, °С	365	360
Кинематическая вязкость при 20 °С, $мм^2/с$	2,1	2,5
Содержание фактических смол, $мг/100см^3$	62	28
Содержание механических примесей, мг/кг	342	9
Содержание воды, мг/кг	525	83
Температура помутнения, °С	–14	–17
Температура замерзания, °С	–26	–29
Массовая доля серы, %	0,2	0,09
Диаметр пятна износа на ЧШМТ, мм	0,43	0,31

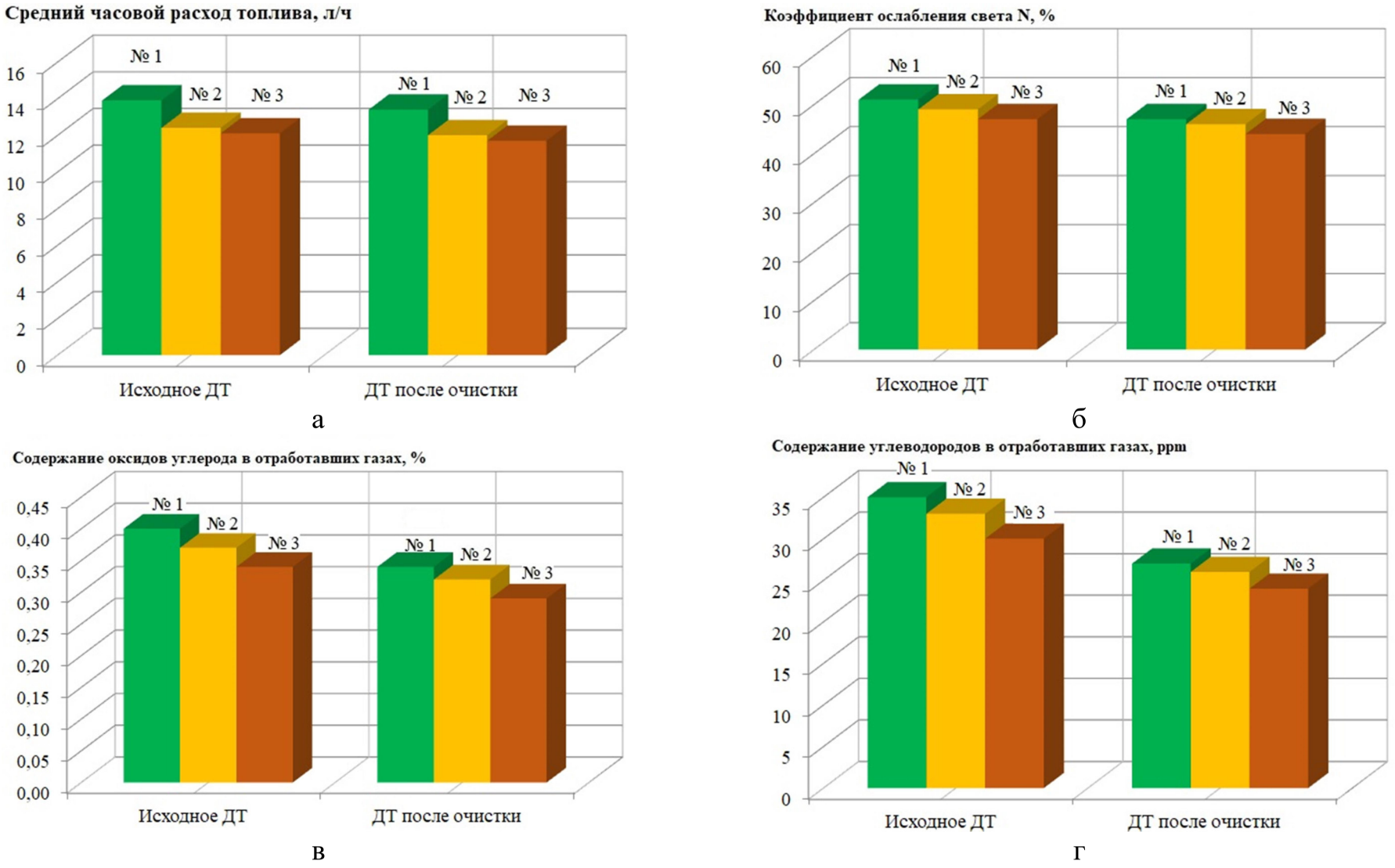
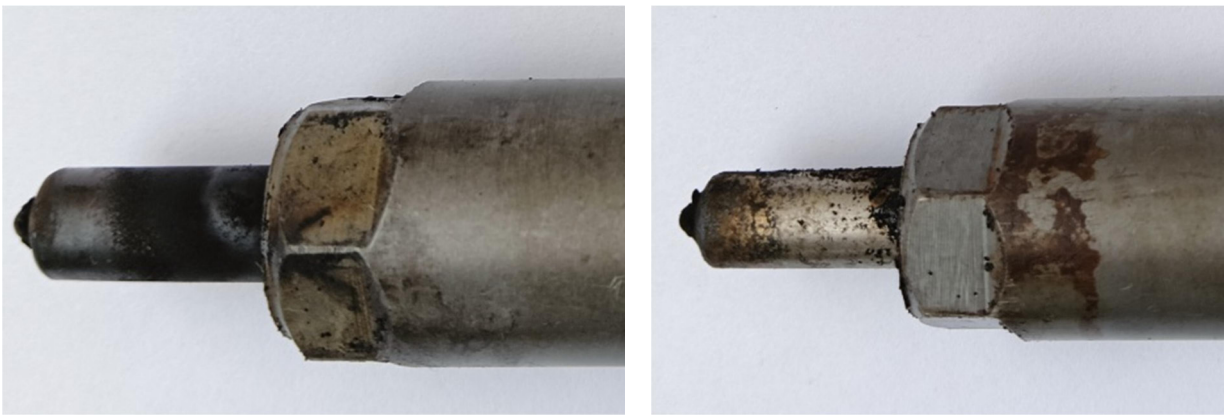


Рисунок 5.9 – Изменение расхода топлива (а), дымности (б) и загрязненности выхлопных газов (в, г) тракторов МТЗ – 1221 (№ 1 – 3), при использовании топлива до и после очистки по разработанной технологии



а) б)

Рисунок 5.10 – Примеры внешнего вида форсунок после 100 часов наработки на исходном (а) и очищенном (б) дизельном топливе

В результате испытаний установлено, что при эксплуатации тракторов на очищенном дизельном топливе с улучшенными смазывающими свойствами расход топлива в среднем снизился на 3,38 %, дымность выхлопа – на 6,78 %. Загрязненность выхлопных газов, по содержанию CO снизилась в среднем на 14,41 %, CH – на 21,36 %.

Таким образом, результаты проведенных испытаний подтверждают эффективность очистки топлива и улучшения его смазывающих свойств по разработанной технологии, позволяющей снижать механические примеси и воду до нормативных требований, а так же увеличить смазывающие свойства очищенного топлива, что положительно сказывается на экономических и экологических характеристиках работы техники на очищенном топливе.

5.3. Технологический процесс получения добавок к дизельному топливу на основе возобновляемого сырья

Как показано в разделе 4, улучшить противоизносные, защитные и противокоррозионные, экологические свойства дизельных топлив и при этом повысив значение цетанового числа можно при использовании добавок из возобновляемого сырья, которые синтезируются по реакции переэтерификации (рисунок 5.11а) из триацилглицеринов, являющихся основным компонентов

жиров растительного или животного происхождения. В результате реакции молекулы триацилглицеринов превращаются в эфиры высших алифатических кислот, имеющие меньшую молекулярную массу, следовательно меньшую плотность и вязкость, чем исходный жир.

Так как исходные реагенты (жир и спирт) практически не смешиваются между собой, то на начальной стадии реакция протекает только в объёме липидной фазы, куда молекулы спиртовой фазы проникают в результате диффузии. Значительный вклад вносит использование катализаторов, позволяющих осуществлять реакцию в относительно мягких условиях – при атмосферном давлении и температурах до 100 °С. Безкаталитические процессы хотя и более предпочтительны, однако вследствии низкой реакционной способности молекул триацилглицеринов могут осуществляться только в сверхкритических условиях (температура 260 –280 °С, давление 15 – 20 МПа).

Наиболее распространенными катализаторами являются метилаты калия и натрия, синтезируемые непосредственно в реакционной массе при взаимодействии метилового спирта с гидроксидом калия или натрия.

Скорость реакции можно повысить если интенсифицировать массоперенос и увеличить степень турбулизации потока. Анализ основных закономерностей протекания и способов проведенияреакции переэтерификации, существующих реакторов для её осуществления (рисунок 5.11б) позволяет сделать вывод о том, что наименее эффективными являются реакторы с механическим перемешиванием (низкая скорость и эффективность перемешивания, образование застойных зон). Разработан ряд реакторов использующих для интенсификации реакции воздействия силовых полей различной природы [36, 441, 442, 452, 453]. Эти устройства позволяют значительно увеличить интенсивность химико-диффузионных процессов и массопередачу в системе «жиры-спирт», создать условия для улучшения растворимости фаз и увеличить площадь контакта фаз за счет интенсивности перемешивания. Увеличение скорости перемешивания разнородных несмешивающихся жидкостей приводит к эмульгированию. При росте скорости перемешивания уменьшается диаметр

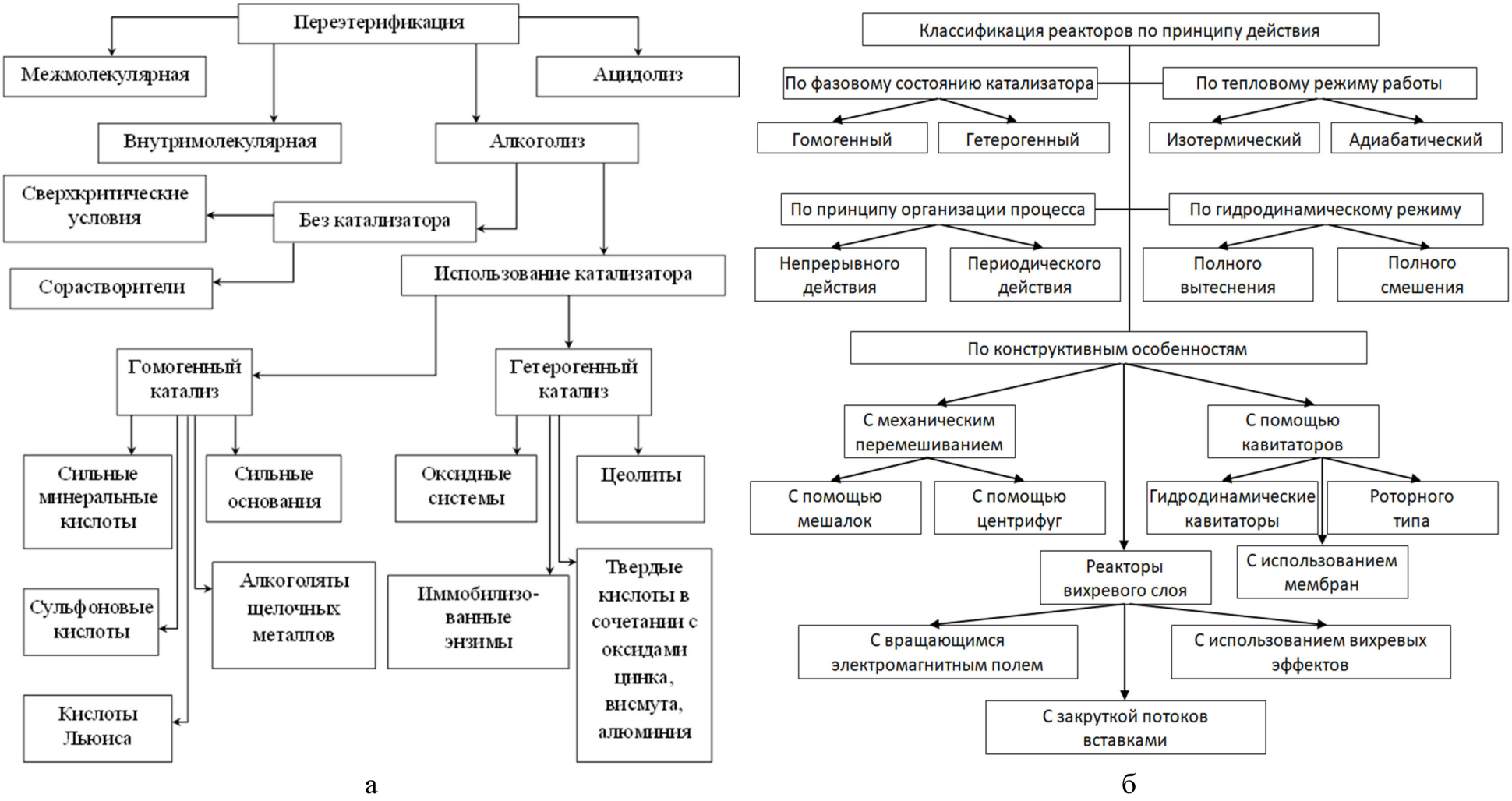


Рисунок 5.11 – Классификация способов проведения реакции переэтерификации (а) и реакторов для её осуществления (б)

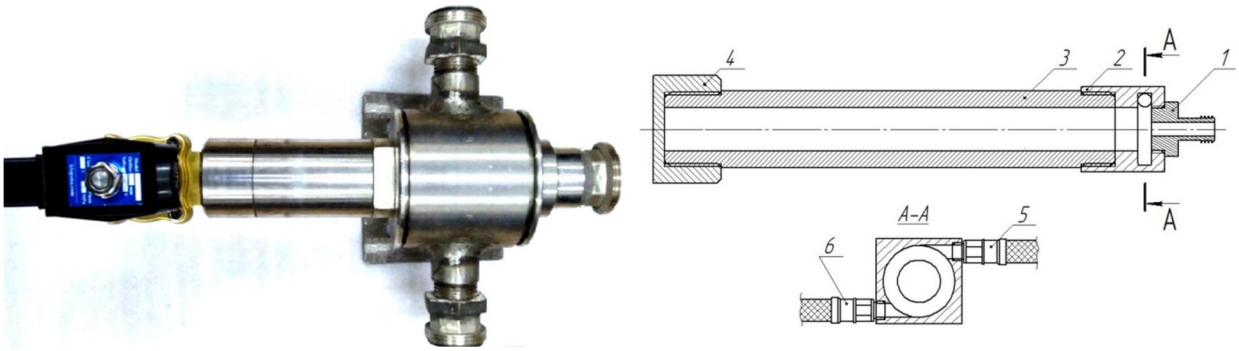
капель эмульсии и, соответственно, возрастает поверхность контакта фаз. При этом поверхность контакта фаз обратно пропорционально зависит от среднего диаметра капель диспергированной жидкости.

Проведённые эксперименты и анализ литературных данных показали, что конверсия жиров в эфиры увеличивается с ростом температуры реакции, соотношения исходных концентраций метанола и масла (избытка метанола) и времени реакции. Эти способы позволяют достигнуть высоких значений конверсии, близких к 100 %, однако влекут за собой увеличение эксплуатационных (электроэнергия) и капитальных (увеличение размеров реактора) затрат при заданной производительности.

Можно выделить следующие недостатки перечисленных реакторов. Это сложность изготовления и сборки, необходимость создания специального контура охлаждения электрических обмоток, ферромагнитные частицы истираются при взаимодействии друг с другом и со стенками реактора, что обуславливает износ реактора и снижение срока его эксплуатации, необходимость установки тонких фильтров.

Наиболее перспективным является применение реакторов на основе вихревого эффекта [470, 524]. В вихревом реакторе интенсификация перемешивания достигается за счёт взаимодействия двух вихрей, которые вдоль оси аппарата движутся навстречу друг другу. Периферийный поток вращается по законам, описывающим движение потенциального вихря. Приосевой поток вращается по законам, описывающим движение квазитвердого тела [525]. Перенос энергии от осевого слоя к периферийному осуществляется, в основном, за счет турбулентных пульсаций. Возможно, что при этом энергообмене возникает турбулентное пульсационное воздействие, которое активирует молекулы исходных реагентов. Это закономерно приводит к увеличению скорости процесса переэтерификации.

Преимуществами данного способа являются: компактность, меньшая энергоёмкость, простота конструкции и обслуживания вихревого аппарата, отсутствие системы охлаждения [524]. На рисунке 5.12 представлен общий вид (а) и схема конструкции (б) разработанного вихревого реактора.



а б

1– диафрагма, 2 – камера, 3 – корпус,
4 – крышка для технологического обслуживания, 5, 6 – патрубки

Рисунок 5.12 – Конструкция вихревого реактора

При исследовании реакции переэтерификации, протекающей в вихревом реакторе, варьировали такие параметры, как концентрация катализатора, температура реакции, содержание воды в спирте и свободных жирных кислот в растительном масле (таблицы 5.6 – 5.10).

Таблица 5.6 – Зависимость характеристик метиловых эфиров подсолнечного масла (МЭПМ) от мольного соотношения «масло – спирт»

Характеристики МЭПМ	Мольное соотношение «масло – спирт»			
	1 : 3	1 : 4	1 : 5	1 : 8
Выход, %	90,6	98,7	98,5	98,0
Плотность (20 °С), кг/м^3	880	880	880	880
Вязкость при (20 °С), мм^2/с	6,86	6,53	6,59	6,62
Объём неочищенных МЭПМ, мл	222	254	258	270
Объём очищенных МЭПМ, мл	220	245	246	248

Таблица 5.7 – Зависимость характеристик МЭПМ от содержания воды в спирте

Характеристики МЭПМ	Содержание воды, % масс.					
	0	0,3	0,8	1,0	1,5	2,0
Выход, %	98,7	98,7	98,6	94,2	92,1	89,6
Плотность (20 °С), кг/м^3	880	880	880	880	880	880
Вязкость при (20 °С), мм^2/с	6,54	6,54	6,57	6,59	6,64	6,71

Таблица 5.8 – Влияние концентрации катализатора на характеристик МЭПМ

Характеристики МЭПМ	Концентрация КОН, % (масс.)				
	0	0,375	0,75	1,1	1,5
Выход, %	20,0	80,2	98,7	98,5	98,2
Плотность (20 °С), кг/м^3	906	884	880	880	880
Вязкость при (20 °С), мм^2/с	29,63	8,08	6,54	6,57	6,59

Таблица 5.9 – Влияние температуры синтеза на характеристики МЭПМ

Характеристики МЭПМ	Температура, °С					
	25	45	50	55	60	65
Выход, %	90,0	98,5	98,5	98,6	98,7	98,1
Плотность (20 °С), кг/м^3	881	880	880	880	880	881
Вязкость при (20 °С), мм^2/с	6,62	6,59	6,57	6,57	6,54	6,56

Таблица 5.10 – Зависимость характеристик МЭПМ от содержания свободных жирных кислот в растительном масле

Характеристики МЭПМ	Содержание свободных кислот, % (масс.)				
	0	1,0	1,5	2,5	3,5
Выход, %	98,7	98,7	98,7	98,6	92,3
Плотность (20 °С), кг/м^3	880	880	880	880	880
Вязкость при (20 °С), мм^2/с	6,57	6,59	6,59	6,59	6,54

Как видно из полученных данных, наилучшие результаты наблюдаются при соотношении 1 моль триацилглицеринов к 4 моль метанола. В этом случае достигается минимальная кинематическая вязкость получаемого продукта. При увеличении доли спирта увеличивается вязкость конечного продукта и содержание спирта в МЭПМ, что приведёт к увеличению энергетических затрат на отделение и регенерацию метанола, не вступившего в реакцию. Увеличение содержания воды в спирте до 0,8 % существенно не влияет на выход и качество продукта.

Чем меньше выход целевого продукта, тем выше содержание в нём непрореагировавших моно- и диацилглицеринов, вследствие этого увеличивается плотность и вязкость МЭПМ, ухудшаются их эксплуатационные характеристики, что ухудшает условия работы топливного насоса высокого давления.

Даже в отсутствие катализатора метанолиз частично проходит, однако выход метиловых эфиров высших карбоновых кислот не превышает 20 %. С ростом концентрации катализатора выход эфиров закономерно увеличивается (вплоть до концентрации 0,75 %). Лучшие значения плотности и вязкости МЭПМ наблюдаются для концентрации катализатора 0,75 %.

Максимальный выход целевого продукта с наилучшим качеством (минимальная вязкость) наблюдается при температуре синтеза 60 °С, однако уменьшение температуры на 15 °С меняет его параметры незначительно. Следовательно, температуру реакции переэтерификации в вихревых реакторах можно снизить до 50 °С. Дальнейшее снижение температуры нецелесообразно из-за значительного снижения выхода целевого продукта и ухудшения его качества.

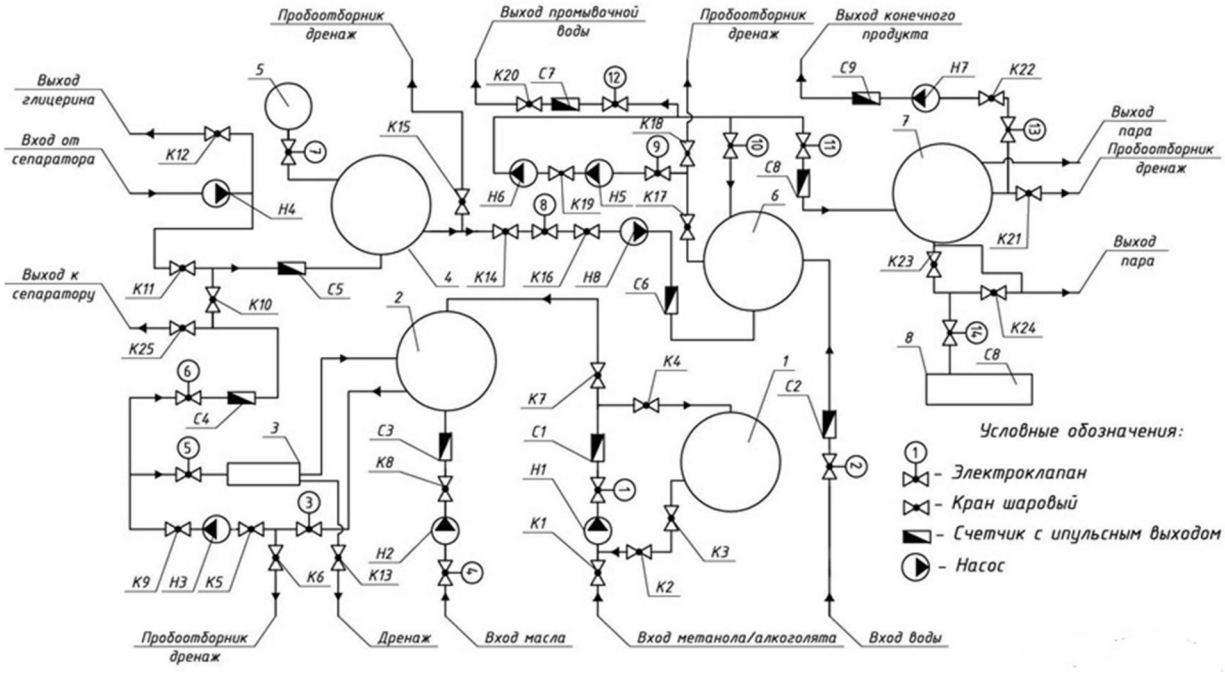
Из полученных экспериментальных данных видно, что в исследуемых условиях можно применять исходные реагенты с более широким диапазоном содержания примесей: количество воды в спирте может достигать 0,8 масс. %, а свободных жирных кислот в маслах – до 2,5 масс. %, что позволяет использовать некондиционные, например, прогорклые или фритюрные масла. Использование масел с большим содержанием свободных жирных кислот или спирта с большим содержанием воды приводит к резкому снижению выхода реакции.

Сравнительные исследования зависимости выхода продукта от времени синтеза показали преимущества разработанного реактора вихревого типа. По сравнению с перемешиванием лопастной мешалкой синтез ускоряется в среднем на 15 минут, что позволяет интенсифицировать процесс на 16 – 25 %, снизить энергоемкость и получать тот же выход при меньшей температуре (примерно на 7 °С). Вихревой реактор обладает рядом конструкционных преимуществ: имеет простую конструкцию, способен выдерживать высокую температуру и давление, отсутствует необходимость осуществлять замену узлов установки.

На основе результатов проведенных исследований был разработан технологический процесс получения биодобавок из жирового сырья и опытно-промышленная установка УБТРМ–600 для его реализации (рисунок 5.13), позволяющая получать метиловые эфиры жирных кислот соответствующее требованиям международного стандарта ГОСТ Р 53605–2009 (ЕН 14214:2003) [86, 441, 442, 452, 453, 526, 527, 528, 529, 530, 531, 532, 533].



а

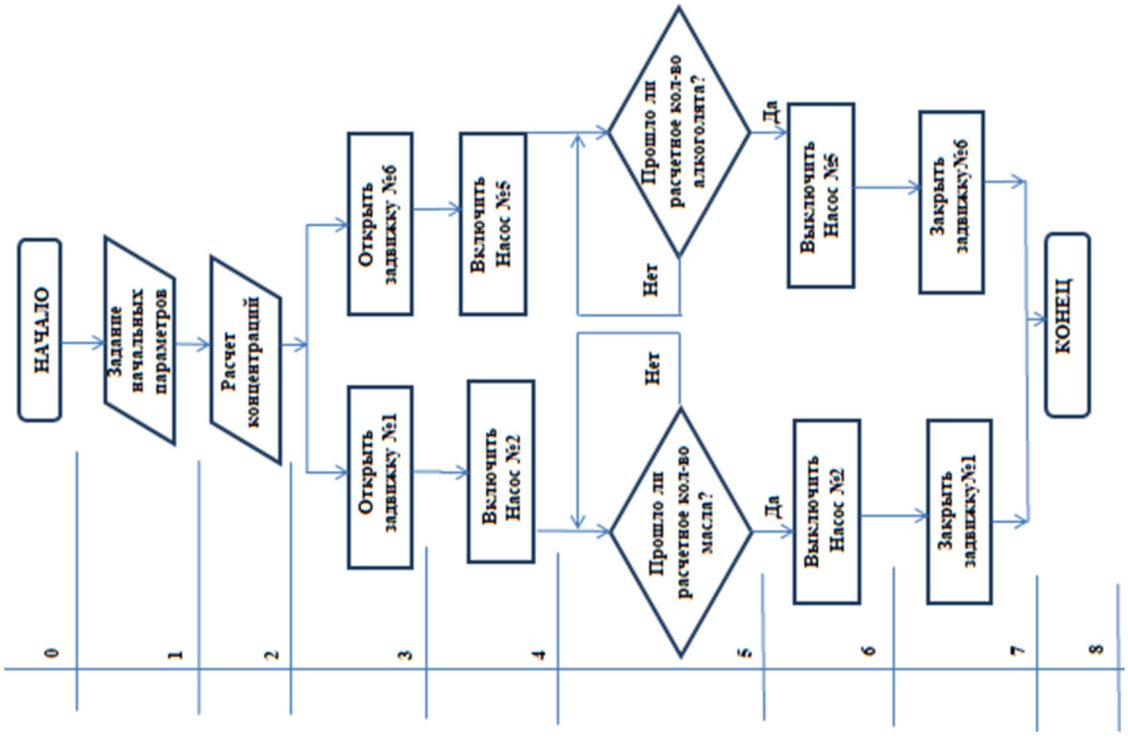


б

1 – емкость для спирта с катализатором; 2 – емкость предварительного перемешивания;
3 – вихревой реактор; 4 – 6 – емкости для трехстадийной очистки;
7 – аппарат для удаления избытка спирта; 8 – компрессор; Н1 – Н8 – насосы;
К1 – К25 – краны; 1 – 14 – электроклапаны; С1 – С9 – счетчики с импульсным выходом

Рисунок 5.13 – Общий вид (а) и принципиальная схема (б)

работы установки УБТРМ–600



0	Начало работы узла подачи исходных веществ
1	Для начала работы блока необходимо ввести начальные параметры. Начальные параметры вводятся в контроллер посредством панели управления, расположенной на щите управления. К начальным параметрам, относится следующее: - количество исходного масла для переработки, кг; - плотность исходного масла для переработки, кг/м^3; - плотность исходного спирта, кг/м^3;
2	На данном этапе блок-схемы ведется расчет необходимых концентраций исходных веществ, согласно предложенному способу. Концентрации далее соответственно будут использованы на этапе 5.
3	На данном этапе блок-схемы, начинается одновременное выполнение двух процессов. Вначале контроллером подается команды на открытие электрических задвижек №1 и №6. Одновременное протекание двух процессов обусловлено, в первую очередь предложенным способом получения БДТ, включающем предварительное смешивание в вихревом аппарате. Во-вторых, с экономией времени работы блока.
4	На данном этапе включаются насосы №2 и №5 для начала подачи исходных веществ в вихревой блок предварительного смешивания. Вместе с этим контроллер начинает считывать сигналы со счетчиков №3 и №4. Погрешность измерения счетчиков, согласно паспорту, +/- 0,2%
5	На данном этапе проводится проверка условий. Условия задаются на этапе 2 (концентрации). Контроллер проверяет прошло ли по счетчикам рассчитанное количество веществ. Погрешность измерения счетчиков, согласно паспорту, +/- 0,2%. Как только по счетчику пройдет расчетное кол-во веществ, программа переходит на этап 6.
6	На данном этапе предусматривается выключение насосов, с целью прекращения подачи исходных веществ в вихревой аппарат предварительного смешивания. Для предотвращения гидравлического удара, это происходит до закрытия запорной арматуры.
7	На данном этапе происходит закрытие запорной арматуры №1 и №6
8	Окончание работы узла подачи исходных веществ

Рисунок 5.14 – Упрощенный алгоритм управления работой узла подачи исходных веществ

Для сокращения времени получения конечного продукта и общих энергозатрат установки разработан алгоритм управления (рисунок 5.14), реализованный в оригинальной системе автоматизации и диспетчеризации, предназначенной для контроля и управления установкой; регулирования технологических параметров на различных этапах процесса; обеспечения экономного потребления тепловой и электрической энергии; мониторинга технологических параметров; обработки и хранения значений контролируемых параметров; оповещения дежурного персонала о возникновении нештатных ситуаций. Все параметры процесса фиксируются соответствующими датчиками и отображаются на экране диспетчерского пульта оператора (рисунок 5.15).



а б

Рисунок 5.15 – Общий вид матричного экрана (а), контроллеров и релейных плат (б) пульта управления установкой УБТРМ–600

Разработанная система позволяет автоматизировать процесс получения метиловых эфиров жирных кислот, что в соединении с инновационной конструкцией вихревого реактора позволяет сократить время процесса (более 20 %), расходы на электрическую энергию (экономия суммарных удельных энергозатрат свыше 10 %), уменьшить габаритные размеры установки и повысить надежность.

Разработанная технология получения добавок к дизельному топливу из возобновляемого сырья, а также установка для её реализации УБТРМ–600 были внедрены в ООО «Калужском инновационном центре энергетического машиностроения» (Приложение А). В ходе испытаний из исходного сырья заказчика (рыжикового и рапсового масла) были получены метиловые эфиры жирных кислот (FAME) (таблица 5.11)

Таблица 5.11 – 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^3	0,880	0,886	0,860 – 0,900
Вязкость, при 40 °С, мм^2/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

Как видно из приведённых данных по всем определенным параметрам синтезированные метиловые эфиры полностью отвечает требованиям ГОСТ и международного стандарта.

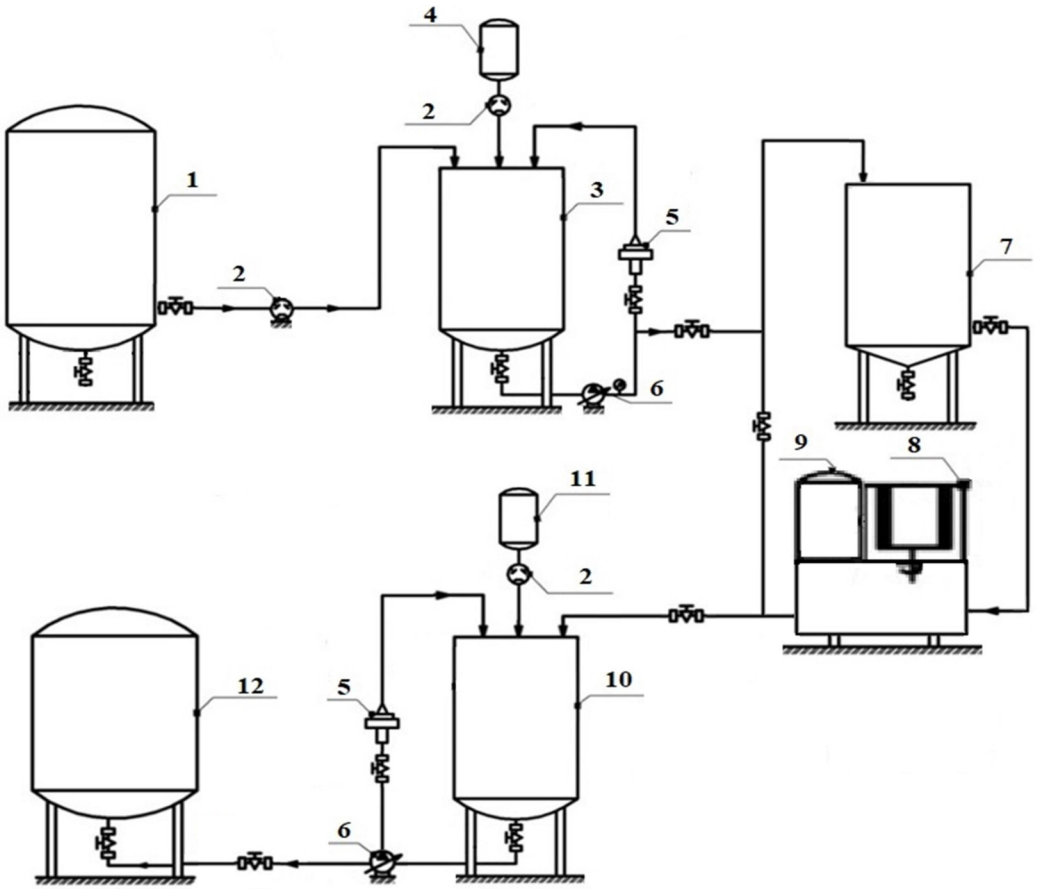
Таким образом, в результате испытаний разработанного технологического процесса для проведения метанолиза жирового сырья с целью получения биодобавок для моторного топлива показано, что использование вихревого реактора на основе эффекта Ранка–Хилша позволяет использовать в качестве сырья растительное масло с содержанием жирных кислот до 2,5 %, метиловый спирт с содержанием воды до 0,8 %, снизить в 1,5 раза по сравнению с известными технологиями концентрацию катализатора и на 15 % температуру реакционной смеси, сократить время реакции на более чем 20 %. Это позволяет создать на его основе производство по получению метиловых эфиров разной мощности в зависимости от потребностей заказчика.

С помощью очистки, удаления воды и механических примесей не всегда можно добиться доведения показателей моторного топлива до норматив-

ных значений. Улучшить их можно путем введения присадок или добавок, например полученных из возобновляемого сырья, по описанной выше технологии. Следует учитывать, что большинство производителей дает собственные рекомендации по условиям смешивания присадок и топлив, например, добавление депрессорных присадок должно производиться при температуре топлива превышающей температуру помутнения минимум на 5 °С. Многие высокомолекулярные соединения при обычных условиях обладают высокой вязкостью и их нужно подогревать перед использованием. Необходимой температурой смешивания по данным многих производителей является температура 40 – 50 °С.

В предыдущем разделе была описана специфика технологического процесса получения на основе возобновляемого сырья одного из компонентов дизельного смесевого топлива – сложных эфиров триглицеридов, важной особенностью которого было использование специально разработанного реактора на основе вихревого эффекта. Использование кавитации вполне оправдано для интенсификации процесса компаундирования нефтяного дизельного топлива и присадок или добавок при приготовлении моторного топлива, как и для предварительной обработки компонентов смесевого топлива, сырья для получения биодобавок [441, 452, 453, 534, 535].

Для реализации разработанного способа очистки и обработки дизельного топлива, обеспечивающего восстановление и улучшение его качества путем механообработки, воздействия акустического поля и химических реагентов [13] экспериментальная установка очистки топлива была усовершенствована новым рабочим узлом – модульным стационарным смесителем-активатором. Его особая конструкция, за счет которой инициируется многофакторное воздействие на проходящую жидкость, защищена патентом РФ № 2775588 [16]. Использование разработанных методов и средств улучшения эксплуатационных и экологических свойств моторных топлив иллюстрируется принципиальной технологической схемой комплексной обработки светлых нефтепродуктов (рисунок 5.16). Технологические карты процессов приведены в Приложении Д.



1 – резервуар для хранения топлива; 2 – насос-дозатор; 3 – емкость для смешивания;
4 – емкость для приготовления раствора реагента; 5 – смеситель-активатор; 6 – насос;
7 – разделительная емкость; 8 – центрифуга с насосом и блоком тонкой фильтрации – 9;
10 – емкость для смешивания с присадкой; 11 – емкость для присадки;
12 – емкость для хранения полученного топлива

Рисунок 5.16 – Принципиальная технологическая схема комплексной обработки светлых нефтепродуктов

Разработанные методы и средства улучшения эксплуатационных и экологических свойств моторных топлив прошли апробацию в сельскохозяйственных предприятиях и фермерских хозяйствах (Приложение А). Процесс получения экологически чистого смесевого моторного топлива для дизельных двигателей в условиях сельскохозяйственного производства был испытан на предприятии ООО «НИЦ ТЕАС–МО», г. Саратов (рисунок 5.17).

Работа сельскохозяйственной техники в полевых условиях на смесевых топливах наблюдалась в ЗАО «АгроГард», КФХ «Наседкин», АОр РТП «Некрасовское» Тамбовской области, фермерском хозяйстве «Своя Ферма» Саратовской области (рисунок 5.18).





Рисунок 5.17 – Фрагменты получения компонентов смесевого топлива на предприятии ООО «НИЦ ТЕАС–МО»





ФХ «Своя Ферма»



КФХ «Наседкин»



АОр РТП «Некрасовское»





ЗАО «АгроГард»

Рисунок 5.18 – Работа тракторов на дизельном и смесевом дизельном топливе в полевых условиях

В процессе полевых испытаний использовались модифицированные моторные дизельные топлива, полученные как в условиях сельхозпроизводителя из собственного сырья (ООО «НИЦ ТЕАС–МО», ФХ «Своя Ферма»), так и смесевые топлива, компоненты которых были получены из сырья, использовавшегося во время испытаний установки УБТРМ–600 (ЗАО «АгроГард»), модульного стационарного смесителя-активатора (КФХ «Наседкин», АОр РТП «Некрасовское»). В процессе испытаний фиксировали экологические и экономические показатели работы тракторов – расход топлива при различных видах работ, дымность, концентрация оксида углерода и несгоревших углеводородов в отработавших газах (рисунки 5.19 – 5.21), также проводились наблюдения за показателями работы топливной аппаратуры до и после испытаний (рисунок 5.22).

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. При этом по абсолютным значениям показатели могут различаться в зависимости от того, какое исходное сырье было использовано для получения биодобавки, однако общая закономерность снижения значений показателей сохраняется. Зафиксировано снижение дымности смесевых топлив на 5 – 30 %, CO – на 14 – 28 %, CH – на 12 – 38 %, по сравнению с ДТ [441, 442, 452, 453, 536, 537, 538, 539, 540].

Эксплуатационные показатели, средний часовой или удельный расход топлива зависят от выполняемых техникой операций и в среднем возрастают с увеличением содержания МЭЖК в смесевом топливе. Так результаты наблюдений работы трактора ЮМЗ – 6Л при пахоте старопаханного поля плугом ПЛН-3-35 показали увеличение удельного расхода топлива до 3,6 % при использовании 40 % смесевого топлива. Вместе с тем, при работе трактора на холостом ходу и движении без нагрузки по одному и тому же маршруту было зафиксировано снижение часового расхода по сравнению с дизельным топливом на 16 – 26 % и 8 – 22 % соответственно.

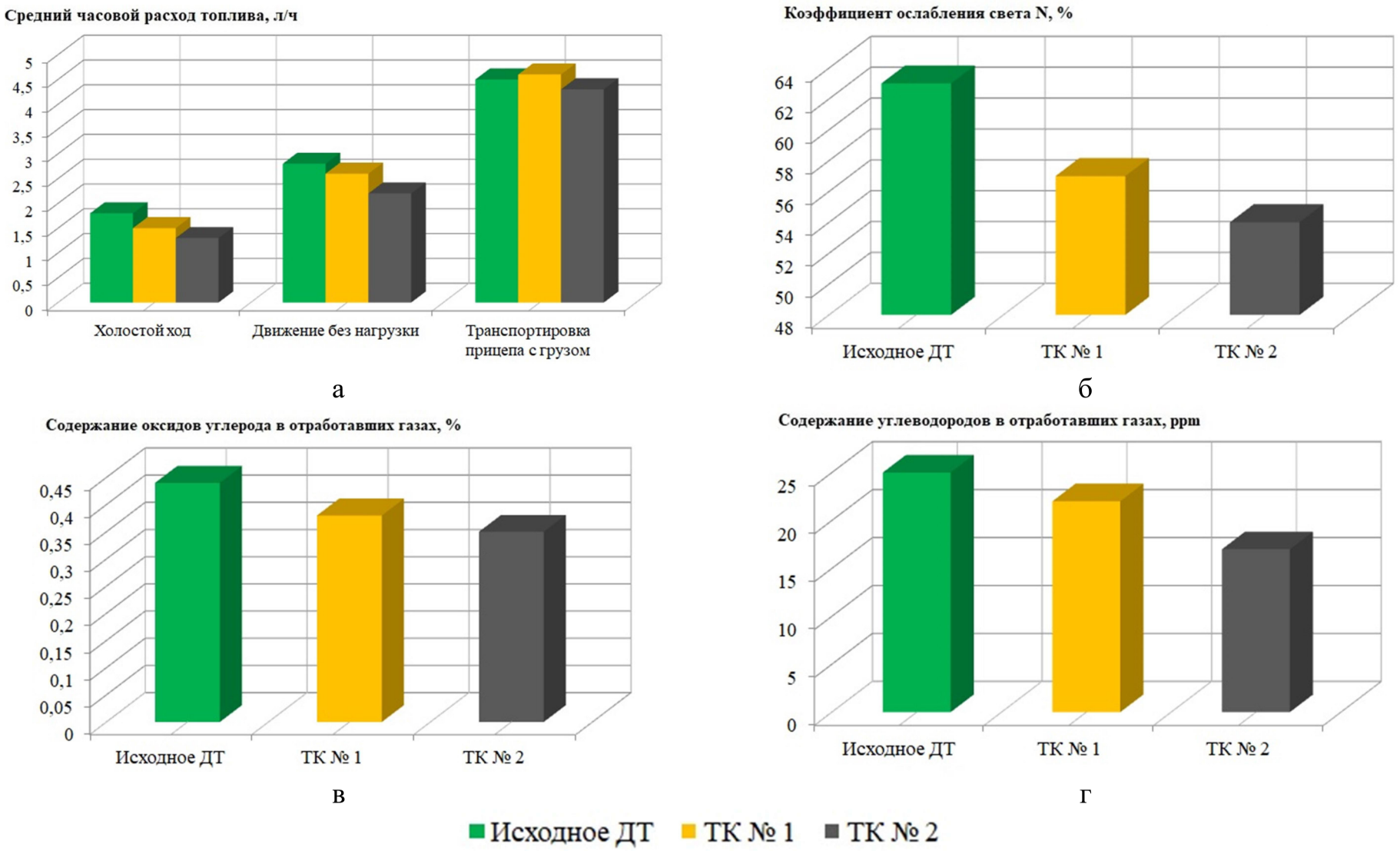


Рисунок 5.19 – Изменение расхода топлива (а), дымности (б) и загрязненности выхлопных газов (в, г) при использовании смесевых топлив из масла Крамбе (ТК № 1) и Редьки масличной (ТК № 2) (трактор МТЗ–80, ФХ «Своя Ферма»)

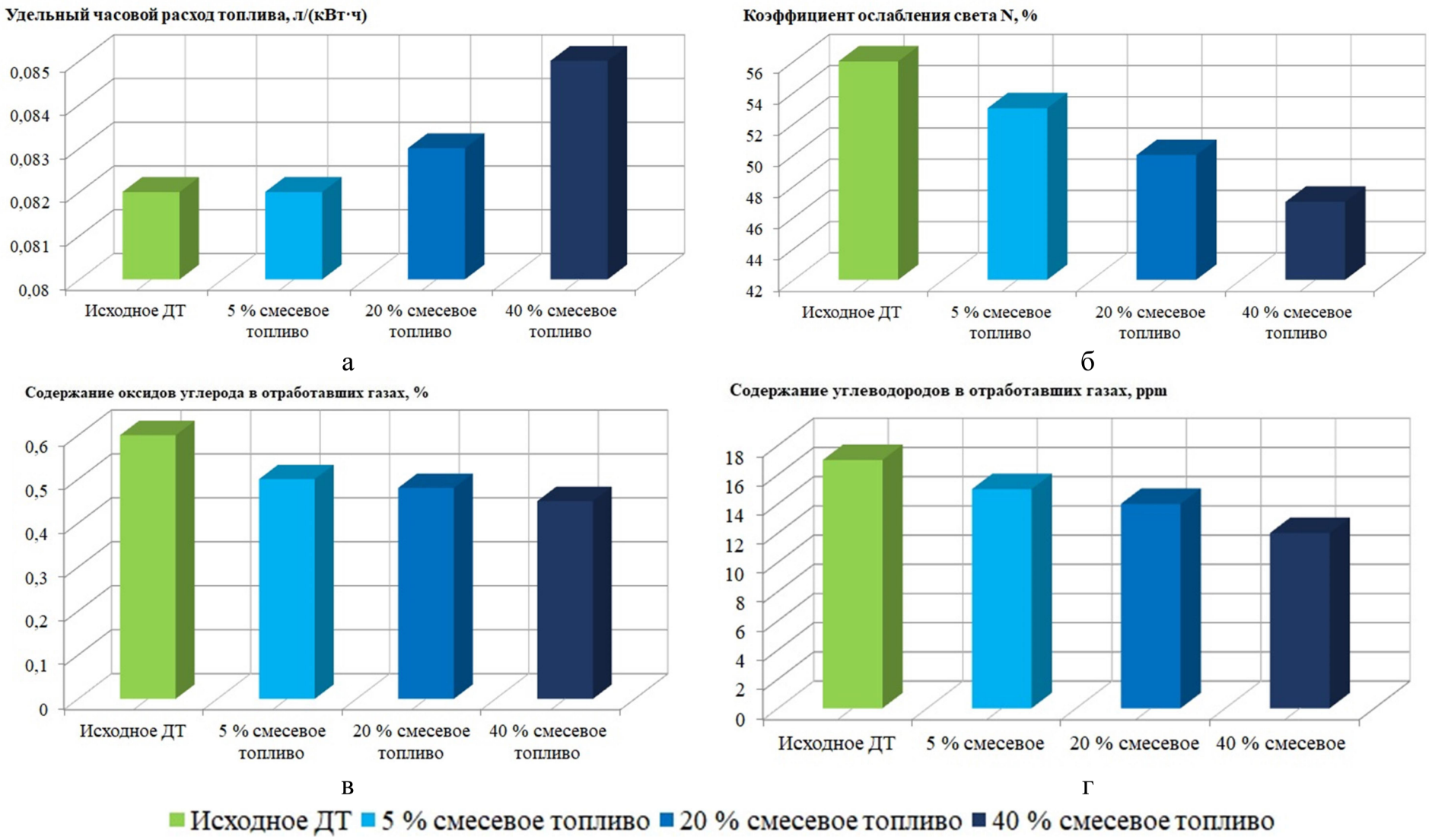


Рисунок 5.20 – Изменение расхода топлива (а), дымности (б) и загрязненности выхлопных газов (в, г) при использовании смесевых топлив из масла Рапса (ЮМЗ – 6Л, КФХ «Наседкин»)

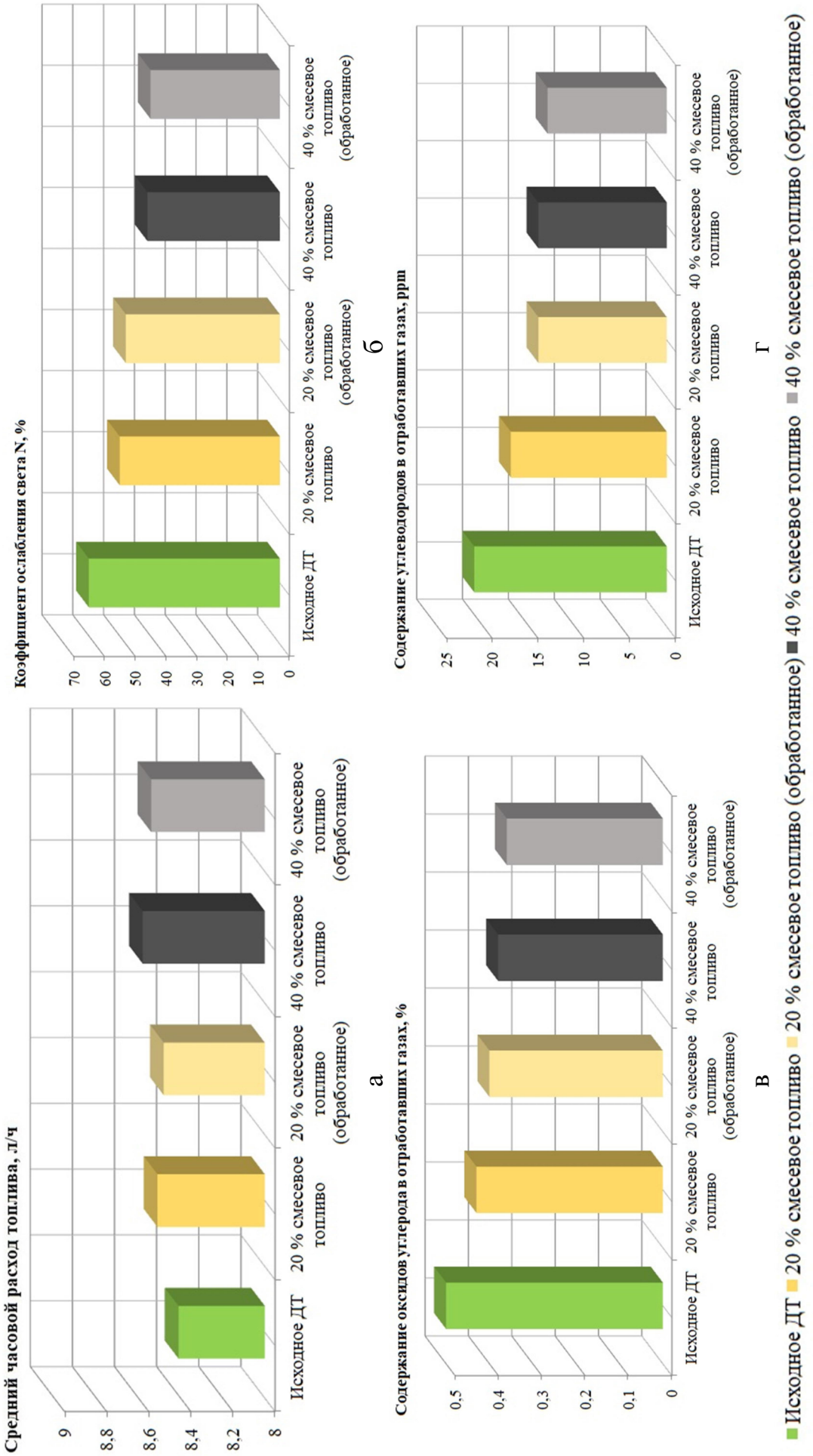
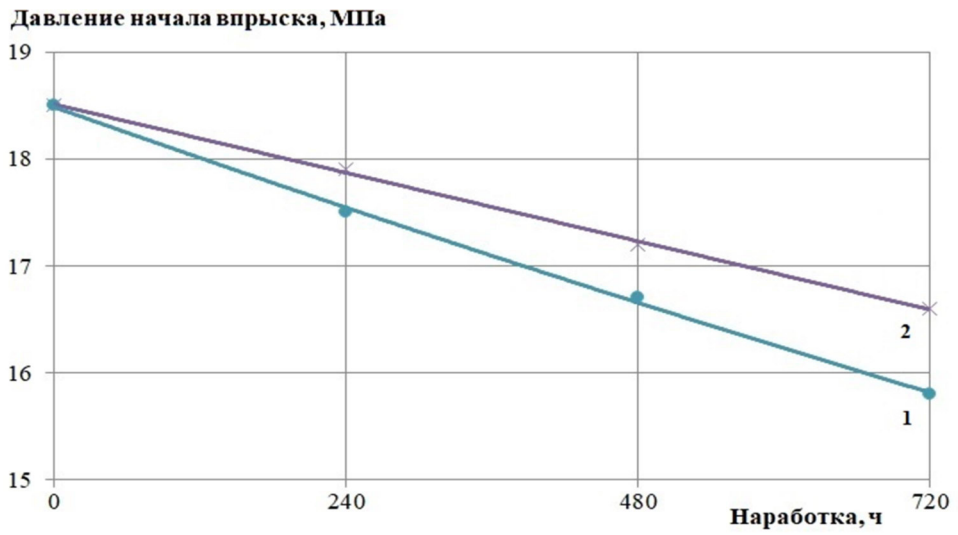
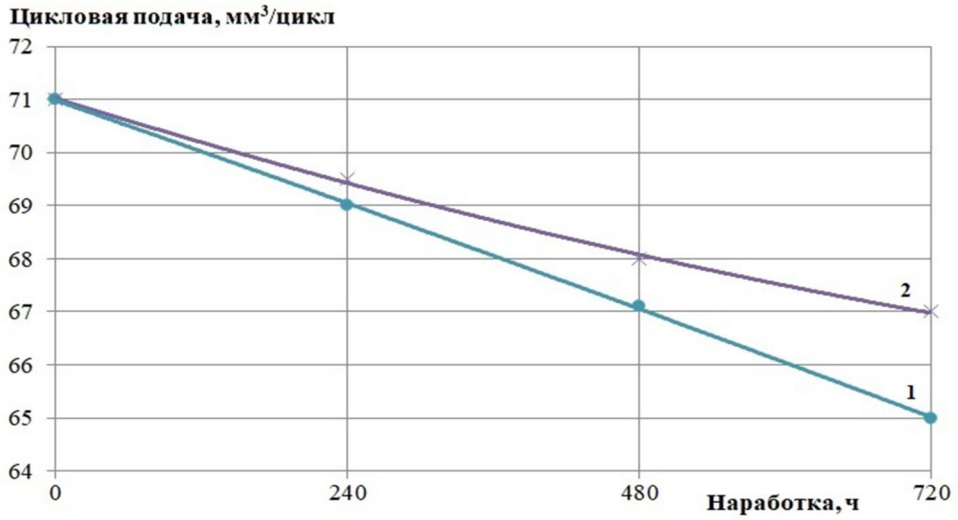


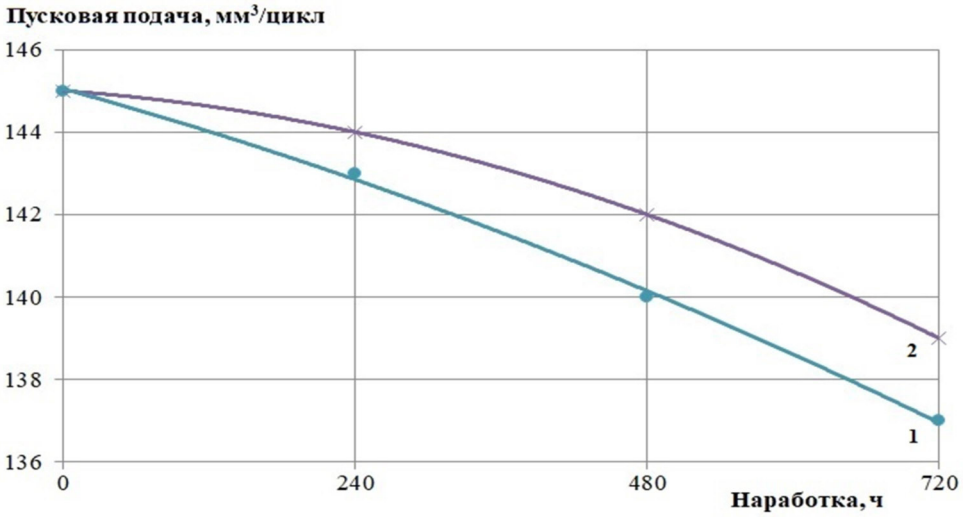
Рисунок 5.21 – Изменение расхода топлива (а), дымности (б) и загрязненности выхлопных газов (в, г) при использовании различных концентраций смесевых топлив из масла Рыжика (трактор МТЗ–80, ЗАО «АгроГард»)



а



б



в

1 – Дизельное топливо, 2 – обработанное дизельное смесевое топливо (80/20)

Рисунок 5.22 – Динамика изменения давления начала впрыска (а), цикловой (б) и пусковой подачи топлива (в) в зависимости от наработки трактора МТЗ–80

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 %.

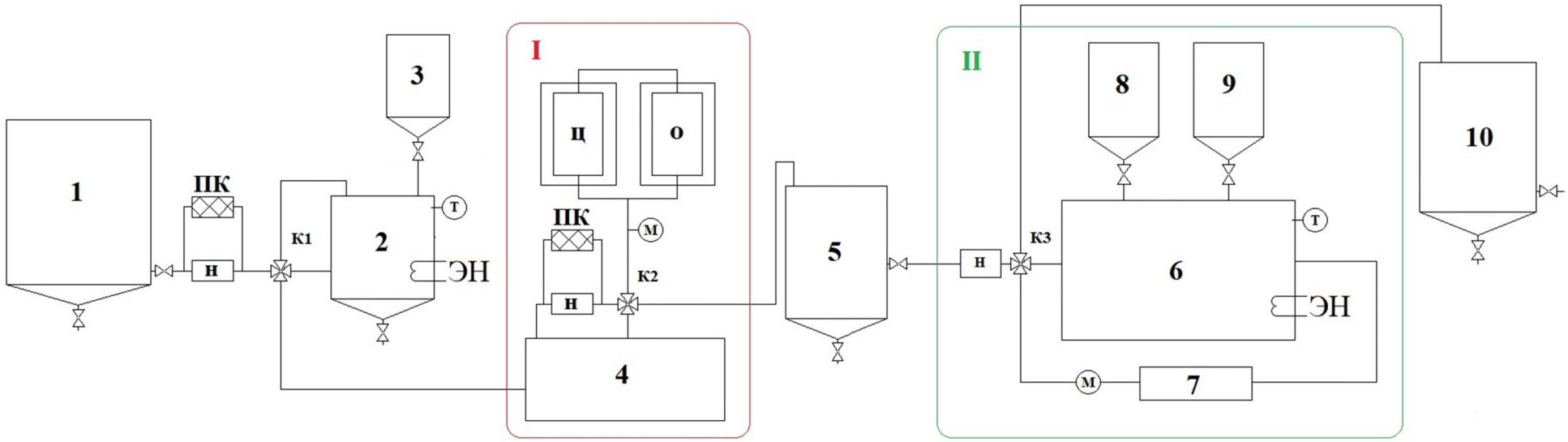
Результаты сравнения изменения характеристик топливных аппаратур тракторов МТЗ-80 при использовании дизельного топлива и дизельного смесевого топлива, состоящего из 80 % дизельного топлива и 20 % метиловых эфиров (рисунок 5.31) показали, что с возрастанием наработки топливной аппаратуры трактора значения ее характеристических показателей снижаются, однако при использовании дизельного смесевого топлива это снижение менее выражено, чем при использовании дизельного топлива, что говорит о положительном влиянии биодобавки на работу топливной аппаратуры.

Таким образом, результаты проведенных полевых испытаний не противоречат результатам лабораторных исследований и стендовых испытаний и подтверждают возможность использования в дизелях смесевых топлив, получаемых с использованием биодобавок на основе некондиционного жирового сырья без негативных последствий. При этом экономические показатели практически не изменяются, а экологические показатели значительно улучшаются по мере увеличения количества биодобавки в дизельном смесевом топливе, по сравнению с дизельным топливом без добавок.

5.4. Разработка и совершенствование методов получения вторичных масел и смазок на базе отходов использования нефтепродуктов и возобновляемого сырья

Получение масел и смазок на базе отходов использования нефтепродуктов может производиться на специализированных участках, организованных на объектах ремонтно-обслуживающих баз сельскохозяйственных предприятий, акционерных обществ, ремонтных заводах или предприятиях других форм собственности [284, 541, 542, 543].

Сбор сырья, отработанного масла, для приготовления масляной основы

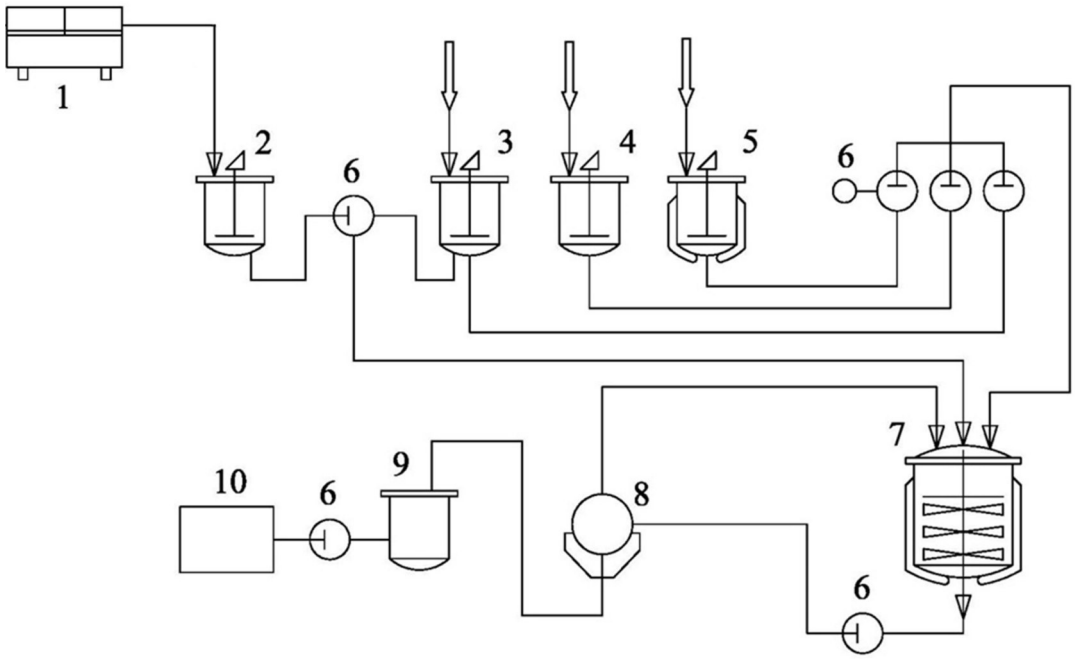


1 – резервуар сбора отработанного масла; 2 – реактор; 3 – резервуар для разделяющего агента;
4 – бак установки УОМ–100; 5 – емкость для масляной основы; 6 – емкость для обогащения основы;
7 – диспергатор-стабилизатор; 8 – емкость для загустителя; 9 – емкость для присадок;
10 – емкость для хранения смазочной 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 5.23 – Принципиальная схема глубокой очистки отработанных масел, загущения и обогащения масляной основы присадками с получением гидравлических и трансмиссионных масел

лучше проводить по группам и маркам с применением специального оборудования и оснастки. Собранное отработанное масло должно храниться в бочках или других закрытых герметичных резервуарах раздельно и периодически по мере накопления направляться на участок приготовления смазочной композиции.

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 приведённым принципиальным схемам (рисунки 5.23 и 5.24) [248, 249, 282, 387, 396, 516, 517, 544, 545]. Технологические карты процессов приведены в Приложении Д.



1 – установка для очистки отработанных масел; 2, 3, 4, 5 – сырьевые емкости;
6 – дозировочные насосы; 7 – реактор с мешалкой; 8 – гомогенизатор-охладитель;
9 – ёмкость-накопитель; 10 – расфасовочная машина

Рисунок 5.24 – Принципиальная технологическая схема получения аналогов пластичных смазок «Солидол Ж» и «Литол–24»

Полевые испытания смазочных композиций аналогов трансмиссионного и гидравлического масел проводились в узлах и агрегатах тракторов МТЗ–80, МТЗ–82.1, ДТ–75М, Т–150К, эксплуатировавшихся в весенне-осенний период в СПК «Комсомолец», ФГУП ПЗ «Пригородный» Тамбовской области.

В качестве экспериментальных масляных композиций (ЭМК) проверку проходили аналог трансмиссионного масла на базе ООМ с добавлением 5 % вязкостной присадки КП–20 и 5 % пакета присадок «Крата ПТМ» – ЭМК–Т, а также аналоги гидравлического масла на базе ООМ с добавлением 5 % ПРМ в качестве вязкостной и противоизносной присадки – ЭМК–Г. Для сравнения использовались товарные масла, закупаемые и применяемые хозяйствами в наблюдаемых тракторах – ТЭп–15, М–8$В_2$, М–8$Г_2$.

Испытания проводились в процессе выполнения машинами транспортных работ, вспашки, боронования. При оценке работоспособности масляных композиций контролировались их рабочие температуры, пенообразование, течи масла и его уровень до и после работы, шумность узлов и агрегатов. После завершения испытаний оценивалось состояние смазываемых механизмов, их дальнейшая работоспособность [284, 515, 546].

Каждые 100 часов наработки отбиралась проба масла для контроля основных физико-химических показателей: содержание железа; кислотное число, кинематическая вязкость. Также по диаметру пятна износа на четырехшариковой машине трения оценивались смазывающие свойства масел в начале и после завершения испытаний. Изменения основных физико-химических показателей испытуемых смазочных композиций сравнивались с данными, полученными для соответствующих товарных масел в тех же узлах и агрегатах наблюдаемых тракторов (таблица 5.12, рисунок 5.25).

Таблица 5.12 – Диаметр пятна износа на четырехшариковой машине трения у наблюдаемых масел в начале и конце испытаний

Наработка, ч	Диаметр пятна износа, мм			
	ТЭп–15	ЭМК–Т	М–8$Г_2$	ЭМК–Г
0	0,28	0,19	0,30	0,25
500	0,45	0,36	0,46	0,26
Марка трактора	ДТ–75М		МТЗ–80	

Оценивая физико-химические показатели испытуемых масел можно отметить, что у товарных масел и экспериментальных смазочных композиций их изменение происходит аналогично.

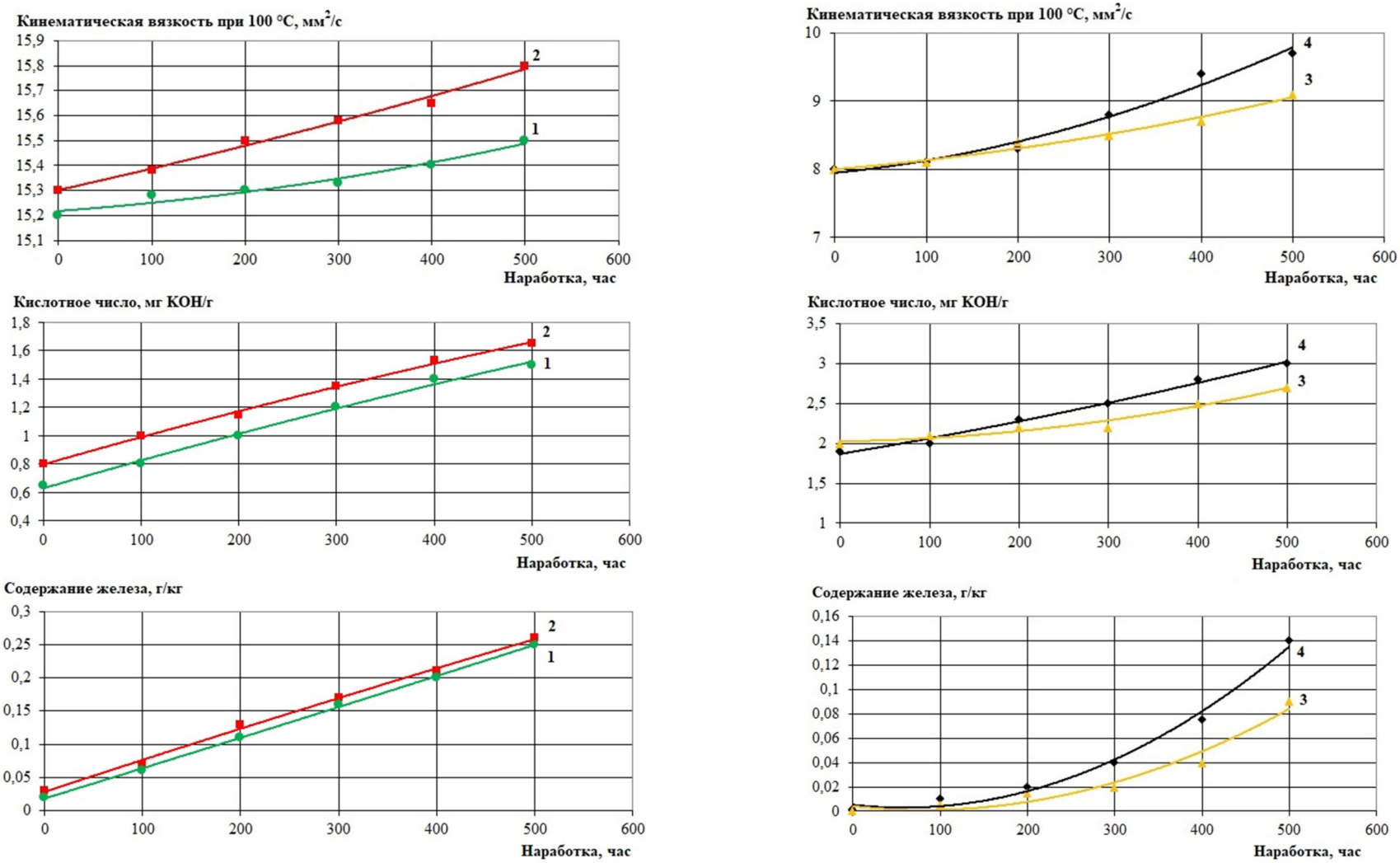


Рисунок 5.25 – Изменение кинематической вязкости (а), кислотного числа (б) и содержания железа (в) экспериментальных композиций ЭМК–Т (1) в сравнении с маслом ТЭп–15 (2) при работе в трансмиссии трактора ДТ–75М (I) и ЭМК–Г (3) в сравнении с маслом М–8Г$_2$ (4) при работе в гидравлической системе трактора МТЗ–80 (II)

В большинстве случаев экспериментальные композиции показывают лучшие значения износных характеристик (диаметр пятна износа, содержание железа) в конце испытаний, чем товарные масла.

По окончании испытаний экспериментальные масла несколько потемнели, их вязкость незначительно увеличилась, смазывающие свойства практически не ухудшились и по своим физико-химическим характеристикам они были пригодны для дальнейшей эксплуатации. Случаев аварийных поломок техники, вызванных используемыми маслами не зафиксировано. Бортовые редукторы и агрегаты гидросистем (насос, гидроцилиндр, распределитель) работали без сбоев, скорость подъема и опускания навесной машины соответствовала техническим характеристикам гидросистемы. Отмечены незначительные пенообразование и нагрев масла, аналогичные товарным маслам. Незначительные подтекания смазки зафиксированы в местах соединений, где в ходе эксплуатации ослабевали крепления. Увеличения шума при работе механизмов гидравлики и трансмиссии не установлено.

В целом, полевые эксплуатационные испытания подтвердили результаты стендовых испытаний и показали возможность использования в качестве работающей жидкости в гидравлике тракторов очищенного отработанного моторного масла с вязкостной и противоизносной присадкой из продукта переработки (полимеризации) растительного масла. В качестве трансмиссионных масел – композиций на базе очищенного отработанного масла с добавлением вязкостной присадки и пакета присадок Крата–ПТМ. Данные композиции, на ряду с товарными аналогами, обеспечивают необходимую работоспособность агрегатов и снижают затраты на их эксплуатацию.

Полевые испытания экспериментальных смазок аналогов Солидол Ж и Литол–24 проводили в узлах трения машин, эксплуатируемых в СХПК ПЗ – колхоз им. Ленина Тамбовской области. В процессе испытаний фиксировались нагрев узла трения и его износ по содержанию железа в смазке (рисунок 5.26).

В узлах с экспериментальной смазкой аналогом Литола–24 на синтетической основе температура была на 5 – 15 % ниже, чем в тех же узлах с товарной смазкой Литол – 24. Содержание железа также было ниже.

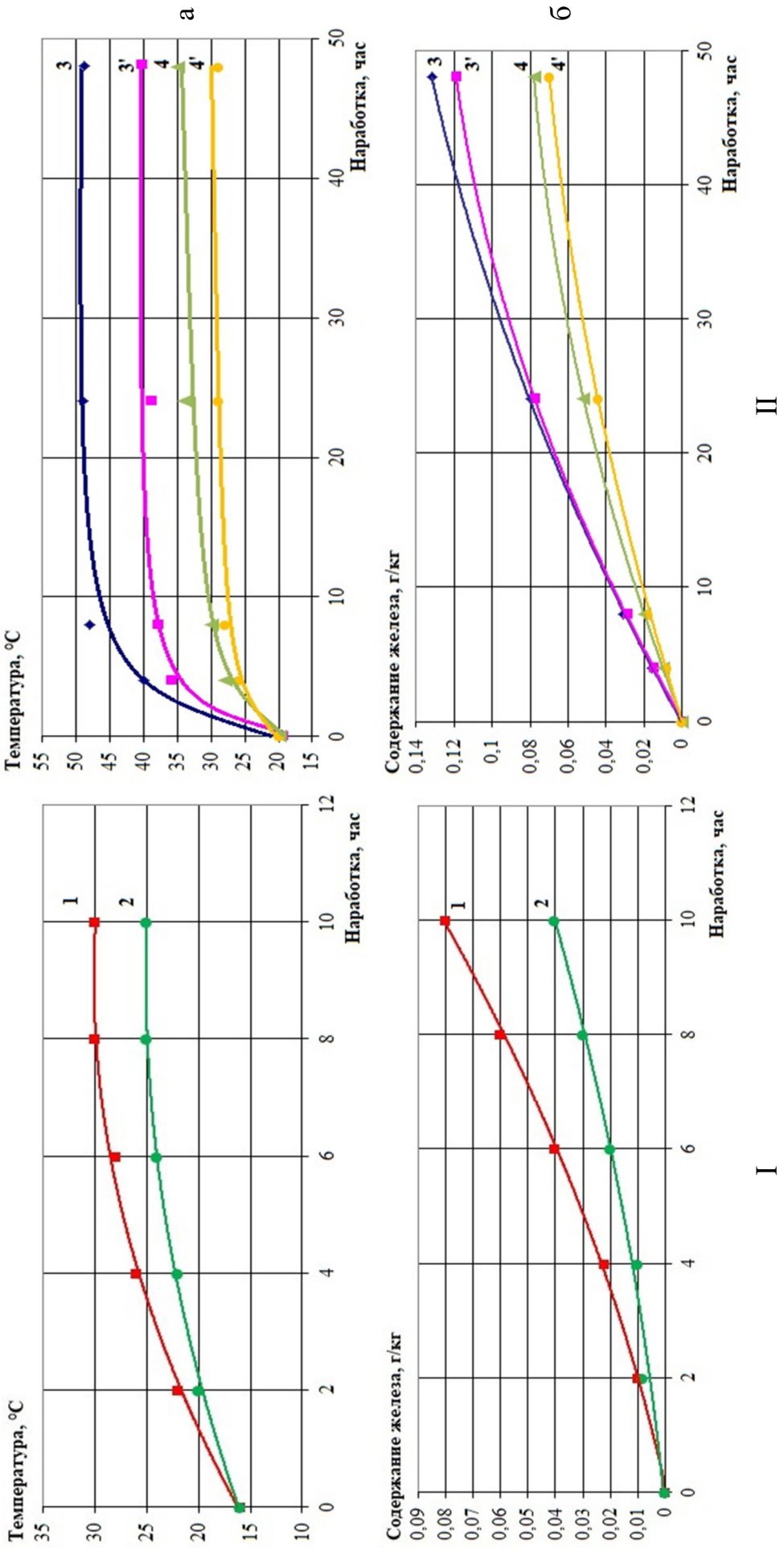


Рисунок 5.26 – Изменение температуры (а) и содержания железа (б) при использовании смазок Солидол–Ж (1) и АССО (2) в опорном подшипнике жатки ЖВН–4.9 (I), при использовании смазок Литол–24 (3, 4) и АЛСО (3’, 4’) в ведомом приводе левого торсиона (3, 3’) и правом подшипнике привода жатки (4, 4’) комбайна Дон 680 М (II)

В целом по результатам испытаний можно утверждать, что образцы экспериментальных смазок по своим трибологическим характеристикам не уступают товарным продуктам и даже превосходят их.

Технологический процесс приготовления вторичных масел апробирован на базе предприятия ООО «Транс Ойл», где был организован участок по приготовлению смазочной композиции аналога трансмиссионного масла (рисунок 5.27, приложение А).



а б

Рисунок 5.27 – Общий вид участка приготовления смазочной композиции аналога трансмиссионного масла (а) и установки для обогащения масляной основы присадками ДСП – 100 (б) на базе ООО «ТРАНС ОЙЛ» (г. Тамбов)

Технологический процесс получения пластичных смазок на базе отработанных масел внедрен на ООО «Завод смазок ПРОМ – ОЙЛ» г. Иваново, ООО «МИПП Энерго Ойл» г. Мурманск (рисунок 5.28, приложение А).



а б

Рисунок 5.28 – Общий вид участка приготовления пластичных смазок на базе ООО «Завод смазок ПРОМ – ОИЛ » (а) и ООО «МИПП Энерго Ойл» (б)

5.5. Выводы

1. 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. Сочетание разработанных методов, технических средств и организационных мероприятий представляет собой организационно-технологическую основу рационального использования нефтепродуктов в условиях предприятий АПК.

2. Разработаны методы и средства совершенствования технологического процесса удаления механических примесей и воды из топлива для дизельных двигателей. Они включают доработку центрифуг широко распространенных средств очистки жидкости типа СОГ до достижения необходимых технологических режимов – доведение оборотов ротора до 9200 об/мин, уменьшение расхода очищаемого топлива до 32 л/мин, что позволяет получить на выходе устойчивое значение чистоты дизельного топлива по 10 классу, при исходной загрязненности по 16 классу (ГОСТ 17216-2001), при этом из дизельного топлива удалялось большинство загрязнений с размерами от 5 мкм и выше.

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.

3. 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. Главным рабочим узлом является стационарный смеситель-активатор особой конструкции, состоящий из нескольких камер, посредством которых инициируется многофакторное воздействие на смесь дизельного топлива и химического реагента. 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 коксуемость 10 % остатка топлива, наблюдалось снижение содержания общей серы (до 50 %), тиофеновых и меркаптановых соединений.

4. Разработан технологический процесс получения биодобавок и экологически чистого смесевого топлива для дизельных двигателей на основе возобновляемого сырья – некондиционных продуктов и отходов масложирового производства. Определены рабочие режимы и параметры, создано оборудование для его осуществления, в котором для ускорения протекания реакций этерификации и переэтерификации используется новый тип реакторов, работа которых основана на вихревом эффекте Ранка-Хилша (УБТРМ – 600).

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

5. Разработан технологический процесс получения аналогов трансмиссионных и гидравлических масел из глубоко очищенных отработанных масел (масляной основы), загущенных и обогащеных присадками, в том числе на основе возобновляемого сырья – полимеризованных и оксидированных фракций растительных масел. Добавление этих 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^2.

Полевые испытания подтвердили возможность использования в качестве

работающей жидкости в гидравлике тракторов очищенного отработанного моторного масла с вязкостной и противоизносной присадкой из продукта полимеризации растительного масла, а в качестве трансмиссионных масел – композиций на базе очищенного отработанного масла с добавлением вязкостной присадки и пакета присадок Крата–ПТМ. Данные композиции, на ряду с товарными аналогами, обеспечивают необходимую работоспособность агрегатов и снижают затраты на их эксплуатацию.

6. 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 противоизносными свойствами.

6. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РЕАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК

6.1. Оценка экономической эффективности внедрения средств экспресс-контроля качества нефтепродуктов

Оценка экономической эффективности использования средств экспресс-контроля качества нефтепродуктов проводились в соответствии с известными рекомендациями путем сравнения затрат с базовым вариантом [547]. Учитывая, что количество некондиционных нефтепродуктов, поступающих в сельскохозяйственные предприятия составляет до 25 %, при этом известно, применение некондиционного топлива приводит к перерасходу топлива до 15 % [548]**.** Внедрение периодического контроля качества топлив и масел может снизить количество аварийных ситуаций, после которых требуется сложный ремонт двигателей или топливной аппаратуры. Исходя из этого годовой экономический эффект от внедрения экспресс-контроля качества нефтепродуктов $Э_{ЭК}$ можно представить как:

$$Э_{ЭК} = Э_1+Э_2+Э_3 – З_{ЭК}, \quad (6.1.1)$$

где $Э_1$ – эффект от уменьшения количества аварийных ситуаций, требующих ремонта двигателя и топливной аппаратуры, $Э_2$ – эффект от снижения времени простоев техники, $Э_3$ – эффект от снижения перерасхода дизельного топлива, $З_{ЭК}$ – годовые затраты на использование средств экспресс-контроля.

Экономический эффект от снижения количества аварийных ситуаций, требующих ремонта двигателя и топливной аппаратуры $Э_1$ можно представить как:

$$Э_1 = k_{ЭК} \cdot (k_{ТО} \cdot К_Р \cdot З_Р) \quad (6.1.2)$$

где $k_{ЭК}$ – коэффициент снижения количества отказов по вине ДВС и топливной аппаратуры, $k_{ТО}$ – коэффициент охвата техническим обслуживанием ДВС и системы питания, $К_Р$ – годовое количество ремонтов и ТО, шт, $З_Р$ – затраты на ремонт, руб.

Экономический эффект $Э_2$ от снижения времени простоев техники, вызванных неисправностью ДВС и топливной аппаратуры в первом приближении можно оценить как:

$$Э_2 = \Delta T_{ПР} \cdot С_П = k_{ЭК} \cdot [k_{ТО} \cdot (1 – К_г) \cdot Н] \cdot С_П \quad (6.1.3)$$

где $С_П$ – стоимость простоя 1 часа, $\Delta Т_{ПР}$ – сокращение времени простоев, $К_г$ – средний коэффициент готовности тракторов, $Н$ – средняя годовая наработка трактора, ч/год.

Исходя из условия, что во время простоя трактора прибыль не получена, а значит и не потеряна, то за час простоя должна быть оплачена часовая ставка тракториста и соответствующие страховые взносы:

$$С_П = С_Т \cdot (1 + СВ) \quad (6.1.4)$$

где $С_Т$ – средняя часовая тарифная ставка тракториста, руб/ч; $СВ$ – коэффициент, учитывающий процент страховых взносов.

Экономический эффект $Э_З$ будет представлять собой несовершенные расходы по покупке сверхнормативного топлива, так как оперативный контроль качества при закупке позволяет заранее выявить некачественное топливо и отказаться от его приобретения:

$$Э_З = Н_Т \cdot R \cdot Ц_{ДТ}, \quad (6.1.5)$$

где $Н_Т$ – объем потребления некондиционного топлива, л/год; R – коэффициент прироста расхода, связанный с использованием некачественного топлива, $Ц_{ДТ}$ – цена топлива, руб/л.

Объем некондиционного топлива $Н_Т$ для одного трактора можно оценить на основе его общего годового расхода – $Р$, л/год:

$$Н_Т = k_{НТ} \cdot Р = k_{НТ} \cdot (G_Т \cdot Н \cdot k_з), \quad (6.1.6)$$

где $k_{НТ}$ – доля некондиционного топлива, $k_з$ – коэффициент среднегодовой загрузки трактора, $G_Т$ – часовой расход топлива, л/ч.

Годовые затраты на использование средств экспресс-контроля качества $З_{ЭК}$ складываются из заработной платы исполнителя и отчислений $З_{ЗПИ}$, затрат на содержание и ремонт оборудования $З_{СР}$ и амортизационных отчислений $З_А$, затрат на электроэнергию $З_Э$:

$$З_{ЭК} = З_{ЗПИ} + З_{СР} + З_А + З_Э. \quad (6.1.7)$$

Затраты на заработную плату исполнителя и отчисления можно вычислить по формуле:

$$З_{ЗПИ} = С_Р \cdot (1 + СВ) \cdot Т_{РВ} \cdot N_р, \quad (6.1.8)$$

где $С_Р$ – средняя часовая тарифная ставка рабочего, руб/ч, $Т_{РВ}$ – годовой фонд ра-

бочего времени, ч, $N_р$ – количество рабочих.

Затраты на содержание и ремонт оборудования $З_{СР}$ и амортизационные отчисления $З_А$ рассчитаем от балансовой стоимости оборудования $БС_{об}$ в первый год использования с учетом годовой нормы отчислений на содержание и ремонт оборудования $О_{СР}$ и годовой нормы амортизационных отчислений $О_А$ с поправкой на фактическое время его работы $Т_{РВ}$ при годовой норме 1973 рабочих часов, исходя из нормальной продолжительности рабочего времени не более 40 часов в неделю (ст. 91 Трудового Кодекса РФ):

$$З_{СР} = \frac{БС_{об} \cdot О_{СР}}{1973} \cdot Т_{РВ}, \quad (6.1.9)$$

$$З_А = \frac{БС_{об} \cdot О_А}{1973} \cdot Т_{РВ}, \quad (6.1.10)$$

Затратами на электроэнергию $З_Э$ можно пренебречь, так как энергопотребление средств экспресс-контроля незначительно.

Капитальные вложения $К$ определяются ценой экспресс-лаборатории $Ц_{ЭК}$ и транспортными расходами $ТР$:

$$К = Ц_{ЭК} + ТР. \quad (6.1.11)$$

Срок окупаемости капитальных вложений $Т_О$, лет:

$$Т_О = \frac{К}{Э_{ЭК}}. \quad (6.1.12)$$

Оценку экономического эффекта проведем на примере трактора МТЗ–80(82) «Беларус». Годовое количество капитальных ремонтов можно определить по формуле:

$$К_{КР} = \frac{Н \cdot N}{А} \quad (6.1.13)$$

где $Н$ – средняя годовая наработка на один трактор, N – количество тракторов данной марки, $А$ – наработка до капитального ремонта.

Количество плановых текущих ремонтов:

$$К_{ТЕК} = \frac{Н \cdot N}{А_{ТЕК}} - К_{КР} \quad (6.1.14)$$

где $А_{ТЕК}$ – наработка до текущего ремонта.

Количество ТО-1, ТО-2, ТО-3 определяется соответственно:

$$K_{TO-3} = \frac{H \cdot N}{A_{TO-3}} - K_{KP} - K_{TEK} \quad (6.1.15)$$

$$K_{TO-2} = \frac{H \cdot N}{A_{TO-2}} - K_{KP} - K_{TEK} - K_{TO-3} \quad (6.1.16)$$

$$K_{TO-1} = \frac{H \cdot N}{A_{TO-1}} - K_{KP} - K_{TEK} - K_{TO-3} - K_{TO-2} \quad (6.1.17)$$

где A_{TO-1}, A_{TO-2}, A_{TO-3} – соответственно наработка до ТО-1, ТО-2, ТО-3.

Количество сезонных ТО:

$$K_{CTO} = 2 \cdot N. \quad (6.1.18)$$

Согласно расчетам по формулам 6.1.13 – 6.1.18 среднее годовое количество ремонтов и ТО (K_P) для одного трактора МТЗ–82 составит 16,8 [549]. Различными исследованиями показано, что до 40 % отказов приходится на двигатель и топливную аппаратуру [549, 551, 552, 553, 554]. По данным [555] прямые затраты на один условный ремонт МТЗ–80 (включая затраты на запасные части и ремонтные материалы, техническое горючее и заработную плату) составляют 25527,17 р, а полная производственная себестоимость одного условного ремонта – 54981,00 р в ценах 2020 г, что в ценах 2025 г с учетом инфляции [556] составит 38732,06 и 83422,00 р соответственно. В связи с этим примем значение коэффициента охвата техническим обслуживанием ДВС и системы питания (k_{TO}) равным 0,4, а также что использование экспресс-методов контроля качества позволяет сократить количество отказов по вине ДВС и топливной аппаратуры вдвое ($k_{ЭК}$ = 0,5) [53].

Исходя из данных [557], технической документации на трактор МТЗ–80 [558] средний коэффициент готовности тракторов ($K_г$) примем равным 0,892, а часовой расход дизельного топлива – 12 л/ч, при коэффициенте среднегодовой загрузки 0,65 и средний годовой наработке 1200 ч.

Среднюю часовую тарифную ставку тракториста (C_T) можно оценить на основе медианной заработной платы, предлагаемой для профессии «Тракторист» в Тамбовской области [559] в 2025 г – 97 814 рублей в месяц при 40 часовой рабочей неделе.

Трудоемкость работ по экспресс-контролю качества топлива и масла на один трактор – 1 чел. ч, что составит 12 чел. ч в год при единоразовом ежемесяч-

ном наблюдении. Средняя часовая тарифная ставку работника, проводящего экспресс-анализ (C_P), определим из установленного законом от 29.10.2024 № 365-ФЗ МРОТ на 2025 год в сумме 22 400 рублей в месяц, при 40 часовой рабочей неделе.

Таблица 6.1 – Исходные данные и основные показатели экономической эффективности от внедрения средств экспресс-контроля качества

№ п/п	Показатель	Обозначение	Значение
1	Годовое количество ремонтов и ТО	K_P	16,8
2	Затраты на ремонт	$З_P$	38732,06 руб
3	Коэффициента охвата техническим обслуживанием ДВС и системы питания	$k_{ТО}$	0,4
4	Коэффициент снижения количества отказов по вине ДВС и топливной аппаратуры	$k_{ЭК}$	0,5
5	Средний коэффициент готовности тракторов	$K_г$	0,892
6	Средняя годовая наработка трактора	H	1200 ч
7	Стоимость дизельного топлива	$Ц_{ДТ}$	71 руб/л
8	Доля некондиционного топлива	$k_{НТ}$	0,25
9	Коэффициент среднегодовой загрузки трактора	$k_з$	0,65
10	Коэффициент прироста расхода, при использовании некачественного топлива	R	15 %
11	Часовой расход топлива	G_T	12 л/ч
12	Средняя часовая ставка тракториста	C_T	611,34 руб/ч
13	Средняя часовая ставка работника	C_P	140,00 руб/ч
14	Коэффициент, учитывающий процент страховых взносов	$СВ$	0,302
15	Количество рабочих	N_p	1 человек
16	Годовой фонд рабочего времени	$T_{РВ}$	12 ч
17	Норма отчислений на содержание и ремонт оборудования	$O_{СР}$	5 %
18	Норма амортизационных отчислений	O_A	14,1 %
19	Цена экспресс-лаборатории	$Ц_{ЭК}$	60000 руб
20	Транспортные расходы	$ТР$	10 % от $Ц_{ЭК}$
21	Годовые затраты на использование средств экспресс-контроля качества	$З_{ЭК}$	2264,03 руб
22	Эффект от уменьшения количества аварийных ситуаций, требующих ремонта двигателя и топливной аппаратуры	$Э_1$	130139,72 руб
23	Эффект от снижения времени простоев техники	$Э_2$	20631,28 руб
24	Эффект от снижения перерасхода дизельного топлива	$Э_3$	24921,00 руб
25	Годовой экономический эффект от внедрения экспресс-контроля качества нефтепродуктов	$Э_{ЭК}$	173427,97 руб
26	Капитальные вложения	$К$	66000 руб

Анализ полученных результатов (таблица 6.1) показывает, что использование в условиях предприятий АПК оборудования для экспресс-контроля качества нефтепродуктов, позволит получить годовую экономию затрат на ремонт в 173427,97 руб для трактора типа МТЗ–80 (82) в ценах 2025 года. Срок окупаемости капитальных вложений – 5 месяцев.

6.2. Оценка экономической эффективности очистки и повышения эксплуатационных свойств дизельного топлива

Экономическая эффективность использования процесса очистки и повышения эксплуатационных свойств дизельного топлива $Э_{ДТ}$ включает в себя эффект от снижения перерасхода дизельного топлива – $Э_1$, эффект от использования дизельного топлива с биодобавкой на основе возобновляемого сырья – $Э_2$, эффект от повышения ресурса топливной аппаратуры – $Э_3$, эффект от снижения времени простоев техники, вызванных неисправностью топливной аппаратуры – $Э_4$:

$$Э_{ДТ} = Э_1 + Э_2 + Э_3 + Э_4. \quad (6.2.1)$$

Если некондиционное топливо закуплено и не используется, то его стоимость представляет собой убытки, так как хозяйство вынуждено будет закупать такой же объем пригодного для использования топлива. Перерасход топлива можно сократить произведя регенерацию некондиционного топлива и вернув его в оборот, тогда экономический эффект будет равен:

$$Э_1 = [2 \cdot Н_Т \cdot Ц_{ДТ}] – [(Н_Т \cdot Ц_{ДТ}) + З_{оч}] = (Н_Т \cdot Ц_{ДТ}) – З_{оч}, \quad (6.2.2)$$

где $Н_Т$ – объем некондиционного топлива, л (формула 6.1.6), $Ц_{ДТ}$ – цена топлива, руб/л, $З_{оч}$ – расходы на очистку и регенерацию, руб, можно представить как:

$$З_{оч} = Н_Т \cdot С_{оч} = Н_Т \cdot \left(\frac{З_{ЗПИ} + З_{СР} + З_А + З_{МДТО} + З_Э}{П_{ДТО} \cdot Т_{РВО}} \right), \quad (6.2.3)$$

где $С_{оч}$ – себестоимость очистки 1 литра топлива, руб/л, $З_{ЗПИ}$ – затраты на заработную плату оператора и отчисления, руб (формула 6.1.8), $З_{СР}$ – затраты на содержание и ремонт оборудования, руб (формула 6.1.9), $З_А$ – амортизационные отчисления, руб (формула 6.1.10), $З_М$ – затраты на материалы, руб; $З_Э$ – затраты на электроэнергию, руб, $П_{ДТО}$ – производительность по очистке и регенерации, л/ч. Годовой фонд рабочего времени на очистку и регенерацию $Т_{РВО}$ найдем из отношения $Н_Т / П_{ДТО}$.

Затраты на электроэнергию $З_Э$ найдем из времени работы оборудования, его мощности и стоимости электроэнергии:

$$З_Э = Т_{РВ} \cdot М \cdot Ц_э, \quad (6.2.4)$$

где $М$ – потребляемая мощность оборудования, $Ц_э$ – тарифная стоимость электро-

энергии.

Так как использование обработанного топлива согласно результатам стендовых испытаний обеспечивает снижение расхода топлива до 5 %, его стоимость также следует включить в экономический эффект:

$$Э_1 = 1{,}05 \cdot (Н_Т \cdot Ц_{ДТ}) - З_{оч} \quad (6.2.5)$$

Экономический эффект от использования дизельного топлива с биодобавкой на основе возобновляемого сырья $Э_2$ можно представить как

$$Э_2 = Р_{ДТ} \cdot Ц_{ДТ} - Р_{ДТБ} \cdot Ц_{ДТБ}, \quad (6.2.6)$$

где $Р_{ДТБ}$ и $Ц_{ДТБ}$ – соответственно расход дизельного топлива с биодобавкой в год, л и его цена, руб/л.

$$Ц_{ДТБ} = К_{ДТ} \cdot Ц_{ДТ} + К_{БД} \cdot С_{БД} = (1 - К_{БД}) \cdot Ц_{ДТ} + К_{БД} \cdot С_{БД}, \quad (6.2.7)$$

где $К_{ДТ}$, $К_{БД}$ – соответственно количество (доля) дизельного топлива и биодобавки в модифицированном (смесевом) топливе, $С_{БД}$ – себестоимость получения биодобавки:

$$С_{БД} = \frac{З_{ЗПИ} + З_{СР} + З_А + З_{МБД} + З_Э}{П_{БД} \cdot Т_{РВБД}}, \quad (6.2.8)$$

где $П_{БД}$ – производительность установки по получению биодобавки, л/ч, $Т_{РВБД}$ – годовой фонд рабочего времени на получение биодобавки, ч.

Экономический эффект от повышения ресурса топливной аппаратуры $Э_3$ можно представить как:

$$Э_3 = Н \cdot \left(\frac{С_1}{РТ_1} - \frac{С_2}{РТ_2}\right), \quad (6.2.9)$$

где $С_1$ и $С_2$ – себестоимость использования трактора, руб, $РТ_1$ и $РТ_2$ – ресурс (срок службы) ТНВД, ч, $Н$ – годовая наработка трактора, ч.

Себестоимость использования трактора рассчитаем как сумму затрат на топливо, которое трактор израсходовал во время срока службы ТНВД ($С_{ТНВД}$), руб. и стоимость нового насоса ТНВД ($Ц_{ТНВД}$), руб:

$$С = С_{ТНВД} + Ц_{ТНВД} = (РТ \cdot G_Т \cdot k_з \cdot Ц) + Ц_{ТНВД}. \quad (6.2.10)$$

Экономический эффект от снижения времени простоев техники, вызванных неисправностью топливной аппаратуры $Э_4$ оценим аналогично предыдущему разделу, формула 6.1.3, капитальные вложения $К$ и срок их окупаемости $Т_о$ определим по формулам (6.1.11) и (6.1.12).

Оценку экономического эффекта проведем на примере трактора МТЗ–80 (82) «Беларус». Исходные данные и результаты предполагаемого экономического эффекта приведены в таблице 6.2.

Таблица 6.2 – Исходные данные и основные показатели экономической эффективности от очистки и повышения эксплуатационных свойств дизельного топлива

№ п/п	Показатель	Обозначение	Значение
1	Стоимость дизельного топлива	$Ц_{ДТ}$	71 руб/л
2	Средняя годовая наработка трактора	H	1200 ч
3	Доля некондиционного топлива	$k_{НТ}$	0,25
4	Коэффициент среднегодовой загрузки трактора	$k_з$	0,65
5	Часовой расход топлива	G_T	12 л/ч
6	Средняя часовая ставка тракториста	C_T	611,34 руб/ч
7	Средняя часовая ставка работника	C_P	140,00 руб/ч
8	Коэффициент, учитывающий процент страховых взносов	$СВ$	0,302
9	Количество рабочих	N_p	1 человек
10	Норма отчислений на содержание и ремонт оборудования	$О_{СР}$	5 %
11	Норма амортизационных отчислений	$О_А$	14,1 %
12	Коэффициента охвата техническим обслуживанием ДВС и системы питания	$k_{ТО}$	0,4
13	Коэффициент снижения количества отказов по вине ДВС и топливной аппаратуры	$k_{ЭК}$	0,5
14	Средний коэффициент готовности тракторов	$К_г$	0,892
15	Стоимость оборудования для очистки и улучшения свойств дизельного топлива	$Ц_{ДТО}$	400000 руб
16	Производительность за смену (8 ч)	$П_{ДТО}$	500 л
17	Мощность, потребляемая оборудованием для очистки и улучшения свойств дизельного топлива	$М_{ДТО}$	6 кВт
18	Годовой фонд рабочего времени на очистку и регенерацию некондиционного топлива	$Т_{РВО}$	37,44 ч
19	Себестоимость очистки 1 литра топлива	$С_{оч}$	8,13 руб/л
20	Стоимость оборудования для получения биодобавки к дизельному топливу	$Ц_{БД}$	600000 руб
21	Транспортные расходы	ТР	10 % от Ц оборудования
22	Производительность за смену (8 ч)	ПБД	400 кг
23	Мощность, потребляемая оборудованием для получения биодобавки к дизельному топливу	МБД	10 кВт
24	Годовой фонд рабочего времени на получение биодобавки к дизельному топливу	ТРВБД	20,8 ч
25	Одноставочный тариф на электроэнергию в Тамбовской области на 2025 год	ЦЭ	5,34 руб/кВт · ч
26	Тариф на воду для прочих потребителей	ЦН2О	39,25 руб /м3
27	Стоимость карбамида	ЦК	85 руб /кг
28	Концентрация раствора карбамида	–	50 %

28	Концентрация раствора карбамида	–	50 %
29	Количество раствора реагента	–	5 %
30	Стоимость некондиционного растительного масла	ЦРМ	37,5 руб/л
31	Стоимость катализатора	ЦКОН	200 руб/кг
32	Стоимость спирта	ЦС	35 руб/л
33	Содержание биодобавки в смесевом топливе	КБД	40 %
34	Количество катализатора	–	2 %
35	Количество спирта	–	20 %
36	Выход реакции	–	90 %
37	Себестоимость получения биодобавки	$С_{БД}$	55,32 р/л
38	Средний ресурс (срок службы) ТНВД	$РТ_1$	2000 ч
39	Стоимость нового насоса ТНВД	$Ц_{ТНВД}$	25000 руб
40	Эффект от снижения перерасхода дизельного топлива	$Э_1$	155418,51 руб
41	Эффект от использования дизельного топлива с биодобавкой на основе возобновляемого сырья	$Э_2$	46519,2 руб
42	Эффект от повышения ресурса топливной аппаратуры	$Э_3$	54072,00 руб
43	Эффект от снижения времени простоев техники	$Э_4$	20631,40 руб
44	Годовой экономический эффект от очистки и повышения эксплуатационных свойств дизельного топлива	$Э_{ДТ}$	276641,11 руб
45	Капитальные вложения	$К$	1100000 руб

Стоимость оборудования для очистки дизельного топлива и приготовления смесевого топлива с использованием биодобавки на основе возобновляемого сырья принимаем 1 млн. руб. В эту цену входит установка для очистки дизельного топлива (400 тыс. руб) производительностью ($П_О$) 500 л за смену (8 ч), реактор вихревого типа для проведения синтеза биодобавки и смешивания компонентов смесевого топлива, емкости для разделения и очистки биодобавки, насосная секция. Производительность по получению биодобавки ($П_{БД}$) до 400 кг в смену. При периодической годовой работе оборудования будет достаточно одного оператора.

Затраты на материалы для очистки $З_{МДТО}$ состоят из затрат на приготовление раствора реагента. Для упрощения расчетов будем использовать водный раствор карбамида в соотношении 1:1.

Затраты на материалы для синтеза биодобавки $З_{МБД}$ включают стоимость сырья – некондиционного растительного масла $Ц_{РМ}$, катализатора – гидроксида калия $Ц_{КОН}$, спирта $Ц_С$, воды $Ц_{Н2О}$, используемой в технологическом процессе, необходимые для получения нужного количества биодобавки, которое рассчитаем на основе общего годового расхода трактором дизельного топлива – $Р$, л/год с учетом желаемого содержания биодобавки в смесевом топливе – $К_{БД}$, %. Количество катализатора и спирта в соответствии с технологическим процессом примем

равными 2 и 20 % от количества сырья соответственно. Выход реакции будем считать 90 %, а необходимое количество воды для промывки равным количеству продукта реакции. Очистку от воды после отстаивания проводим на установке очистки топлива.

Цена некондиционного растительного масла, необходимого для производства биодобавки, в условиях предприятия осуществляющего его производство, равна нулю. Это обусловлено тем, что затраты на сбор масличных культур и отжим масла, включены в себестоимость реализуемого предприятием растительного масла, соответствующего требованиям. Если же у предприятия нет подходящего отработанного масла, то его рыночная стоимость на 2025 находится в диапазоне от 20 до 50 руб/л.

Согласно литературным данным [341, 360, 361, 362, 363, 364, 365, 366, 367, 368, 369, 370, 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377, 377, 379, 380] и результатам испытаний расход топлива при использовании биодобавки обычно несколько возрастает по сравнению с минеральным дизельным топливом, поэтому будем считать, что при использовании смесевого топлива с 40 % биодобавки увеличение расхода составит 2 %.

Анализ литературных данных [173, 187, 487, 560, 561, 562] показывают, что ресурс плунжерной пары составляет 1...4 тыс. мото-ч, а снижение загрязненности топлива и улучшение его смазывающей способности на 10 – 15 % может привести к увеличению ресурса ТНВД в 2 – 10 раз. На основании этого примем, что средний ресурс плунжерной пары PT_1 составляет 2000 ч, а ресурс ТНВД увеличился вдвое, т.е. РТ2 = 2 РТ1. Тогда время простоев в первом приближении сократится в 2 раза.

Тарифы на воду, водоотведение и электроэнергию учитывались в соответствии с приказами Департамента цен и тарифов Тамбовской области [563, 564].

Анализ полученных результатов (таблица 6.2) показывает, что использование в условиях предприятий АПК оборудования для очистки и повышения эксплуатационных свойств дизельного топлива позволит получить годовую экономию затрат в 276641,11 руб для одного трактора типа МТЗ–80 (82) в ценах 2025 года. Срок окупаемости капитальных вложений – 4 года.

6.3. Оценка экономической эффективности получения и использования вторичных продуктов из отработанных масел

Годовая экономическая эффективность от использования вторичных продуктов на основе очищенных отработанных масел – аналогов гидравлических, трансмиссионных масел и пластичных смазок – $Э_{ВП}$ в первом приближении определяется тем, что приготовленные смазочные композиции, при одинаковом с товарными маслами или лучшем уровне начальных эксплуатационных свойств, имеют меньшую стоимость:

$$Э_{ВП} = З_Т - З_А = К_{СМ} \cdot (Ц_Т - С_А), \quad (6.3.1)$$

где $З_Т$ – затраты на товарную смазку, руб; $З_А$ – затраты на аналогичную смазочную композицию, руб, $К_{СМ}$ – необходимое количество смазки, $Ц_Т$ – цена единицы товарной смазки, руб, $С_А$ – стоимость аналогичной смазочной композиции, руб, включающая стоимость получения базового масла $С_{БМ}$ и дисперсной фазы $С_{ДС}$:

$$С_А = С_{БМ} + С_{ДС}. \quad (6.3.2)$$

$С_{БМ}$ и $С_{ДС}$ и учитываемые при их расчетах затраты определяются по формулам, приведенным в предыдущих разделах 6.1 и 6.2.

Оценку экономического эффекта проведем на примере трактора МТЗ–80 (82) «Беларус», для смазки узлов трансмиссии которого требуется порядка 46 л масла ТЭп–15 или ТАД–17, гидросистемы и ГУР – 22 л масла М–8$Г_2$к или М–10$Г_2$к. Периодичность замены смазки в зависимости от наработки – через 960 часов (примерно 1 раза в год) [558, 565].

Нормы расхода горюче-смазочных материалов в процентах к расходу топлива составляют: моторные масла, в том числе для двигателя – 3,5 и 2,3 %, трансмиссионное – 1,0 %, пластичная смазка – 0,06 % [566, 567].

Известно, что свыше 65 % тракторов эксплуатируется с подтеканием смазочных масел, более 35 % — с подтеканием масла из гидравлических систем, более 17 % — из двигателей, до 15 % — из трансмиссий. Расход масел превышает технически обоснованные нормы: для трансмиссионных масел – в 2-3 раза, для гидравлических масел в 2-2,5 раза, моторных масел – в 1,2-1,5 раз [568]. Поэтому при составлении расчетной модели внесем поправку на утечки масла и примем,

что за весь период работы трактора они происходят равномерно. Определим 20 % от заправляемого объема в год на периодический долив и восполнение смазки.

Таблица 6.3 – Исходные данные и основные показатели экономической эффективности получения и использования вторичных продуктов из отработанных масел

№ п/п	Показатель	Обозначение	Значение
1	Средняя годовая наработка трактора	H	1200 ч
2	Коэффициент среднегодовой загрузки трактора	$k_з$	0,65
3	Часовой расход топлива	G_T	12 л/ч
4	Средняя часовая ставка работника	C_P	140,00 руб/ч
5	Коэффициент, учитывающий процент страховых взносов	CB	0,302
6	Количество рабочих	N_p	1 человек
7	Норма отчислений на содержание и ремонт оборудования	O_{CP}	5 %
8	Норма амортизационных отчислений	O_A	14,1 %
9	Стоимость комплекта оборудования для приготовления масляной основы, внесения присадок и приготовления пластичных смазок	$Ц_{МО}$	650000 руб
10	Транспортные расходы	$ТР$	10 % от $Ц_{МО}$
11	Производительность за смену (8 ч) по масляной основе	$П_{МО}$	600 л
	Производительность за смену (8 ч) по АТС	$П_{АТС}$	500 л
12	Производительность за сутки (24 ч) по пластичной смазке	$П_{ПС}$	900 л
13	Суммарная мощность, потребляемая оборудованием	$М_{ОБ}$	6 + 5 +2 кВт
14	Годовой фонд рабочего времени	$Т_{РВ}$	16 ч
15	Концентрация раствора карбамида	–	50 %
16	Количество раствора карбамида	–	5 %
17	Количество загустителя КП–20	–	5 %
18	Количество присадки Крата ПТМ	–	5 %
19	Количество 12-оксистеарата лития	–	20 %
20	Стоимость карбамида	$Ц_К$	85 р/кг
21	Стоимость загустителя КП–20	$Ц_{КП20}$	110 руб / кг
22	Стоимость Крата ПТМ	$Ц_{КПТМ}$	300 руб / кг
23	Стоимость 12-оксистеарата лития	$Ц_{ОСЛ}$	810 руб / кг
24	Стоимость товарного масла М–10$Г_2$к	$Ц_{М\text{-}10}$	155 руб / л
25	Стоимость товарного масла ТЭп–15, ТАД–17	$Ц_{ТМ}$	250 руб / л
26	Стоимость товарной смазки Литол-24	$Ц_{Л24}$	330 руб / кг
27	Одноставочный тариф на электроэнергию в Тамбовской области на 2025 год	$Ц_Э$	5,34 руб/кВт · ч
28	Тариф на воду для прочих потребителей в Тамбовской области на 2025 год	$Ц_{Н2О}$	39,25 руб /м^3
29	Себестоимость очистки 1 литра отработанного масла	$С_{БМ}$	42,35 руб/л
30	Себестоимость 1 литра АТМ	$С_{АТМ}$	70,47 руб/л
31	Себестоимость 1 кг пластичной смазки, аналога ПС	$С_{ПС}$	202,65 руб/кг
32	Годовой экономический эффект от использования вторичных продуктов из отработанных масел	$Э_{ВП}$	36003,91 руб
33	Капитальные вложения	$К$	715000,00 руб

Как показали результаты исследований (раздел 4) очищенное отработанное моторное масло типа М–10$Г_2$к, М–10ДМ можно использовать в качестве гидравлического даже без внесения дополнительных добавок. Тогда себестоимость аналога гидравлического масла $С_{АГМ}$, руб/л можно рассчитать как сумму затрат на очистку отработанного моторного (базового) масла $С_{БМ}$.

В процессе расчетов принималось, что цена отработанного масла в условиях предприятия, осуществляющего его сбор и очистку, равна нулю. Такой подход обусловлен тем, что цена смазочных материалов и затраты на их сбор, которые входят в затраты на проведение технического обслуживания, учитываются при расчете эксплуатационных затрат на содержание техники предприятия и включены в себестоимость выполняемых работ.

Стоимости аналога трансмиссионного масла $С_{АТМ}$, руб/л и пластичной смазки $С_{АПС}$, руб/кг также включают затраты на добавление пакета присадок и получение дисперсной фазы $С_{ДС}$ в соответствие с формулой (6.3.2).

Так как годовые объемы смазочных материалов, приходящиеся на один трактор много меньше производительности оборудования, примем при расчете, что $Т_{РВ}$ = 16 ч – 2 смены работы оборудования.

Анализ полученных результатов (таблица 6.3) показывает, что суммарный экономический эффект от замены гидравлического, трансмиссионного масел и пластичной смазки аналогами на основе очищенного отработанного масла составит 36003,91 руб на 1 трактор типа МТЗ–80. Срок окупаемости капитальных вложений для хозяйства с парком тракторов в 10 шт – 2 года.

6.4. Выводы

1. Использование в условиях предприятий АПК оборудования для экспресс-контроля качества нефтепродуктов, позволит получить годовую экономию затрат на ремонт в 173427,97 руб на один трактор в год.

2. Предлагаемый комплекс мероприятий по восстановлению и улучшению эксплуатационных свойств дизельных топлив, использованию моторных топлив,

модифицированных биодобавкой, позволит сэкономить на прямых эксплуатационных затратах 276641,11 руб на один трактор в год.

3. Экономия эксплуатационных затрат при замене гидравлического, трансмиссионного масел и пластичных смазок аналогами на основе очищенного отработанного масла составит 36003,91 руб в год на 1 трактор.

4. 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 проходит 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^2, 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^2, время обработки 15 – 30 мин), обеспечива-

ющих 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 – оксидированное 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 диэфиры высших алифатических кислот и триэтаноламина, а также оксидированное 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 ± 5 %. При использовании сырья с кислотным числом выше 2 мгKOH/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 ± 3 °С, время реакции 50 – 60 мин,

концентрация серной кислоты 1 % (при кислотном числе ≤ 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 % соотвественно 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 углеводородов.

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 смесевого 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 смесевого 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 количество загрязнений ≤ 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 оксидированные 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, противоизносным 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 тепературу 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, сочетание 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 темпе-

ратура выкипания 95 % топлива снижается до 7 % от исходного значения. Показано, что изменяя время обработки и концентрацию реагента можно добиться практически полной нормализации показателя на коксуемость 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 смесевого топлива для дизельных двигателей на основе возобновляемого сырья – некондиционных продуктов и отходов масло-жирового производства.

Полевые испытания полученного смесевого 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 обогащеных присадками, в том числе на основе возобновляемого сырья –полимеризованных и оксидированных 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^2.

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 противоизносными свойствами.

8. Исследованиями и производственными испытаниями установлено, что использование в условиях предприятий АПК оборудования для экспресс-контроля качества нефтепродуктов, мероприятий по восстановлению и улучшению эксплуатационных 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/см2, 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 % оксидированных 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, углеродные 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 ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. № 2365907 C1 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 ВИИТиН – 6 с.

2. Пат. № 2437923 C1 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.

3. Пат. № 2437924 C1 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.

4. Пат. № 2477303 C1 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.

5. Пат. № 2484462 C1 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.

6. Пат. № 2529857 C1 Российская Федерация, МПК C10M 101/02, C10M 129/26, C10M 159/04. Пластичная смазка для тяжелонагруженных 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.

7. Пат. № 2529858 C1 Российская Федерация, МПК C10M 175/00, C10G 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.

8. Пат. № 2537297 C1 Российская Федерация, МПК C10M 175/00, C10M 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.

9. Пат. № 2554357 C1 Российская Федерация, МПК C10M 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.

10. Пат. № 2556215 C1 Российская Федерация, МПК C10M 117/02, C10M 125/02, C10M 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.

11. Пат. № 2556221 C1 Российская Федерация, МПК C10M 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.

12. Пат. № 2556641 C1 Российская Федерация, МПК C10M 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.

13. Пат. № 2645676 C1 Российская Федерация, МПК C10G 27/12, C10G 32/02, B01J 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.

14. Пат. № 2751698 C1 Российская Федерация, МПК C11C 3/04, B04C 5/04, C07C 67/02. Способ этерификации и переэтерификации 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.

15. Пат. № 2764085 C1 Российская Федерация, МПК C10M 117/02, C10M 125/02, C10M 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.

16. Пат. № 2775588 C1 Российская Федерация, МПК B01F 33/80, B01F 27/721, B01F 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.

17. Прогноз научно-технологического развития агропромышленного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года / Минсельхоз России; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – М.: НИУ ВШЭ, 2017. – 140 с.

18. Распоряжение Правительства РФ от 9 июня 2020 г. № 1523-р «Об Энергетической стратегии РФ на период до 2035 г» [Электронный ресурс]. – URL: http://government.ru/docs/all/128340/ (дата обращения 15.06.2020).

19. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 г. № 1715-р «Об Энергетической стратегии РФ на период до 2030 г» [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/902187046 (дата обращения 15.06.2020).

20. Научные основы нефтепродуктообеспечения в сельском хозяйстве / Н.Н. Пуляев, О.В. Виноградов, А.С. Карелина, Ю.С. Коротких. – М.: ООО «Автограф». – 2017. – 120 с.

21. Сазонов С.Н. Структура и динамика затрат в фермерских хозяйствах. // Экономика: вчера, сегодня, завтра. – 2018. – Том 8. – № 8А. – С. 112 – 120.

22. Андрианов В. Рынки дизельного топлива. Все лучшее – на экспорт, себе – бодягу? // Нефтегазовая вертикаль. – 2015. – № 9. – С. 60 – 65.

23. Нефтепереработка в России: курс на модернизацию. Ernst & Young. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/EY-downstream-in-russia-course-to-modernization/%24File/EY-downstream-in-russia-course-to-modernization.pdf (дата обращения 14.03.2016).

24. Левченко Л.В., Иванова Н.И. Перспективы развития российского нефтяного комплекса в контексте мировой экономики // Вопросы экономики и права. – 2015. – № 8. – С. 57 – 62.

25. Чекмарев П.А. О состоянии машинно-тракторного парка, совершенствовании работы инженерно-технических служб АПК и задачах в рамках реализации Госпрограммы на 2013 – 2020 годы [Электронный ресурс]. – URL: http://irkobl.ru/sites/agroline/02_Chekmarev_31_01_Итог_.pdf (дата обращения 04.12.2020 г).

26. Яркин А.В., Левитин Р.Е., Трясцин Р.А., Осташков Д.В. О качестве топлива на автомобильных заправках / В сборнике «Нефть и газ. Новые технологии в системах транспорта»: матер. регион. науч.-прак. конф. – 2004. – С. 162 – 164.

27. Топливо и смазочные материалы / В.В. Остриков, А.М. Лопатин, Н.В. Бышов [и др.]. – Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2005. – 220 с.

28. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / Т.К. Уразгалеев, В.В. Остриков, В.П. Коваленко [и др.]. – Уральск: Западно-Казахстанский аграрно-технический университет, 2011. – 380 с.

29. Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Ерохин И.В. К вопросу качества нефтепродуктов, используемых в сельском хозяйстве // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 3 (13). – С. 178 – 181.

30. Богданов В.С., Пуляев Н.Н., Коротких Ю.С. Обеспечение качества топливно-смазочных материалов при хранении – резерв повышения ресурса машин в АПК. – М.: ООО «УМЦ «Триада» – 2014. – 234 с.

31. Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Алибаев Б.Т. Анализ причин снижения качества топлив, используемых отечественными сельскохозяйственными предприятиями. / В сборнике: Повышение эффективности и экологические аспекты использования ресурсов в сельскохозяйственном производстве. – 2016. – С. 117 – 122.

32. 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.

33. Корнев А.Ю., Бектилевов А.Ю., Алибаев Б.Т. Причины снижения качества светлых нефтепродуктов, используемых в сельском хозяйстве // Наука в центральной России. – 2016. – № 4 (22). – С. 15-26.

34. 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

35. 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.

36. Разработать экологически безопасный энергоэффективный метод хранения моторного (нефтяного и биологического) топлива: отчет о НИР АААА-А16-116120510026-7 (промежуточный) / Корнев А.Ю., Романцова С.В., Бусин И.В. [и др.]. – Тамбов: ФГБНУ ВНИИТиН, 2016. – 152 с.

37. Министерство энергетики Российской Федерации. Открытые данные. Производство первичных топливно-энергетических ресурсов [Электронный ресурс]. – URL: http://minenergo.gov.ru/opendata/7705847529-merf-000-05 (дата обращения 24.03.2016).

38. Современное состояние производства низкозастывающих дизельных топлив на заводах России / Т.Н. Митусова, В.А. Хавкин, Л.А. Хавкин [и др.] // Мир нефтепродуктов.– 2012. – № 2. – С. 6 – 8.

39. Боровиков Ф. Страна просит хорошего топлива // Нефть и жизнь. 2014. – № 2 (86). – С 6 – 7.

40. Коровина Ю.В. Причины и факторы сохранения производства и потребления низкокачественного топлива в РФ [Электронный ресурс]. – URL: https://www.hse.ru/edu/vkr/123724259 (дата обращения 17.03.2016).

41. Рынок моторного топлива России [Электронный ресурс]. – URL: https://www.omt-consult.ru/markets/motornoe-toplivo/rynok-motornogo-topliva-rf (дата обращения 27.11.2023).

42. Россия напряженно переходит на зимний дизель. Обзор [Электронный ресурс]. – URL: https://www.interfax.ru/business/928009 (дата обращения 27.10.2023).

43. Криничная Е.П. Рынок сельскохозяйственной техники в России: современное состояние и тенденции развития // Вестник аграрной науки. – 2022. – № 6 (99). – С. 110 – 118.

44. 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.

45. 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.

46. Контроль качества моторных масел. / В.В. Остриков, А.Ю. Корнев, В.С. Вязинкин, В.В. Белогорский // Сельский механизатор. – 2009. – № 3. – С. 28 – 29.

47. Экспресс-контроль качества моторных масел при эксплуатации сельскохозяйственной техники / В.П. Коваленко, Е.А. Улюкина, А.С. Новик [и др.] // Известия Международной академии аграрного образования. – 2013. – Т. 4, № 16 – С. 140 – 143.

48. Анализ качества смазочных материалов. / В.В. Остриков, А.Ю. Корнев, В.С. Вязинкин, В.В. Белогорский // Сельский механизатор. – 2009. – № 5. – С. 37.

49. Остриков В.В., Белогорский В.В., Корнев А.Ю. Использование смазочных материалов в АПК и контроль их качества. // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. – № 6. – С. 40 – 43.

50. Разработать предложения по повышению качества контроля товарных и работающих масел в условиях предприятий АПК: отчет о НИР 09.03.07.05 (промежуточный) / Остриков В.В., Тупотилов Н.Н., Корнев А.Ю. [и др.]. – Тамбов: ГНУ ВИИТиН, 2007. – 105 с.

51. Изучить качество приобретенных и использованных в АПК смазочных материалов для разработки проекта технологии их оперативного контроля: отчет о НИР 09.03.07.05 (промежуточный) / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Белогорский В.В. [и др.]. – Тамбов: ГНУ ВИИТиН, 2008. – 135 с.

52. Разработать технологию эффективного использования смазочных материалов за счет организации контроля качества приобретаемых и работающих масел и замены их по фактическому состоянию: отчет о НИР 01201050940 (заключительный) / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Белогорский В.В. [и др.]. – Тамбов: ФГБНУ ВНИИТиН, 2009. – 152 с.

53. Белогорский В.В. Повышение эффективности экспресс-методов и средств контроля качества моторных масел: дисс ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Белогорский Владимир Васильевич. – Мичуринск-Наукоград, 2009. – 187 с.

54. 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.

55. Специальные мероприятия по сохранению качества нефтепродуктов [Электронный ресурс]. – URL: http://ros-pipe.ru/clauses/spetsialnye_meropriyatiya_po_sokhraneniyu_kachestv/ (дата обращения 15.05.2016).

56. Нефтепродукты: Свойства, качество, применение (Справочник) / Под ред. проф. Б.В. Лосикова. – Москва: Химия, 1966. – 776 с.

57. Большаков Г.Ф. Восстановление и контроль качества нефтепродуктов. – Ленинград: Недра, 1974. – 320 с.

58. Бусин И.В. Очистка работающего моторного масла от продуктов старения: дис. … канд. техн. наук: 05.20.03 / Бусин Игорь Вячеславович. – Мичуринск, 2014. – 196 с.

59. Даюб М. Рациональное использование отработанных смазочных масел в Сирийской Арабской республике: дис. … канд. техн. наук: 05.17.07 / Даюб Марван. – Москва, 1996. – 170 с.

60. Юзефович В.И. Регенерация отработанных смазочных масел и законодательство ЕЭС в этой области // Мир нефтепродуктов. – 2003. – № 2. – С. 45 – 46.

61. Остриков В.В., Коновалов В.И. Интенсификация обезвоживания отработанных масел при регенерации // Химия и технология топлив и масел. – 1998. – № 4. – С. 31 – 32.

62. Евдокимов А.Ю., Фалькович И.М., Бунеев И.Н. Старение и регенерация синтетических масел // Химия и технология топлив и масел. – 1990. – № 3. – С. 36 – 39.

63. Фукс И.Г., Евдокимов А.Ю., Осипов М.В. Утилизация отработанных пластичных смазок // Химия и технология топлив и масел. – 1989. – № 1. – С. 45 – 47.

64. ФОС – Фильтр Открытый Скорый [Электронный ресурс]. – URL: https://www.pesio.ru/FOS.M00.htm (дата обращения 13.05.2024).

65. Фильтрация «Априс»: очистка нефтепродуктов [Электронный ресурс]. – URL: https://press-release.ru/branches/oil/476a443f7772a/?ysclid=mj9n1nqftc656096112 (дата обращения 13.05.2024).

66. Машиностроительное предприятие Винета. Каталог продукции [Электронный ресурс]. – URL: https://www.vineta.ru/upload/iblock/550/5invq32pz127xbdwayv5x9jlv0kgzvqo/Vineta_2023.pdf (дата обращения 13.05.2024).

67. Коваленко В.П. Загрязнения и очистка нефтяных масел. – М.: Химия, 1978. – 305 с.

68. Пат. № 2246337 С2 Российская Федерация, МПК B01D 17/022, C10G 31/09, C10G 33/06. установка для очистки масел: № 2002131221/04: заявл. 20.11.2002: опубл. 20.02.2005 / В.А. Ефимов, В.А. Шаргаев; заявитель ООО «Экологическое НПО «ЭПРОН». – 7 с.

69. Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. Адсорбция на глинистых минералах. – Киев: Наукова думка, 1975. – 351 с.

70. Опыт использования глауконитового 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.

71. Palygorskite clays for treating used lube oils / A.Y. Evdokimov, A.Akhad, M.I. Fal'kovich [et al.] // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 1992. – Vol. 28, No. 6. – P. 320 – 323.

72. Сепараторы. Калужский турбинный завод [Электронный ресурс]. – URL: https://interplus.spb.ru/catalog/folder/kaluzhskiy-turbinnyy-zavod (дата обращения 13.05.2024).

73. Сепаратор для очистки дизельного топлива и минеральных масел СЦС-540 [Электронный ресурс]. – URL: http://st-efrem.orthodoxy.ru/okrug/polet/r-scs540.htm (дата обращения 13.05.2024).

74. Сепаратор ТМЦП-3 [Электронный ресурс]. – URL:

https://trubateh.com/catalog/separatoryi/separatoryi-dlya-ochistki-mineralnyix-masel-i-dizelnogo-topliva/separator-tmczp-3.html (дата обращения 13.05.2024).

75. Сепаратор дизтоплива СД-10 [Электронный ресурс]. – URL: https://techplus.narod.ru/proj4.html (дата обращения 13.05.2024).

76. Сепаратор центробежный СЦ-3 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.zid.perm.ru/catalog/37 (дата обращения 13.05.2024).

77. СДТ 1-4 Сепаратор центробежный для дизельных топлив [Электронный ресурс]. – URL: http://www.npo64.ru/sdt-1-4-separator-centrobezhnyy-dlya-dizelnyh-topliv-ochistka-dizelnyh-topliv/ (дата обращения 13.05.2024).

78. Установки для очистки дизельного топлива Ж5-ТРЦП-КО [Электронный ресурс]. – URL: https://scplava.ru/catalog/separatory/neftepererabatyvayushchey-promyshlennosti/ustanovki-dlya-ochistki-motornykh-masel/zh5-trtsp-ko/ (дата обращения 13.05.2024).

79. Смазочные материалы и проблемы экологии / А.Ю. Евдокимов, И.Г. Фукс, Т.Н. Шабалина, Л.Н. Багдасаров. – Москва: Нефть и газ; Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, 2000. – 422 с.

80. Фукс И.Г. Экологические проблемы рационального использования смазочных материалов. – М.: Нефть и газ, 1993. – 164 с.

81. Очистка масла: Стенд очистки жидкостей СОГ-933К1 [Электронный ресурс]. – URL: http://tesar.ru/production/oilclean/sog933k1/ (дата обращения 13.05.2024).

82. ООО «Вектор». СММ-0,6Ф и СММ-0,4Ф – станции масляные мобильные [Электронный ресурс]. – URL: http://vektor2022.ru/oborudovanie/ochistka-masel/smm-0-6f-i-smm-0-4f.html?ysclid=mj9q2wczws494464882 (дата обращения 13.05.2024).

83. Остриков, В. В. Повышение эффективности использования смазочных материалов путем разработки и совершенствования методов, технологий и технических средств: специальность 05.20.03 «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве»: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Остриков Валерий Васильевич. – Саратов, 2000. – 534 с.

84. 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.

85. Технологии и оборудование для эффективного использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве. Каталог научно-технической продукции / ГНУ ВИИТиН Россельхозакадемии. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2010. – 65 с.

86. Технологии и оборудование для эффективного использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве. Каталог научно-технической продукции (к 35-летию ФГБНУ ВНИИТиН) / Федеральное агенство научных организаций; Российская Академия Наук; ФГБНУ ВНИИТиН. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2015. – 74 с.

87. Сепаратор ALFA LAVAL Emmie [Электронный ресурс]. – URL: https://dieselforce.ru/separator_alfa-laval_emmie (дата обращения 13.05.2024).

88. Анализ результатов опытно-промышленного применения магнитных депарафинизаторов на нефтяных месторождениях Оренбургской области / М.Н. Персиянцев, Ю.А. Сазонов, В.С. Однолетков [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 1998. – № 2. – с. 24 – 26.

89. Опыт применения магнитных приборов для обработки скважин с целью предотвращения проблем, связанных с органическими отложениями / Б.В. Карпов, В.П. Воробьев, В.Т. Казаков [и др.] // Нефтепромысловое дело. – 2004. – № 8. – С. 39 – 40.

90. В.И. Лесин. Физико-химический механизм предотвращения парафиноотложений с помощью постоянных магнитных полей // Нефтепромысловое дело. – 2001. – № 5. – С. 31 – 33.

91. Магнитная защита от парафиноотложений на месторождениях нефти Пермской области / З.Р. Борсуцкий, П.М. Южанинов, Т.Г. Михневич [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2000. – № 12. – С. 72 – 75.

92. Персиянцев М.Н., Сазонов Ю.А., Василенко И.Р. Помогают магнитные депарафипизаторы // Нефть России. – 1998. – № 7. – С. 60 – 61.

93. Лесин В.И. Магнитные депарафипизаторы нового поколения // Изобретения и рацпредложения в нефтегазовой промышленности. – 2001. – № 1. – С. 18 – 20.

94. Сахаров, В.А. Опыт применения магнитных приборов для обработки скважин с целью предотвращения проблем, связанных с органическими отложениями / В.А. Сахаров, Б.С. Сейткасымов // Нефтепромысловое дело. - 2004.- №8.-с. 39-40.

95. Сахаров В.А., Сейткасымов Б.С. Определение глубины установки магнитного депарафинизатора на высокопарафииистых скважинах месторождений Южно-Тургайкого прогиба // Бурение и нефть. – 2005. – № 2. – С. 18 – 20.

96. Лесин В.И. Физико-химические основы применения магнитных полей в процессах добычи, транспортировки, разработки и подготовки нефти // Фундаментальный базис нефтегазовых технологий. – 2003. – № 12. – С. 130 – 135.

97. Лесин В.И. Область наиболее эффективного применения магнитных депарафипизаторов при защите от отложений насосно-компрессорных труб добывающих скважин // Бурение и нефть. – 2002. – № 12. – С. 24 – 27.

98. Харитонов В.Б., Александров А.Б. Риформинг бензинов электромагнитным полем // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2008. – № 35. – С. 1 – 6.

99. Пат. 2269025 Российская Федерация, МПК F02M27/04 Устройство для магнитной обработки жидкого топлива в двигателях внутреннего сгорания / Харитонов В.А., Александров А.Б., Александров Б.Л.; заявитель и патентообладатель Кубанский государственный аграрный университет. – № 2004125207/06; заявл. 17.08.2004; опубл.: 27.01.2006. – 6 с.

100. Пат. 2408792 Российская Федерация, МПК F02M27/04 Способ магнитной обработки углеводородного топлива / Подчуфаров С.Н.; заявитель и патентообладатель Подчуфаров С.Н. – № 2009106937/06; заявл. 27.02.2009; опубл.: 10.01.2011. – 5 с.

101. Мурамович В.Г. Теоретико-методические основы молекулярной модификации углеводородного топлива для транспортных средств электрическими полями: дисс… докт. тех. наук: 05.22.01 / Мурамович Виктор Григорьевич. Санкт-Петербург, 2013. – 230 с.

102. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей – Л.: Изд-во «Наука», 1975. – 592 с.

103. Козьменков И.Н. Повышение эффективности работы дизелей тепловозов путём интенсификации процессов горения электротермической обработкой топлива: дисс… канд. тех. наук: 05.04.02 / Козьменков Игорь Николаевич. Самара, 2012. – 145 с.

104. Герловин И.Л. Основы единой теории всех взаимодействий в веществе. – Л.: Из-во «Энергоатомиздат», 1990. – 431 с.

105. Остапенко А.А. Электровязкостный эффект в переменном электрическом поле // Журнал технической физики. – 2000. – Т. 70, № 8. – С. 136 – 138.

106. Пат. 2080473 Российская Федерация, МКП7 F02M27/04. Способ обработки топлива и устройство для его осуществления/ Рыжов Н. Е., заявитель и патентообладатель Рыжов Н. Е. – № 93044659/06, заявл. 14.09.1993, опубл. 27.05.1997. – 8 с.

107. Пат. 2156879 Российская Федерация, МКП7 C1 7 F02M 27/04 Устройство для обработки топлива / Лыженков В.Н., Хохонин А.А., заявитель и патентообладатель Лыженков В.Н., Хохонин А.А., – № 99121238/06, заявл. 7.10.1999, опубл. 27.09.2000. – 7 с.

108. Пат. 2062899 Российская Федерация, МКП F23M 27/04 Устройство для обработки топлива в двигателе внутреннего сгорания / Захватов Е.М., Лыженков В.Н; заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Автосервис-Дигзал». – № 92007417/06, заявл. 24.11.1992, опубл. 27.06.1996. – 5 с.

109. Пат. 2011881 Российская Федерация, МПК F23M 27/04 Устройство для обработки топлива в двигателях внутреннего сгорания / Захватов Е.М., Лыженков В.Н., заявитель и патентообладатель Акционерное общество «Автосервис-Дигзал».– № 92011766/06, заявл. 14.12.1992, опубл. 30.04.1994. – 5 с.

110. Пат. 2032107 Российская Федерация, МКП F23M 27/04, Способ обрабокти жидкого топлива и активатор для жидкого топлива / Дарбинян Р.В. заявитель и патентообладатель Дарбинян Р.В. – № 4901567/06, заявл. 11.01.1991, опубл. 27.03.1995. – 7 с.

111. Пат. 2038506 Российская Федерация, МКП F23M 27/04 Способ обработки топлива /

Федотов А.Д., Баканов А.А., Шабордин А.В., заявитель и патентообладатель Федотов А.Д. – № 50505444/06 заявл. 27.07.1992, опубл. 27.06.1995. – 5 с.

112. Карпов С.А. Применение микроволнового воздействия для регулирования физико-химических и эксплуатационных свойств спирто-бензиновых топлив // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2007. – № 7. – С. 23 – 28.

113. Оптимизация эксплуатационных и экологических свойств спирто-бензиновых топлив под действием микроволновой обработки / А.В. Царев, Р.М. Балабип, С.А. Карпов, Р.З.Сюпяев //Альтернативная энергетика и экология. – 2007. – № 8 (52). – С. 69 – 74.

114. Шавшукова С.Ю. Интенсификация химических процессов воздействием микроволнового излучения: дисс… канд. техн. наук: 07.00.10 / Шавшукова Светлана Юрьевна. Уфа, 2003. – 160 с.

115. Микроволновое излучение и интенсификация химических процессов / Д.Л. Рахмаикулов, И.Х. Бикбулатов, Н.С. Шулаев, С.Ю. Шавшукова – М.: Химия, 2003. – 220 с.

116. Карпов С.А. Исследование микроволновой обработки автомобильных бензинов // Нефтегазовое дело. – 2007 [Электронный ресурс]. – URL: https://ogbus.ru/files/ogbus/authors/KarpovSA/KarpovSA_4.pdf (дата обращения 13.05.2024).

117. Пат. 2396454 Российская Федерация, МКП F02M27/04 Устройство для обработки топлива в двигателе внутреннего сгорания / Бородин В.И., заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Уральский государственный университет. – № 2007141048/06, заявл. 06.11.2007, опубл. 20.05.2009. – 10 с.

118. Микипорис Ю.А. Улучшение экологических показателей автомобильных двигателей электромагнитной обработкой топлива. Учебное пособие. – Ковров: КГТА, 2008. – 168 с.

119. Магнитоэлектрическая обработка углеводородного топлива (теория) [Электронный ресурс]. – URL: http://electricaleather.com/d/358095/d/magnitotriboelektricheskoe-ustroystvo.pdf (дата обращения 13.09.2017).

120. Кричко А.А., Зимина Е.С., Хренкова Т.М. О применении УДА-технологии в процессе гидрогенизационной переработки угля // Тез. докладов II семинара УДА-технология. – Таллин. –1983. – С. 92.

121. Полубенцев А.В., Пройдаков А.Г., Кузнецова ДА. Влияние механохимической активации углей на степень конверсии ОМУ в процессе гидрогенизации / Совещание по химии и технологии получения жидких и газообразных топлив из угля, сланца и нефтяных остатков. – Звенигород. – 1985. – С. 65 – 69.

122. Игошин В.А. Технологические основы комплексной переработки углей и нефтяных остатков // Период. Сборник научных трудов Обработка дисперсных материалов и сред. – Одесса. – 1999. – Вып. 9. – С. 192 – 194.

123. Игошин В.А. Вопросы совместной переработки угля и нефти // Период. Сборник научных трудов Обработка дисперсных материалов и сред. – Одесса. – 2000. – Вып. 10. – С. 77 – 79.

124. Игошин В.А. Механокрекинг углеводородов в технологических процессах // Период. Сборник научных трудов Вибротехнология. – Одесса. – 1998. – Вып. 8. Ч.2. – С. 28 – 31.

125. Энергетическая активация нефтяных остатков в дезинтеграторе / Н.Г. Евдокимова, А.А. Гуреев, С.В. Косяк, В.С. Данюшевский / Химия и технология топлив и масел. – 1992. – № 1. – С. 26 – 28.

126. Механохимические превращения угольных асфальтенов / А.Г. Пройдаков, А.В. Полубенцев, Д.Е. Бачин, А.О. Сиников // Химия твёрдого топлива. – 1994. – С. 40 – 44.

127. Механодеструкция асфальтенов нефти месторождения Матанас / В.В. Платонов, Х.К. Вальдес, О.А. Клявина [и др.] // Химия твёрдого топлива. – 1989. – № 4. – С. 102 – 108.

128. Хренкова Т.М. Механохимическая активация углей. – М.: Недра, 1993. – 176 с.

129. Барамбойм Н.К. Механохимия высокомолекулярных соединений. – М.: Химия, 1978. –384 с.

130. Стыров В.В. О единстве механизмов возбуждения твёрдых тел при механической и химической активации. Природа экзозлектронной эмиссии // Известия вузов. Физика. – 1981 . – Т.24. – № 3. – С. 97 – 102.

131. Молчанов В.И., Селезнева О.Г., Жирнов Е.Н. Активация минералов при измельчении. – М.: Недра, 1988. – 208 с.

132. Боуден Ф, Иоффе А. Возбуждение и развитие взрыва в твердых и жидких веществах. – М.: Изд. иностр. лит, 1955. – 54 с.

133. Розенберг Л.Д. Энергетические соотношения при ультразвуковой кавитации // Ультразвуковая техника. – 1964. – вып. 6. – С. 25 – 28.

134. Бергман Л. Ультразвук. – Изд. И.Л. – 1956. – 365 с.

135. Фридман В.М. Ультразвуковая химическая аппаратура. – М.: Машиностроение, 1967. – 234 с.

136. Эльпинер И.Е. Ультразвук. Физико-механическое действие. – М: Физмат. – 1963. – 420 с.

137. Деструкция углеводородов в кавитационной области в присутствии электрического поля при активации водными растворами электролитов / А.С. Бесов, К.Ю. Колтунов, С.О. Брулев [и др.] // Письма в Журнал технической физики. – 2003. – Т. 29, № 5. – С. 71 – 77.

138. Влияние ультразвука на процесс депарафинизацин масел / С.Ш. Абрамович, Р.Л. Имнаев, А.Л. Черножуков [и др.] // Химия и технология топлив и насел. – 1965. – № 3. – С. 29 – 33.

139. Бабиков О.И. Ультразвук и его применение в промышленности. – М.: Физматгив, 1959. – 260 с.

140. Скрипкин Е.И., Симилевский А.З. Применение ультразвука // Известия вузов. Нефть и газ. – 1962. – № 2. – С. 56 – 62.

141. Подалка Б.С. Ультразвук в нефтяной промышленности. – Киев: Гостехиздат, 1962. – 67 с.

142. Ермилов, А.С. Применение ультразвука при получении консистентных смазок / А.С. Ермилов // Химия и технология топлив и масел. – 1957. - № 11. - с .59-67.

143. Матвеев Ю.И., Пырков А.М. Ультразвуковая обработка топлива // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. – 2015. – № 42. – С. 276 – 279.

144. Кондакова Л.Н., Фридман В.Н. Применение ультразвука в химико-технологических процессах / Сб. докладов на Всесоюзной конференции по применению ультразвука в промышленности, ШТИ. – Электротехническая промышленность. – 1960. – С. 35 – 38.

145. Применение гидродинамических излучателей для приготовления эмалевых красок / Л.Б. Котлярский, А. Зеленая, З. Кишеневская, А. Зеленый // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1963. – № 5. – С. 51 – 57.

146. Котлярский Л.Б., Новицкий Б.Г, Фридман В.М. О кавитационных явлениях при работе акустического гидродинамического излучателя // Акустический журнал. – 1963. –Том IX. – Вып. 4 – С. 434 – 440.

147. Рой Н.А. Возникновение и протекание ультразвуковой кавитации // Акустический журнал. – 1957. – Вып. 1. – № 3. – С. 72 – 76.

148. Розенберг Л.Д. Физика и техника модного ультразвука, источники модного ультразвука – М.: Наука. – 1967. – 379 с.

149. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация. – М.: Мир, 1974. – 668 с.

150. Основы физики и техники ультразвука: учеб. пособие для вузов / Б.А. Агранат [и др.]. – М.: Высшая школа. – 1987. – 352 с.

151. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности, сельском и домашнем хозяйстве / В.Н. Хмелев [и др.]. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та. – 2007. – 400 с.

152. Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л.: Машиностроение. – 1986. – 253 с.

153. Котлярский Л.Б., Зеленая А., Кишеневская З. Применение гидродинамических излучателей для приготовления эмалевых красок // Лакокрасочные материалы и их применение. – 1963. – № 5. – С. 51 – 57.

154. Гриднева Е.А. Десульфатация нефтепродуктов под действием ультразвука: дисс… канд. тех. наук: 05.17.08 / Гриднева Екатерина Сергеевна. – Москва, 2010. – 136 с.

155. Промтов М.А., Авсеев А.С. Импульсные технологии переработки нефти и нефтепродуктов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2007. – № 6. – С. 22 – 24.

156. Деструкция углеводородов в кавитационной области в присутствии электрического по-

ля при активации водными растворами электролитов / А.С. Бесов, К.Ю. Колтунов, С.О. Брулев [и др.]. // Письма в Журнал технической физики. – 2003. – Том 29. – вып. 5. – С. 71 – 77.

157. Влияние кавитационного воздействия на углеводородное топливо / А.Ф. Немчин, В.А. Михайлик, Г.Т. Тодорашко, Е.В. Щепкин // Пром. теплотехника. 2002. – Том 24, № 6. – С. 60 – 63.

158. Золотухин В.А. Новая технология для переработки тяжелой нефти и осадков нефтеперерабатывающих производств // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2004. – № 10. – С. 8 – 11.

159. Применение процесса «Висбрекинг-ТЕРМАКАТ» в структуре действующих НПЗ / А.К. Курочкин, К.Н. Козлов, А.В. Курочкин, А.А. Курочкин / Нефтепереработка и нефтехимия – 2005. Материалы секции Д VI конгресса нефтегазопромышленников России «Нефтегазовый комплекс – реальность и перспективы» – 2005. – Уфа. – С. 70 – 71.

160. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. – М.: Машиностроение-1, 2001. – 260 с.

161. Балабышко А.М., Зимин А.И., Ружицкий В.П. Гидромеханическое диспергирование. – М.: Наука, 1998. – 330 с.

162. Балабышко А.М., Юдаев В.Ф. Роторные аппараты с модуляцией потока и их применение в промышленности. – М.: Недра, 1992. – 176 с.

163. Балабудкин М.А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности. – М.: Медицина, 1983. – 160 с.

164. Серегин Е.П. Современное состояние развития теории химмотологии // Вісник НАУ. – 2009. – № 1. – С. 89 – 94.

165. Нефтяная отрасль России: Итоги 2016 г. и перспективы 2017-2018 гг. VYGON Consulting, ч. 2: Нефтепереработка и сбыт, июль 2017 г. [Электронный ресурс] – URL: https://vygon.consulting/products/issue-905/ (дата обращения 13.09.2017).

166. Белявцев А.В., Процеров А.С. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: конструктивные особенности и эксплуатация. – М.: Росагропром-издат, 1988. – 223 с.

167. Загородских Б.П. Повышение надежности топливной аппаратуры тракторных и комбайновых дизелей путем совершенствования методов контроля и стабилизации размеров прецизионных деталей: дисс ... доктора техн. наук: 05.20.03 / Загородских Борис Павлович. Гос. агроуниверситет. – Саратов, 1991. – 383 с.

168. Загородских Б.П., Ступишина О.В., Антипов В.В. Причины заклинивания плунжерных пар тракторных дизелей. / Ремонт сельскохозяйственной техники и ее надежность: Сб. науч. тр. Вып. 76. – Саратов: Изд-во СХИ, 1976. – С. 131 – 138.

169. Костецкий Б.И. Износ плунжерных пар насосов. // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1973. – № 12. – С. 35 – 36.

170. Романов В.М., Песков В.А. Эффективность системы очистки топлива дизелей / Повышение мощности, экономичности тракторных двигателей. Сб. науч. тр. Украинской сельскохозяйственной академии. – Киев. – 1976. – Вып. 186. – С. 94 – 99.

171. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение. Справочник под. ред. В.М, Школьникова. – М.: «Техинформ», 1999. – С. 319.

172. Химия нефти / Й.Ю. Батуева, А.А. Гайле, Ю.В. Поконова [и др.]. – Л.: Химия, 1984 – 360 с.

173. Бельдий О.М. Противоизносные свойства дизельных топлив газоконденсатного происхождения и пути их улучшения: диссертация ... кандидата технических наук: 05.17.07 / Бельдий Олег Михайлович – Москва, 2000. – 172 с.

174. Пучков Н.Г. Дизельные топлива. – Д.: ГОСТОПТЕХИЗДАТ, 1953. – 193 с.

175. Исследование показателей и свойств дизельных топлив, влияющих на подачу и смесеобразование / Ю.М. Муродова, М.Н. Муродов, М.О. Сатторов, Л.И. Тиллоев // Вопросы науки и образования. – 2020. – № 23 (107). – С. 8 – 11.

176. Баулин О.А. Смазывающая способность малосернистых дизельных топлив и методы её повышения: диссертация ... канд. техн. наук: 05.17.07 / Баулин Олег Александрович – Уфа, 2006. – 118 с.

177. Рыбаков К.В., Жулдыбин Е.Н., Семернин А.Н. Использование коагулирующих пори-

стых перегородок для обезвоживания дизельных топлив // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 1982. – № 5. – С. 27 – 30.

178. Загородских Б.П. Совершенствование дефектации и комплектации прецизионных пар топливной аппаратуры дизелей // Труды ГОСНИТИ. – 1989. – Т. 86. – С. 37 – 46.

179. Ароматические углеводороды дизельных топлив / Т.Н. Митусова, Е.Е. Сафонова, Л.В. Бармина, Г.А. Брагина // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2005. – № 4. – С. 15 – 16.

180. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебное пособие для студентов специальностей 110301 и 110304 / В.В. Остриков, С.А. Нагорнов, О.А. Клейменов, В.Д. Прохоренков, И.М. Курочкин, А.О. Хренников, Д.В. Доровских. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008. – 304 с.

181. Эксплуатационные свойства авиационных топлив: Сборник науч. трудов / Отв. ред. канд. техн. наук доц. А.Ф. Аксенов; М-во гражд. авиации СССР. Киевский ордена Трудового Красного Знамени ин-т инженеров гражд. авиации. Вып. 3, ч. 2. – Киев. – 1972. – 192 с.

182. Саблина З.А., Широкова Г.Б., Ермакова Т.Н. Лабораторные методы оценки свойств моторных и реактивных топлив. – М.: Химия, 1978. – 240 с.

183. Васильцов А.С. Средства очистки и контроля внутренних поверхностей резервуаров методом углекислого бластинга: дис… канд. техн. наук / Васильцов Артем Сергеевич. – Красноярск: Сибир. федер. ун-т, 2011. – 111 с.

184. Чертков Я.Б., Спиркин В.Г. Сернистые и кислородные соединения нефтяных дистиллятов. – М.: Химия, 1971. – 312 с.

185. Гуреев А.А., Азев В.С., Камфер Г.М. Топлива для дизелей. Свойства и применение: Учеб. пособие для вузов. – М.: Химия, 1993. – 336 с.

186. Klonbek J. Odvanced Mechaniocs and Flav Granular Materials. // Glausthal. – 1983. – Vol. l. – Pp. 179 – 191.

187. Абрамов С.В. Обеспечение работоспособности топливной аппаратуры тракторных и комбайновых дизелей путем улучшения очистки топлива: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Абрамов Сергей Викторович – Саратов, 2006. – 124 с.

188. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / В.В. Остриков, А.П. Уханов, О.А. Клейменов, К.У. Сафаров, С.А. Нагорнов, В.Д. Прохоренков. – Ульяновск: УГСХА, 2009. – 576 с.

189. Папок К.К. Словарь по топливам, маслам, смазкам, присадкам и специальным жидкостям. Химмотологический словарь. – Москва: Химия, 1975. – 392 с.

190. Рыбаков К.В. Влияние степени загрязненности топлива на работоспособность плунжерных пар // Техника в сельском хозяйстве. – 1983. – № 10. – С. 46 – 47.

191. Мартыненко А.Г. Производство и применение жидких парафинов. – М.: Химия. – 272 с.

192. Пучков Н.Г. Дизельные топлива. – Москва – Ленинград. Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы. – 1953. – 194 с.

193. Остриков В.В., Нагорнов С.А., Гафуров И.Д. Топливо и смазочные материалы. Уч. пособие для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 110300 – «Агроинженерия» / М-во сельского хозяйства РФ. Башкирский государственный аграрный университет. Уфа: БГАУ, 2006. – 292 с.

194. Покровский Г.П. Топливо, смазочные материалы и охлаждающие жидкости. – М.: Машиностроение, 1985. – 200 с.

195. Венцель С.В. Смазка двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1983. – 180 с.

196. Иванов В.А., Лябин М.П., Москвичев С.М. Основные физико-химические свойства смазочных материалов. – Волгоград: Политехник, 2001. – 20 с.

197. Холманов В.М. Разработка показателей и технических средств для диагностики состояния моторного масла в эксплуатационных условиях: дис. … канд. техн. наук: 05.20.03 / Холманов Валерий Михайлович. – Ульяновск, 1983. – 253 с.

198. Denison G.H., Condit P.O. Oxidation of Lubricating Oils. Mechanism of Sulfur Inhibition. // Ind. Eng. Chem. – 1945, – vol. 37 – № 11. Pp. 1102 – 1108.

199. Лышко Г.П. Использование нефтепродуктов, техническое обслуживание и диагностика сельскохозяйственной техники. – Кишинев: КСХИ, 1989. – 118 с.

200. Нефтескладское оборудование. Аналитические и обзорные справки. – М.: Информагротех, 1991. – 18 с.

201. Данилов А.М. Применение присадок в топливах. 3-е изд., доп. – СПб.: Химиздат, 2010. – 368 с.

202. Данилов А.М. Присадки к топливам как решение химмотологических проблем // Химия и технология топлив и масел. – 2014. – № 5 (585). – С. 31 – 35.

203. Митусова Т.Н., Полина Е.В., Калинина М.В. Современные дизельные топлива и присадки к ним. – М.: Техника, ООО «Тума Групп», 2002. – 64 с.

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

205. Митусова Т.Н. Современное состояние производства присадок к дизельным топливам. Требования к качеству // Мир нефтепродуктов. – 2009. – № 9 – 10. – С.10 – 16.

206. Зарубежные масла, смазки, присадки, технические жидкости. / В.Д. Резников, Т.В. Шестаковская, Е.Е. Довгополый, М.Б. Чепурова [и др.]. – М.: Техинформ. – 384 с.

207. Обзор рынка присадок к смазочным материалам в России: Отчет исследовательской группы «Info Mine». – Москва: Компания «Инфомайн», 2006. – 43 с.

208. Данилов А.М. Современное состояние производства и применения присадок при выработке дизельных топлив Евро-3, 4, 5. – М.: Спутник, 2009. – 27 с.

209. Сидрачёва И.И. Синтез противоизносной присадки к дизельным топливам на основе рапсового масла и н-бутилового спирта: автореф. дисс… канд. техн. наук: 02.00.13 / Сидрачёва Ирина Ириковна. – Уфа, Уфимский гос. нефтяной технич. ун-т, 2009. – 24 с.

210. Данилов А.М. Разработка и применение присадок к топливам в 2006 – 2010 гг // Химия и технология топлив и масел. – № 6, 2011. – С. 41 – 51.

211. К вопросу о выборе активного вещества в присадках противоизносного действия для глубоко гидроочищенных дизельных топлив / И.Р. Хайрудинов, Е.Г. Ахметзянов, И.С. Файзрахманов, С.М. Капустин / Глубокая переработка нефтяных дисперсных систем. Материалы VI международ. науч.-тех. конф. – М. Техника, 2011. – С 114 – 116.

212. Кулиев А.М. Химия и технология присадок к маслам и топливам. – Л.: Химия, 1985. – 312 с.

213. Девянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. – М.: Изд-во МГАУ им. В. П. Горячкина, 2007. – 339 с.

214. Васильев И.П. Влияние топлив растительного происхождения на экологические и экономические показатели дизеля. – Луганск: Изд-во ВНУ им. В. Даля, 2009. – 240 с.

215. Уханов А.П., Рачкин В.А., Уханов Д.А. Рапсовое биотопливо. – Пенза: РИО ПГСХА, 2008 – 229 с.

216. Результаты испытаний и перспективы эксплуатации дизелей на биотопливе / В.Ф. Федоренко, Д.С. Буклагин, С.А. Нагорнов [и др.]. – М.: Росинформагротех, 2008. – 136 с.

217. A comprehensive review of bio-diesel as alternative fuel for compression ignition engines / E. Sadeghinezhad, S.N. Kazi, A. Badarudin, C.S. Oon // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – № 28. – P. 410 – 424.

218. Исследование эффективности использования биотоплива в дизельных двигателях / К.С. Попов, А.Ф. Юнусов, Р.Р. Кашапов, В.Н. Никишин / Актуальные вопросы технических наук: материалы III Междунар. науч. конф. (г. Пермь, апрель 2015 г.). – Пермь: Зебра. – 2015. – С. 97 – 99.

219. Technologies for production of biodiesel focusing on green catalytic techniques: A review / Z. Helwani, M. Othman, N. Aziz, W. Fernando, J. Kim // Fuel Processing Technology. – 2009. – № 90.– P.p 1502 – 1514.

220. 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. – No. 3(19). – P. 1 – 7.

221. Экологические показатели дизельных двигателей с разными условиями смесеобразова-

ния при работе на биодизельном топливе / В.Ф. Шапко, С.М. Черненко, А.И. Атамась, А.Ю. Горпинченко // Новые материалы и технологии в машиностроении. – 2011. – № 13. – С. 150 – 153.

222. Экологическая безопасность применения биотоплив в дизелях / М.Н. Ерохин, С.Н. Девянин, В.Л. Чумаков, К.А. Малашенков // Вестник ОрелГАУ. – 2008. – № 5 (86). – С. 27 – 29.

223. Васильев И.П. Экологически чистые направления получения и использования топлив растительного происхождения в двигателях внутреннего сгорания // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2005. – № 1. – С. 8 – 12.

224. Снижение загрязнения окружающей среды за счет использования биотоплива / С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, А. П. Ликсутина [и др.] // Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты коррозии: Материалы международной конференции, посвященной памяти профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ В.И. Вигдоровича, Тамбов, 23–25 октября 2019 года. – Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2019. – С. 418 – 422.

225. Технологии производства биодизеля / В. Мироненко, В.О. Дубровин, В.М. Полищук, С.В. Драгнев. – М.: Холтех, 2009. – 100 с.

226. Применение биотоплива для дизельных двигателей / В.М. Полищук, С.В. Драгнев, И.И. Убоженко, М.Ю. Павленко, О.В. Полищук // Научный вестник национального аграрного университета. – К.: НАУ. – 2008. – № 125. – С.315-318.

227. Knothe G., Gerpen J.V., Krahl J. The Biodiesel Handbook. – Illinois: AOCS Press, 2005. – 302 p.

228. Kocar G., Civas N. An overview of biofuels from energy crops: Current status and future prospects // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – № 28. – P. 900 – 916.

229. Гафуров Н.М., Хисматуллин Р.Ф. Преимущества биодизельного топлива // Инновационная наука. – 2016. – № 5. – С. 72 – 74.

230. Звонов В.А., Козлов А.В., Теренченко А.С. Методика оценки эффективности применения альтернативных топлив на автотранспорте в полном жизненном цикле / Сб. науч. тр. Моск. семинара по газохимии 2004 – 2005. – М.: Нефть и газ. – 2006. – С. 114 – 129.

231. Бганцев В.Н. Оценка чувствительности биодизельного топлива к магнитной обработке по изменению цетанового числа // Автомобильный транспорт. – 2008. – Вып. 23. – С. 140 – 141.

232. Таманджа И., Шуйтасов Н.Н. Перспективы и обоснование использования биодизеля в судовых дизельных установках // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2010. – № 1. – С. 158 – 166.

233. Биодизель – альтернативный источник энергии / Н.Ш. Бердиев, Ж.Ф. Зиявитдинов, Ш.Ж. Фазлиддинов [и др.] // Universum: химия и биология: электрон. научн. журн. – 2019. – № 6 (60). – С. 21 – 26.

234. Досказиева Н.К., Байтлесова Л.И. Использование отходов производства растительных масел для получения компонентов биодизеля // Нефтегазовое дело. – 2016. – Т. 14. – № 1. – С. 254 – 257.

235. Agarwal A.K., Bijwe J., Das L.M. Effect of Biodiesel Utilization of Wear of Vital Parts in Compression Ignition Engine // Transactions of the ASME. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 2003. – Vol. 125. – № 2. – Pp. 604 – 611.

236. Xue J., Grift T., Hansen A. Effect of biodiesel on engine performance and emissions // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2011. – № 15. – Pp. 1098 – 1116.

237. Аблаев, А.Р. Производство и применение биодизеля: справочное пособие / А. Аблаев – М.: АПК и ППРО, 2006. – 80 с.

238. Метиловый эфир рапсового масла как дизельное топливо / В.А. Марков, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, В.В. Неверова, Са Бовэнь // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 6 (60). – С. 17 – 30.

239. Oner C., Altun S. Biodiesel production from inedible animal tallow and an experimental investigation of its use as alternative fuel in a direct injection diesel engine // Applied Energy. – 2009. – № 86. – Pp. 2114 – 2120.

240. Ryu K. The characteristics of performance and exhaust emissions of a diesel engine using a biodiesel with antioxidants // Bioresource Technology. – 2010. – № 101. – Pp. 578 – 582.

241. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties / M. Ramos,

C. Fernandez, A. Casas, L. Rodriguez, A. Perez // Bioresource Technology. – 2009. – № 100. – Pp. 261 – 268.

242. Гидрофильность метиловых эфиров растительных масел / С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, С.В. Романцова, А.П. Ликсутина, И.В. Бусин / В сборнике: Проблемы и перспективы инновационного развития АПК. Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию ФГБНУ ВНИИТиН. – 2020. – С. 210 – 213.

243. Получение моторных топлив из непищевых растительных масел и жиров / А.С. Беренблюм, В.Я. Данюшевский, Е.А. Кацман [и др.] // Нефтехимия. – 2010. – Т. 50. – № 4. – С. 317 – 323.

244. Способы стабилизации биодизельного топлива при хранении / В.Г. Систер, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, С.В. Бодягина // Альтернативная энергетика и экология. – 2010. – № 7. – С. 76 – 81

245. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Викулин О.В. Обеспечение качества топлив при хранении // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 5. – С. 6 – 8.

246. Папок К.К. Химмотология топлив и смазочных масел. – М.: Воениздат, 1980. – 192 с.

247. Гуреев А.А. Экологические проблемы химмотологии // Химия и технология топлив и масел. – 1989. – № 8. – С. 2 – 7.

248. Разработать способы повышения эффективности использования нефтепродуктов в сельскохозяйственной технике зарубежного производства: отчет о НИР 09.04.07.06 (промежуточный) / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Тупотилов Н.Н. [и др.]. – Тамбов: ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии, 2013. – 97 с.

249. Разработать ресурсосберегающую технологию структурирования и продления сроков службы масел, трансформации отработанных синтетических масел во вторичные высококачественные масла и смазки: отчет о НИР 114120870187 (промежуточный) / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Зимин А.Г. [и др.]. – Тамбов: ФГБНУ ВНИИТиН, 2014. – 177 с.

250. Скобельцин А.С. Использование отработанных моторных масел в качестве компонента дисперсионной среды пластичных смазок: дисс ... канд. техн. наук: 05.20.03/Скобельцин Александр Сергеевич: РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2006. – Москва, 2006. – 133 с.

251. Мазлова Н.Б., Мещерякова С.В. Проблемы утилизации нефтешламов и способы их переработки. – М.: «Ноосфера», 2001. – 56 с.

252. Другов Ю.С., Родин А.А. Экологические анализы при разливах нефти и нефтепродуктов. – С.-Пбю: «Анатолия», 2000. – 250 с.

253. Отчет Академии Конъюнктуры Промышленных Рынков. Рынок моторных масел в России. 2006 [Электронный ресурс]. – URL: https://www.akpr.ru/ (дата обращения 20.10.2013).

254. Юзефович В.И. Организация сбора отработанных масел // Мир нефтепродуктов. – 2003. – № 3. – С. 28 – 30.

255. Комплексная схема переработки отработанных масел и смазок / А.Ю. Евдокимов, И.Г. Фукс, М.И. Фалькович, М.Ю. Юнусов // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. – 1990. – № 1. – С. 28 – 31.

256. Mesa C. Three rerefining methods for waste lube oils // Chemical Engeneering. – 1987. – № 07. – P. 14 – 16

257. Fouhy K. Czechs slate their first waste-oil recycling plant // Chemical Engeneering. – 1990. – № 10. – P. 19 – 22.

258. Parkinson G. The utility of hydrogen // Chemical Engeneering. – 2001. – № 09. – P. 19.

259. Прокопьев И.А., Чулков И.П. .Новый способ утилизации отработанных автомобильных смазочных материалов. / В кн.: Смазочные материалы: Тез. докл. конф. – Бердянск: Дом печати, 2000. – С. 113 – 114.

260. Лукса Адам. Опыт совершенствования системы сбора и переработки отработанных смазочных материалов в Польше. / В кн.: Смазочные материалы: Тез. докл. конф. - Бердянск.: Львовская политехника, 2006. – С. 68 – 69.

261. Мобильная установка (станция) для заправки и фильтрации гидравлического масла КИ-28286.50 [Электронный ресурс]. – URL: http://gosniti.com/products_equipment%20119.html (дата обращения 13.05.2024).

262. Пат. № 2055863 С1 Российская Федерация, МПК С10М 175/02. Способ регенерации

отработанных минеральных масел и установка для его осуществления: № 5048326/04: заявл. 02.06.1992: опубл. 10.03.1996 / А.П. Картошкин, Л.А. Ашкинази, М.И. Браславский; заявитель Научно-производственное объединение «Теплоэнергетика». – 8 с.

263. Пат. № 2051954 С1 Российская Федерация, МПК С10М 175/02. Установка для регенерации отработанного моторного масла: № 5057482/04: заявл. 03.08.1992: опубл. 10.01.1996 / Л.А. Ашкинази, В.В. Сердюк, А.П. Картошкин [и др.]; заявитель Ленинградский сельскохозяйственный институт. – 7 с.

264. Картошкин А.П., Потапков А.Г. Разработка методических аспектов моделирования процессов регенерации отработанных смазочных масел / Улучшение эффективных, экологических и ресурсных показателей энергетических установок сельскохозяйственных тракторов и автомобилей: Сборник научных трудов / Санкт-Петербургский государственный аграрный университет. – Санкт-Петербург-Пушкин: Санкт Петербургский государственный аграрный университет, 1995. – С. 103 – 109.

265. Картошкин А.П., Громашев С.В. Способы очистки отработанных масел при их регенерации / Улучшение эксплуатационных показателей двигателей, тракторов и автомобилей: постояннодействующий научно-технический семинар стран СНГ, Санкт-Петербург, 19 – 22 апреля 1994 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 1994. – С. 30 – 32.

266. Гуреев А.А., Серегин Е.П., Азев В.С. Квалификационные методы испытаний нефтяных топлив. – Москва: Химия, 1984. – 198 с.

267. Корнев А.Ю. К анализу изменения качества нефтепродуктов с позиции термодинамики // Новые технологии при использовании техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве : Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбов, 01–02 октября 2025 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2025. – С. 411-416.

268. Зайцев О.С. Общая химия. Состояние веществ и химические реакции. Учебн. пособие для вузов. – М., Химия, 1990. – 352 с.

269. Буданов В. В. Ключевые вопросы курса физической химии. Иван. гос. хим. – технол. ун-т: учеб.-метод. пособие. – Иваново, 2007. – 48 с.

270. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении /Ф.Ф. Абузова, И.С. Бронштейн, В.Н. Новосёлов [и др.]. – М.: Недра, 1981. – 248 с.

271. Левин М.Ю., Нагорнов С.А., Левина Е.Ю. Особенности процесса испарения топлива из наземных горизонтальных резервуаров // Наука в центральной России. – 2017. – № 4 (28). – С. 121 – 130.

272. Разработать пути улучшения качества топлив, используемых в АПК: отчет о НИР / С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, Промтов М.А. [и др.]. – Тамбов: ГНУ ВИИТиН, 2005. – 183 с.

273. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Манаенков К.А. Использование масел в двигателях зарубежной техники // Сельский механизатор. – 2012. – № 5. – С. 32 – 33.

274. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Бусин И.В. Контроль работающих масел с помощью экспресс-методов оценки качества // Инновации в сельском хозяйстве. – 2015. – № 3 (13). – С. 174 – 177.

275. Морозов Г.А., Арциомов О.М. Очистка масел в дизелях. – Л.: Машиностроение, 1971. – 191 с.

276. Лебедев О.В. Химмотология автотракторных смазочных материалов и специальных жидкостей. – Ташкент: Фан, 1989. – 104 с.

277. Остриков В.В., Белогорский В.В. Методические рекомендации по обоснованию наиболее информативных показателей качества работающих моторных масел и анализ существующих средств контроля. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2007 г. – 66 с.

278. Меджибовский А.С. Физико-химия автотракторных дизельных масел. – М.: ВИМ, 2003. – 155 с.

279. Унгер Ф.Г., Красногорская Н.Н., Андреева Л.Н. Механизм растворения нефтяных дисперсных систем в условиях гомолитических процессов. – Томск: ТФ СО АН СССР, 1987. – 37 с.

280. Сумм Б.Д. Основы коллоидной химии: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. –

М.: Издательский центр «Академия», 2006 .– 204 с.

281. Остриков В.В., Белогорский В.В., Корнев А.Ю. Теоретическая оценка изменения вязкости работающего моторного масла / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства : Сборник научных докладов XV Международной научно-практической конференции, Тамбов, 18–19 сентября 2009 года / Российская академия сельскохозяйственных наук, Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт по использованию техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве. – Тамбов, 2009. – С. 417 – 423.

282. Разработать технологию приготовления и использования трансмиссионных масел из отработанных смазочных материалов: отчет о НИР 09.03.07.04 (заключительный) / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Тупотилов Н.Н. [и др.]. – Тамбов: ГНУ ВИИТиН, 2006. – 180 с.

283. Справочник по триботехнике: в 3 т. / под общ. ред. М. Хебды, А.В. Чичинадзе. – Москва: Машиностроение; Варшава: ВКЛ, 1989.

284. Корнев А.Ю. Повышение эффективности использования смазочных материалов путем разработки композиции аналога трансмиссионного масла: дис. … канд. техн. наук: 05.20.03 / Корнев Алексей Юрьевич. – Мичуринск - Наукоград, 2007. – 207 с.

285. Литовкин А.В. Повышение технического ресурса автомобильных трансмиссий путем улучшения свойств регенерированных масел: дис. … канд. техн. наук: 05.20.03 / Литовкин Александр Васильевич. – Пенза, 2003. –254 с.

286. Мартыненко А.Г. Очистка нефтепродуктов в электрическом поле постоянного тока. – М.: Химия, 1974. – 87 с.

287. Шихалев И.Н. Обоснование параметров и характеристик процесса приготовления пластичных смазок на основе отработанных моторных масел для их использования в сельскохозяйственной технике: дис. … канд. техн. наук: 05.20.03 / Шихалев Илья Николаевич. – Воронеж, 2016. – 220 с.

288. Остриков В.В. Очистка отработанных моторных масел с использованием разделяющего агента: дис. … канд. техн. наук: 05.20.03 / Остриков Валерий Васильевич. – Москва, 1996. – 265 с.

289. Прохоров В.А. Основы автоматизации аналитического контроля химических производств. – Москва: Химия, 1984. – 320 с.

290. Курганова А.М. Гидравлические расчёты систем водоснабжения и водоотведения. – Ленинград: Стройиздат, 1986. – 440 с.

291. Корнев А.Ю., Остриков В.В., Булыгин Н.Н. Изменение состояния дисперсной фазы нефтепродуктов в поле гравитационных сил и вследствие коагуляции / Новые технологии при использовании техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве: Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбов, 01–02 октября 2025 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2025. – С. 406 – 411.

292. Петрашев А.И., Плужников В.А. Работоспособность выносного гидромотора в условиях повышенной температуры // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 3. – С. 36 – 38.

293. Петрашев А.И. Совершенствование технологических процессов и ресурсосберегающих средств консервации сельскохозяйственной техники при хранении: дис. … д-ра. техн. наук: 05.20.03 / Петрашев, Александр Иванович – Тамбов, 2007. – 400 с.

294. Рабинович Е.З. Гидравлика. – М.: «Недра», 1974. – 296 с.

295. Бутов Н.П. Научные основы проектирования малоотходной технологии переработки и использования отработанных моторных масел. – Зерноград: ВНИИПТИМЭСХ, 2000. – 410 с.

296. Лышко Г.П. Топлива, смазочные материалы и технические жидкости. – Москва: Колос, 1979. – 256 с.

297. Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1988. – 464 с.

298. Черножуков Н.И., Крейн С.Э. Окисляемость минеральных масел. 3-е изд., пер. и доп. – М.: Гостоптехиздат, 1955. – 372 с.

299. Зимон А.Д. Коллоидная химия. – М.: Изд-во «Агар», 2007. – 344 с.

300. Зимон А.Д. Физическая химия. – М.: Изд-во «Агар», 2006. – 316 с.

301. Елисеева В.И. Полимерные дисперсии. – М.: Химия, 1980. – 296 с.

302. Вигдорович В.И., Шель Н.В., Зарапина И.В. Химия. Ч. IV. Дисперсные системы. Химия высокомолекулярных соединений: Учебное пособие / Министерство образования и науки РФ. ФГБОУ ВПО Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2013. – 177 с.

303. Проскуряков В.А., Драбкин А.Е. Химия нефти и газа. – Ленинград: Химия, 1983. – 424 с.

304. Дияров И.Н., Батуева И.Ю. Химия нефти. Руководство к лабораторным занятиям. – Ленинград: Химия, 1990. – 240 с.

305. Кучерявый В.И., Лебедев В.В. Синтез и применение карбамида. – Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1970. – 447 с.

306. Химия и технология нефти и газа: Учебник для сред. спец. учеб. заведений / В.Н. Эрих, М.Г. Расина, М.Г. Рудин. 2-е изд., перераб. – Ленинград: Химия. Ленингр. отд-ние, 1977. – 424 с.

307. Удлер Э.И. Повышение эффективности очистки нефтепродуктов в сельском хозяйстве средствами фильтрации: дис. … д-ра. техн. наук: 05.20.03 / Удлер Эдуард Исаакович. – Томск, 1988. – 524 с.

308. Соколов В.И. Центрифугирование. – М.: Химия, 1979. – 408 с.

309. Бремер Г.И. Жидкостные сепараторы. – М.: Химия, 1957. – 243 с.

310. Ходаков В.А. Исследование энергетического баланса полнопоточных масляных центрифуг: дис. … канд. техн. наук: 05.05.03 / Ходаков Владимир Алексеевич. Зерноград, 1974. – 218 с.

311. Иванов Е.Н., Волков В.С. Исследование энергетики процесса центрифугирования / Материалы VI Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» [Электронный ресурс]. – URL: https://scienceforum.ru/2014/article/2014005448 (дата обращения: 10.07.2025).

312. Получение компонентов многофункциональных присадок к дизельному топливу / С.В. Романцова, А.Ю. Корнев, С.А. Нагорнов, А.П. Ликсутина // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для АПК: Сборник научных докладов XX Международной научно-практической конференции, Тамбов, 26–27 сентября 2019 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2019. – С. 256 – 259.

313. Использование многокомпонентных смесевых моторных топлив / С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, А.Ю. Корнев, А.П. Ликсутина // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для АПК: Сборник научных докладов XX Международной научно-практической конференции, Тамбов, 26–27 сентября 2019 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2019. – С. 259 – 261.

314. О стабильности биотоплива при хранении / С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, А.П. Ликсутина, А.Ю. Корнев // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для АПК: Сборник научных докладов XX Международной научно-практической конференции, Тамбов, 26–27 сентября 2019 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2019. – С. 265 – 268.

315. Использование гетерогенных катализаторов для синтеза биодизельного топлива / С.А. Нагорнов, А.П. Ликсутина, И.В. Бусин, А.Ю. Корнев, С.В. Романцова // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для АПК: Сборник научных докладов XX Международной научно-практической конференции, Тамбов, 26–27 сентября 2019 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2019. – С. 268 – 272.

316. Использование липаз для синтеза биодизельного топлива / С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, А.П. Ликсутина, И.В. Бусин, А.Ю. Корнев // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для АПК: Сборник научных докладов XX Международной научно-практической конференции, Тамбов, 26–27 сентября 2019 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2019. – С. 272 – 278.

317. Механизм синтеза моноалкиловых эфиров - биодобавок к нефтепродуктам - на основе

возобновляемого сырья / А. Ю. Корнев, С. А. Нагорнов, А. П. Ликсутина, Н. Н. Булыгин // Новые технологии при использовании техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве: Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбов, 01–02 октября 2025 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2025. – С. 331 – 335.

318. О механизме массопереноса вещества через границу раздела фаз в системе «жидкость-жидкость» при реакции переэтерификации / В.Н. Королев, Е.Ю. Левина, С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев // Наука в центральной России. – 2020. – № 5 (47). – С. 95 – 104.

319. Александров И.А. Массопередача при ректификации и абсорбции многокомпонентных смесей. – Ленинград: Химия. Ленингр. отд-ние, 1975. – 319 с.

320. Рамм В.М. Абсорбция газов. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Москва: Химия, 1976. – 654 с.

321. Нагорнов С.А., Дворецкий Д.С. Дворецкий С.И., Ермаков А.А. Моделирование процесса метанолиза растительных масел в аппарате вихревого слоя ферромагнитных частиц // Вестник ТГТУ. – 2010. – №4. – С 944 – 953.

322. Клейтон В. Эмульсии, их теория и технические применения. / Пер. с англ. под ред. П.А. Ребиндера. – М.: Изд-во иностр. лит., 1950. – 680 с.

323. Интенсификация процессов массообмена в аппаратах для получения биотоплива / С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, С. В. Романцова [и др.]. / Проблемы и перспективы инновационного развития АПК: Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбов, 16 октября 2020 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2020. – С. 203 – 205.

324. Сиротюк М.Г. Акустическая кавитация. – М.: Наука, 2008. – 271 с.

325. Леонов Г.В., Савина Е.И. Информационное моделирование кавитационных процессов, инициированных ультразвуковыми осцилляторами // International Workshopsand Tutorialson Electron Devicesand Materials (EDM '2006). Новосибирск: НГТУ, 2006 [Электронный ресурс]. – URL: http://ультразвук.net/downloads/edm06/modeling_rus.pdf (дата обращения 01.02.2016).

326. Ashokkumar M., Rink R., Shestakov S. Hydrodynamic cavitation – an alternative to ultrasonic food processing // Electronic Journal Technical Acoustics. – 2011. – № 9 [Электронный ресурс]. – URL: http://www.ejta.org/en/ashokkumar1 (дата обращения 01.02.2016).

327. Margulis M.A. Sonochemistry as a New Promising Area of High Energy Chemistry // High Energy Chemistry. – 2004. – Vol. 38, iss. 3. – P. 135 – 142.

328. Окслер Г. Что такое кавитация? // Арматуростроение. – 2012. – № 3 (78). – С. 70 – 73.

329. Смородов Е.А., Галиахметов Р.Н., Ильгамов М.А. Физика и химия кавитации. – М.:Наука, 2008. – 226 с.

330. Пирсол И.С. Кавитация: пер. с англ. – М.: Мир, 2012. – 98 с.

331. Промтов М. А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов // Вестник ТГТУ. – 2008. – Том 14. – №4. – С. 861 – 869.

332. Кнэпп Р., Дейли Дж., Хэммит Ф. Кавитация: пер. с англ. – М.: Мир, 1974. – 687 с.

333. Яворский Б.М., Датлаф А.А. Справочник по физике. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. – 512 с.

334. Пильгунов В.Н. Исследование разрывной прочности минерального масла // Наука иобразование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. – 2012. – № 5. [Электронный ресурс]. – URL: http://technomag.edu.ru/doc/370692.html (дата обращения 01.02.2016).

335. Русалин С.М., Юшко В.Л., Кузьмина В.В. Содержательное и математическое представление событий в гидравлической системе с кавитатором и резонатором // Вестник ХПИ. Сборник научных трудов. – 2010. – № 20. – С. 37 – 45.

336. Жулай Ю.А. Гидродинамическая кавитация в промышленных технологиях // Геотехническая механика. Межведомственный сборник научных трудов. Днепропетровск. – 2006. – № 64. – С. 142 – 149.

337. Мишина О.О. Ультразвук и его применение / Материалы VII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» [Электронный ресурс]. – URL: https://scienceforum.ru/2015/article/2015010823 (дата обращения: 21.07.2025).

338. Кардашев Г.А., Михайлов П.Е. Тепломассообменные акустические процессы и аппара-

ты. – М.: Машиностроение, 1973. – 223 с.

339. Фадеев С.А. Улучшение показателей тракторных двигателей при работе на биотопливе, обработанном ультразвуком: дис. … канд. техн. наук: 05.20.03 / Фадеев Сергей Андреевич. – Саратов, 2011. – 107 с.

340. Гаврилов А.А., Игнатов М.С., Эфрос В.В. Расчет циклов поршневых двигателей: Учеб. Пособие. – Владимир: Владим. гос. ун–т, 2003. – 124 с.

341. Марков В.А., Нагорнов С. А., Девянин С.Н. Состав и теплота сгорания биотоплив, получаемых из растительных масел // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Естественные науки. – 2012. – № 2 (45). – С. 65 – 80.

342. Мунц В.А., Павлюк Е.Ю. Горение и газификация органических топлив : учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2019. – 148 с.

343. Удельная теплота сгорания топлива: бензина, керосина, дизельного топлива, газов [Электронный ресурс]. – URL: https://tim-oil.ru/articles/udelnaya-teplota-sgoraniya-topliva-benzina-kerosina-dizelnogo-topliva-gazov/ (дата обращения: 21.07.2025).

344. Пономарева А.А., Самуйлова Е.О., Лесных А.В. Топливно-энергетические ресурсы – СПб: Университет ИТМО, 2021. – 107 с.

345. Knothe G. Fuel properties of highly polyunsaturated fatty acid methyl esters // Energy Fuels, 2012. – № 26. – Pp. 5265 – 5273.

346. Srinivasan G.R., Jambulingam R. Theoretical Prediction of Thermo-physical Properties of Waste Beef Tallow Biodiesel // FME Transactions, 2020. – № 48. – Pp. 600 – 610.

347. Расчёт йодного числа и теплоты сгорания биодизельного топлива / С.А. Нагорнов, А.П. Ликсутина, А.Ю. Корнев [и др.]. / В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции. – Тамбов, 2021. – С. 198 – 201.

348. Зейнетдинов Р.А., Дьяков И.Ф., Ярыгин С.В. Проектирование автотракторных двигателей. Учебное пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 168 с.

349. Колчин А.И. Демидов В.П. Расчет автомобильных и тракторных двигателей. Учебное пособие для вузов - 2-е изд., перераб. и доп. – М: Высшая школа, 1980. – 496 с.

350. Поваляев В.А. Улучшение показателей работы тракторного дизеля совершенствованием впускных каналов: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / Поваляев Валентин Александрович. – Челябинск, 2007. – 185 с.

351. Кухарёнок Г.М. Теория рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания: методическое пособие для студентов заочной формы обучения специальности 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания». – Минск: БНТУ, 2011. – 62 с.

352. Возницкий И. В., Михеев Е. Г. Судовые дизели и их эксплуатация. Учеб. для мореход, училищ. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1990. – 360 с.

353. Зангиев А.А., Шпилько А.В., Левшин А.Г. Эксплуатация машинно-тракторного парка. – М.: КолосС, 2008. – 320 с.

354. Иофинов С.А., Лышко Г.П. Эксплуатация машинно-тракторного парка: по специальности «Механизация сельского хозяйства». 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Колос, 1984. – 351 с.

355. Эксплуатация машинно-тракторного парка: учебное пособие / А.И. Завражнов, С.М. Ведищев, Ю.Е. Глазков [и др.]. – Тамбов: Издат. центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – 224 с.

356. Блынский Ю.Н. Проектирование производственных процессов в растениеводстве: учебное пособие. – Новосибирск: Изд-во Новосибирского ГАУ, 2019. – 278 с.

357. Попов Л. А. Эксплуатация машинно-тракторного парка в агропромышленном комплексе: Учеб. пособие (лаб. практикум) по дисциплине «Эксплуатация машинно-тракторного парка» для студ. направления 560800 «Агроинженерия» по спец. 311300 «Механизация сельского хозяйства», 311400 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» всех форм обучения. – Сыктывкар: Сыктывкарский лесной ин-т, 2004. – 152 с.

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

359. Лиханов В.А., Лопатин О.П. Биотопливо или дымящие автомобили? // Теоретическая и прикладная экология. – 2021. – № 3. – С. 228 – 236.

360. Фоминых А.В. Исследование рабочего процесса дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метаноле и метиловом эфире рапсового масла с двойной системой топливоподачи: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.04.02 / Фоминых Александр Валерьевич. – С.-Пб., 2017. – 18 с.

361. Систер В.Г., Иванникова Е.М., Нагорнов С.А. Альтернативные топлива для дизельных двигателей: учеб. пособ. – М.: ООО «Издательство Агрорус», 2013. – 230 с.

362. Работа дизелей на нетрадиционных топливах / В.А. Марков, А.И. Гайворонский, Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко. – М.: Легион-Автодата, 2008. – 464 с.

363. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 376 с.

364. Марков В.А., Нагорнов С.А., Девянин С.Н. Применение смесевых биотоплив на основе метиловых эфиров растительных масел в транспортных дизелях. // Безопасность в техносфере. – 2011. – № 6. – С. 26 – 33.

365. Лиханов В.А. Снижение токсичности и улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения метанола. – Киров: Вят. ГСХА, 2001. – 212 с.

366. Марков В.А., Бебенин Е.В., Поздняков Е.Ф. Сравнительная оценка альтернативных топлив для дизельных двигателей // Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 5 (35). – С. 24 – 29.

367. Использование биологических добавок в дизельное топливо / Д.С. Буклагин, С.А. Нагорнов, А.Н. Зазуля, И.Г. Голубев. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 52 с.

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

369. Рапсовое масло в смеси с дизельным топливом / С.Н. Девянин, Л.И. Быковская, В.В. Маркова, В.А. Марков // Техника и оборудование для села. – 2010. – № 9. – С. 45 – 46.

370. Девянин С.Н., Марков В.А. Рапсовое масло как экологическая добавка к нефтяным топливам дизелей // Тр. НАМИ. – 2010. – № 243. – С. 56 – 64.

371. Марков В.А., Девянин С.Н., Нагорнов С.А. Работа транспортного дизеля на смесях дизельного топлива и метилового эфира подсолнечного масла //Транспорт на альтернативном топливе. – 2013. – № 3 (33). – С. 56 – 62.

372. Метиловый эфир рапсового масла как дизельное топливо / В.А. Марков, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова [и др.] // Транспорт на альтернативном топливе. – 2017. – № 6. – С. 17 – 30.

373. Сравнительный анализ показателей дизельного двигателя, работающего на смесях нефтяного дизельного топлива и растительных масел / В.А. Марков, С.Н. Девянин, С.А. Нагорнов, Н.А. Иващенко // Вестн. МГТУ им. Н. Э. Баумана. – Сер. «Машиностроение». – 2012. – Вып. 7. – С. 59 – 73.

374. Марков В.А., Девянин С.Н., Нагорнов С.А.Применение смесевых биотоплив на основе метиловых эфиров растительных масел в транспортных дизелях. // Изв. Волгоградского ГТУ. – 2012. – Т. 12. – № 4. – С. 9 – 14.

375. Уханова Ю.В. Обоснование использования соевого масла в качестве биодобавки к нефтяному дизельному топливу: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 / Уханова Юлия Владимировна. – Пенза, 2019. – 196 с.

376. Иванов А.А. Оценка эксплуатационных показателей машинно-тракторного агрегата при работе на метаноло-рапсовой эмульсии: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 / Иванов Александр Алексеевич. – Тверь, 2017. – 147 с.

377. Григорян Е.А. Оценка эффективности использования рыжико-минерального топлива в тракторных дизелях с камерой сгорания ЦНИДИ: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 / Григорян Екатерина Алексеевна. – Пенза, 2017. – 219 с.

378. Пуков Р.В. Оценка топливопотребления двигателей при ультразвуковой обработке топлива. // Техника и оборудование для села. – 2017. – № 11. – С. 12 – 18.

379. Фадеев С.А. Улучшение показателей тракторных двигателей при работе на биотопливе, обработанном ультразвуком: дис. … канд. техн. наук: 05.20.03 / Фадеев Сергей Андреевич. – Сара-

тов, 2011. – 107 с.

380. Уханов А.П., Сидоров Е.А. Экспериментальная оценка влияния ультразвуковой обработки сурепно-минерального топлива на показатели тракторного дизеля // Научное обозрение. – 2016. – № 1. – С. 108 – 114.

381. Мещеряков А.Г. Совершенствование комбинированного устройства для получения и активации дизельного смесевого топлива: дис. … канд. техн. наук: 05.20.01 / Мещеряков Александр Геннадьевич. – Мичуринск - Наукоград, 2022. – 141 с.

382. Корнев А.Ю., Остриков В.В., Булыгин Н.Н. К оценке изменения смазывающих свойств нефтепродуктов за счет введения пленкообразующих добавок // Новые технологии при использовании техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве: Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 45-летию ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбов, 01–02 октября 2025 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2025. – С. 328 – 330.

383. Итинская И.И. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям. – М.: Колос, 1982. – 205 с.

384. Буяновский И.А. Оценка верхнего предела эффективности химически активных присадок // Химия и технология топлив и масел. – 1989. – № 12. – С. 34 – 35.

385. Григорьев М.А. Качество моторного масла и надежность двигателей. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 231 с.

386. Войнов К.Н. Триботехника и надѐжность механических систем: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 74 с.

387. Разработать технологический процесс получения и использования смазочных материалов на базе отходов производства растительных масел: отчет о НИР 09.03.07.05 (промежуточный) / Остриков В.В., Тупотилов Н.Н., Корнев А.Ю. [и др.]. – Тамбов: ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии, 2010. – 115 с.

388. Адлер Ю.П. Введение в планирование эксперимента. – М.: Изд-во «Металлургия», 1968. – 155 с.

389. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / АН СССР. Науч. совет по комплексной проблеме «Кибернетика». Секция «Мат. теория эксперимента». 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во «Наука», 1976. – 279 с.

390. Соколовская И.Ю. Полный факторный эксперимент. Методические указания для самостоятельной работы студентов. – Новосибирск: НГАВТ, 2010. – 36 с.

391. Андреев В.Н. Математическое планирование экспериментов. Методические указания. – Л.: ЛТА, 1982. – 39 с

392. Каменев Б.Б., Антонов В.Ф. Основы научных исследований. Методические указания к курсовой работе по дисциплине «Основы научных исследований» для студентов специальности 260203 – СПб.: СПбГЛТА, 2004. – 67 с.

393. Маслов Г.Г., Дидманидзе О.Н., Цибулевский В.В. Оптимизация параметров и режимов работы машин методами планирования эксперимента: Учебн. пособие для сельскохозяйственных вузов. – М.: УМЦ «Триада», 2007. – 292 с.

394. 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.

395. Теория. Динамическое рассеяние света [Электронный ресурс]. – URL: www.photocor.ru/theory (дата обращения 19.06.2012).

396. Разработать руководство по повышению эффективности использования нефтепродуктов в зарубежной технике послегарантийного срока эксплуатации: отчет о НИР 09.04.07.07 (промежуточный) / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Тупотилов Н.Н., [и др.]. – Тамбов: ФГБНУ ВНИИТиН, 2012. – 109 с.

397. Справочник химика: справочное издание / ред. Б. П. Никольский. Т. 3: Химическое равновесие и кинетика. Растворы. Электрохимия. Аналитическая и техническая химия. – Л.; М.: Госхимиздат, 1952 – 1192 с.

398. Краткий справочник по химии / И.Т. Гороновский, Ю.П. Назаренко, Е.Ф. Некряч; под общей редакцией О.Д. Куриленко. 4-е издание, исправленное и дополненное. – Киев: Наукова дум-

ка, 1974. – 991 с.

399. Руководство по безопасности для нефтебаз и складов нефтепродуктов. Серия 09. Выпуск 03. – М.: Закрытое акционерное общество «Научно-техниче ский центр исследований проблем промышленной безопасности», 2013. – 60 с

400. Приказ Ростехнадзора от 15.12.2020 № 529 (ред. от 09.07.2024) Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила промышленной безопасности складов нефти и нефтепродуктов» [Электронный ресурс]. – URL: https://base.garant.ru/400164990/?ysclid=mjbe0f6n4v374893844 (дата обращения 30.07.2024).

401. Постановление Госгортехнадзора России № 97 от 31.12.99. РД 09-340-00. Методические указания по обследованию нефтебаз и складов ГСМ [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/1200006314?ysclid=mjben8cnsx16149317 (дата обращения 30.07.2024).

402. Требования к складам ГСМ, нефтехранилищам и к резервуарам для хранения нефти [Электронный ресурс]. – URL: https://expertpro96.ru/trebovaniya_pb/trebovaniya-k-skladam-gsm-neftekhranilischam-i-k-r/ (дата обращения 30.07.2024).

403. Селиванов Н.И. Испытания автотракторных двигателей: учеб. Пособие. – Красноярск: Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2014. – 220 с.

404. Салмин В.В., Москвин Р.Н., Борсук В.В. Автомобильные двигатели: практикум. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 144 с.

405. Производственные практики: методические указания / сост. О.С. Володько, А.П. Быченин. – Кинель: РИО СГСХА, 2017. – 37 с

406. Драгомиров С.Г., Шарапов А.М. Стендовые испытания и диагностика автомобильных и тракторных поршневых двигателей: лаб. практикум. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2021. – 219 с.

407. Тепловой расчёт и тепловой баланс дизельного двигателя без наддува и с турбонаддувом. Расчёт основных деталей двигателя: учебное пособие / В.М. Мелисаров, М.А. Каменская, П.П. Беспалько, А.М. Каменский. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 100 с.

408. Контроль качества светлых нефтепродуктов на сельскохозяйственных предприятиях / А.Ю. Корнев, А.П. Ликсутина, С.А. Нагорнов, И.В. Бусин, Б.Т. Алибаев / В сборнике: Современные задачи инженерных наук. Сборник научных трудов VI-ого Международного научно-технического Симпозиума «Современные энерго- и ресурсосберегающие технологии СЭТТ - 2017». – 2017. – С. 80 – 85.

409. Качество ГСМ, приобретаемых предприятиями АПК [Электронный ресурс]. – URL: http://altmis.ru/publ/kachestvo_gsm_priobretaemykh_predprijatijami_apk/1-1-0-21 (дата обращения 26.04.2016).

410. Мониторинг горюче-смазочных материалов в хозяйствах Курской области [Электронный ресурс]. – URL: http://chmis.ru/index.files/page63920.htm (дата обращения 26.04.2016).

411. Качество дизельного топлива, используемого сельхозпроизводителями Владимирской области [Электронный ресурс]. – URL: http://www.vladmis.ru/index.php/en/publikatsii-2014/330-kachestvo-dizelnogo-topliva-ispolzuemogo-selkhozproizvoditelyami-vladimirskoj-oblasti (дата обращения 26.04.2016).

412. ФБУ «НИЦ ПМ – Ростест». Итоги контроля топлива [Электронный ресурс]. – URL: https://www.rostest.ru/news/88984/lfnf (Дата обращения 20.09.2025).

413. 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.

414. Горбунов В.В., Патрахальцев Н.Н. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – М.: Издательство Российского университета дружбы народов, 1998. – 214 с.

415. Чуршуков Е.С., Митягин В.А. Защита от коррозии средств хранения и транспортирования нефтепродуктов. – М.:ЦНИИТЭнефтехим,1983. – 48 с.

416. Чистота дизельного топлива как основа работоспособности техники / Аналитический отчет Отдела механизации и электрификации в отраслях АПК [Электронный ресурс] URL: https://agriculture.bashkortostan.ru/ (дата обращения 17.04.2016).

417. Остриков В.В., Корнев А.Ю. Анализ изменения физико-химических свойств масел в

двигателях зарубежной техники / В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. Сборник научных докладов XVI Международной научно-практической конференции. – 2011. – С. 329 – 331.

418. Остриков В.В., Корнев А.Ю. Анализ работоспособности масел в двигателях зарубежной техники // Техника и оборудование для села. – 2011. – № 6. – С. 34 – 35.

419. Разработать методические положения по эффективному использованию смазочных материалов в сельскохозяйственной технике нового поколения отечественного и зарубежного производства в послегарантийный срок использования: отчет о НИР 09.03.07.07 (промежуточный) / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Тупотилов Н.Н. [и др.]. – Тамбов: ФГБНУ ВНИИТиН, 2010. – 101 с.

420. Разработать технологическую схему повышения эффективности использования смазочных материалов в сельскохозяйственной технике зарубежного производства в послегарантийный срок использования: отчет о НИР 09.04.07.08 (промежуточный) / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Вязинкин В.С. [и др.]. – Тамбов: ФГБНУ ВНИИТиН, 2011. – 106 с.

421. Корнев А.Ю., Остриков В.В., Булыгин Н.Н. Изменение содержания загрязнений в некондиционном дизельном топливе под действием коагулянтов // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 31 января 2025 года. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2025. – С. 344 – 350.

422. 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.

423. Состав и свойства светлых нефтепродуктов после многофакторного физико-химического воздействия / А.Ю. Корнев, И.В. Бусин, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для АПК: Сборник научных докладов XX Международной научно-практической конференции, Тамбов, 26 – 27 сентября 2019 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2019. – С. 251 – 256.

424. 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.

425. Бусин И.В., Корнев А.Ю. Исследование влияния эффектов механоактивации на характеристики дизельного топлива // Наука в центральной России. – 2019. – № 2 (38). – С. 123 – 129.

426. 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.

427. Определить научно-обоснованные параметры комплексной обработки светлых нефтепродуктов, обеспечивающей улучшение их качества: отчет о НИР АААА-А17-117111420133-7 (промежуточный) / Корнев А.Ю., Бусин И.В., Мещерякова Ю.В., Виноградов С.Д. – Тамбов: ФГБНУ ВНИИТиН, 2017. – 134 с.

428. 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.

429. Бусин И.В., Нагорнов С.А., Корнев А.Ю. Исследование влияния процессов механоактивации на физико-химические свойства дизельного топлива / Инженерные технологии для устойчивого развития и интеграции науки, производства и образования: Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 15-летию Ассоциации «Объединённый университет имени В.И. Вернадского», Тамбов, 29–31 мая 2019 года. Том I. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2019. – С. 246 – 251.

430. 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.

431. Корнев А.Ю., Бусин И.В. Способ комплексной обработки светлых нефтепродуктов, обеспечивающий сохранение и улучшение качества / Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: Сборник научных статей по материалам XV Международной научно-практической конференции, посвященной памяти профессора О.Г. Ангилеева в рамках XXI Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал-2019», Ставрополь, 14–15 марта 2019 года. – Ставрополь: Издательство «АГРУС», 2019. – С. 264 – 270.

432. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Корнев А.Ю. Комплексная обработка светлых нефтепродуктов для сохранения их качества / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для АПК: Сборник научных докладов XX Международной научно-практической конференции, Тамбов, 26 – 27 сентября 2019 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2019. – С. 248 – 251.

433. Tupotilov N.N., Ostrikov V.V., Kornev A.Yu. Plant oil derivatives as additives for lubricants // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. – 2006. – Т. 42. – № 3. – P. 192 – 195.

434. Контроль качества топлив и смазочных материалов, используемых в узлах и агрегатах сельскохозяйственной техники / В.В. Остриков, С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев [и др.]. – М.: Россельскохозакадемия, 2007. – 115 с.

435. Растительные масла как основа для получения и использования аналогов смазочных материалов / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов, А.Ю. Корнев, А.Г. Зимин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2010. – № 5. – С. 11 – 13.

436. Результаты исследований по очистке растительных масел для использования их в качестве основы смазочных материалов / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов, А.Ю. Корнев [и др.] / Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: материалы Международной научно-практической конференции, Мичуринск, 13–14 мая 2010 года. – Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2011. – С. 147 – 151.

437. Технологии получения смазочных и консервационных материалов из растительных масел и отходов их производства для сельскохозяйственной техники / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов, А.Ю. Корнев [и др.] / Международный агроэкологический форум: Материалы Международного агроэкологического форума: в 3-х томах, Санкт-Петербург, 21–23 мая 2013 года / Международный Научный комитет. Том 2. – Санкт-Петербург: Государственное научное учреждение Северо-Западный научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук, 2013. – С. 253 – 258.

438. Получение смазочных материалов на основе растительных масел и отходов от их производства / А.Г. Зимин, А.Ю. Корнев, Н.Н. Тупотилов, В.В. Остриков // Труды международной научно-технической конференции Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. – 2014. – Т. 4. – С. 65 – 70.

439. Получение смазочных материалов на основе отходов производства растительных масел для использования в сельскохозяйственной технике / А.Ю. Корнев, В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов, А.Г. Зимин / Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства (с участием экологов Азербайджана, Беларуси, Германии, Грузии, Казахстана, России, Узбекистана и Украины): Сборник трудов III Международной научной экологической конференции, Краснодар, 20 – 21 марта 2013 года. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2013. – С. 351 – 355.

440. Облащикова И.Р. Исследование рапсового масла в качестве основы альтернативных смазочных материалов: дис. … канд. техн. наук: 05.17.07 / Облащикова Ирина Рудольфовна – Москва, 2004. – 109 с.

441. Определить научно-обоснованные параметры технологического процесса получения экологически чистого смесевого моторного топлива для дизельных двигателей: отчет о НИР АААА-А19-119062190012-0 (промежуточный) / Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Романцова С.В. [и др.]. – Тамбов: ФГБНУ ВНИИТиН, 2020. – 139 с.

442. Разработать инновационную технологию получения биодизельного топлива из возобновляемых энергетических ресурсов, включая микроводоросли: отчет о НИР АААА-А15-115121510140-8 (промежуточный) / Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Мещерякова Ю.В. [и др.]. –

Тамбов: ФГБНУ ВНИИТиН, 2015. – 133 с.

443. Биотопливо из нетрадиционных растительных масел / С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, Ю.В. Мещерякова [и др.] // Наука в центральной России. – 2017. – № 2 (26). – С. 53 – 61.

444. Турина Е.Л., Корнев А.Ю. Сортоиспытание сафлора в Крыму и возможность получения биотоплива // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 98. – С. 120 – 125.

445. Quality of camelina oil cultivated in Black Sea region / E.L. Turina, V.S. Pashtetsky, A.Yu. Kornev [et al.] / IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Voronezh, 26–29 февраля 2020 года. – Voronezh, 2021. – P. 022015.

446. Романцова С.В., Корнев А.Ю., Алибаев Б.Т. Совершенствование технологического процесса получения жидкого биотоплива из растительных масел высокой кислотности / Повышение эффективности и экологические аспекты использования ресурсов в сельскохозяйственном производстве, Тамбов, 06–07 октября 2016 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2016. – С. 144 – 147.

447. Романцова С.В., Ликсутина А.П., Корнев А.Ю., Добавка к дизельному топливу из масла семян рыжика с повышенным кислотным числом / Научно-технический прогресс в АПК: проблемы и перспективы: Международная научно-практическая конференция, в рамках XVIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2016», Ставрополь, 30 марта – 01 апреля 2016 года. – Ставрополь: Издательство «АГРУС», 2016. – С. 285 – 289.

448. Романцова С.В., Корнев А.Ю., Алибаев Б.Т. Использование методов рафинации на предварительной стадии получения добавок к топливам / Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: Сборник научных статей XII Международной научно-практической конференции, в рамках XVIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2016», Ставрополь, 30 марта – 01 апреля 2016 года. – Ставрополь: Издательство «АГРУС», 2016. – С. 292 – 298.

449. Процесс получения биодобавки к дизельному топливу из некондиционного масла с повышенным кислотным числом / С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, С.В. Романцова, А.П. Ликсутина / В.И. Вернадский: устойчивое развитие регионов: Материалы Международной научно-практической конференции: в 5-ти томах, Тамбов, 07–09 июня 2016 года. Том 5. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2016. – С. 117 – 125.

450. Получение биодобавок к дизельному топливу из микроводоросли хлорелла / С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, С.В. Романцова [и др.] / Проблемы и перспективы инновационного развития АПК: Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбов, 16 октября 2020 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2020. – С. 213 – 217.

451. 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.

452. Разработать новый способ получения экологически чистого смесевого моторного топлива для дизельных двигателей: отчет о НИР АААА-А19-119062190012-0 (промежуточный) / Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Ликсутина А.П. [и др.]. – Тамбов: ФГБНУ ВНИИТиН, 2019. – 169 с.

453. Разработать технологический процесс получения биотоплива за счет использования биологических катализаторов (ферментов): отчет о НИР АААА-А19-119062190012-0 (заключительный) / Корнев А.Ю., Нагорнов С.А., Ликсутина А.П. [и др.]. – Тамбов: ФГБНУ ВНИИТиН, 2021. – 195 с.

454. Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Романцова С.В. Присадки для улучшения характеристик топлив // Сельский механизатор. – 2021. – № 1. – С. 34 – 35.

455. Бусин И.В., Ликсутина А.П., Корнев А.Ю. Биотопливо из отходов животноводства // Сельский механизатор. – 2021. – № 7. – С. 29 – 31.

456. Получение биодизельного топлива за счет использования ферментов Aspergillus niger / Ю.В. Мещерякова, А.Ю. Корнев, С.А. Нагорнов [и др.] / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов

XXII Международной научно-практической конференции, Тамбов, 27–29 сентября 2023 года. – Тамбов: ФГБНУ ВНИИТиН, 2023. – С. 227 – 231.

457. 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.

458. Синтез противоизносных компонентов топлив из возобновляемого сырья / А.Ю. Корнев, С.В. Романцова, С.А. Нагорнов, Б.Т. Алибаев // Инновации в сельском хозяйстве. – 2017. – № 1 (22). – С. 170 – 175.

459. Структура присадок для современных дизельных топлив / С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, С.В. Романцова, С.Е. Синютина // Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК: Материалы международной научно-практической конференции. Сборник научных трудов, Мичуринск, 25–27 октября 2017 года / Под общей редакцией В.А. Солопова. – Мичуринск: Мичуринский государственный аграрный университет, 2017. – С. 152 – 157.

460. Исследование действия добавок различной природы на изменение смазывающих свойств дизельного топлива / Б.Т. Алибаев, А.Ю. Корнев, С.В. Романцова, И.В. Бусин // Научно-техническое обеспечение АПК Сибири: Материалы Международной научно-технической конференции, Краснообск, 07–09 июня 2017 года. Том 1. – Краснообск: Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, 2017. – С. 262 – 266.

461. Присадки к нефтяным дизельным топливам / В.А. Марков, С.А. Нагорнов, С.В. Романцова, С.Е. Синютина, А.Ю. Корнев // АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. – 2018. – Т. 17, № 5. – С. 212 – 218.

462. 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.

463. 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.

464. Nabi M.N., Rasul M.G., Anwar M. Energy, exergy, performance, emission and combustion characteristics of diesel engine using new series of non-edible biodiesels // Renewable energy. – 2019. – V. 140. – P. 647 – 657.

465. Романцова С.В., Корнев А.Ю., Нагорнов С.А. Исследование фракционного состава биотоплив / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XIX международной научно-практической конференции, посвященной году экологии в России и 80-летию Тамбовской области, Тамбов, 27 – 28 сентября 2017 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2017. – С. 169 – 171.

466. О фракционном составе биодизельного топлива / С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, С.В. Романцова [и др.] / Проблемы и перспективы инновационного развития АПК: Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбов, 16 октября 2020 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2020. – С. 190 – 193.

467. О химической стабильности биотоплив при их хранении в стальных резервуарах / С. А. Нагорнов, А. Ю. Корнев, С. В. Романцова [и др.] / Проблемы и перспективы инновационного развития АПК: Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбов, 16 октября 2020 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2020. – С. 193 – 196.

468. Об испаряемости органического биотоплива / С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, С.В. Романцова [и др.] / Проблемы и перспективы инновационного развития АПК: Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбов, 16 октября 2020 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2020. – С. 197 – 199.

469. Прогнозирование цетанового числа биодизельного топлива / С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, С.В. Романцова [и др.] / Проблемы и перспективы инновационного развития АПК :

Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбов, 16 октября 2020 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2020. – С. 200 – 202.

470. 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.

471. Методы расчёта цетанового числа биодизельного топлива / С.В. Романцова, С.А. Нагорнов, А.П. Ликсутина, А.Ю. Корнев / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства : Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции, Тамбов, 28–29 сентября 2021 года. – Тамбов: ФГБНУ ВНИИТиН, 2021. – С. 195 – 198.

472. 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.

473. 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.

474. Исследование влияния многофункциональных добавок на смазочные свойства низкосернистых дизельных топлив / В.В. Остриков, А.Ю. Корнев, И.Н. Шихалев, А.Ю. Бектилевов // Наука в центральной России. – 2013. – № 5. – С. 20 – 27.

475. Повышение смазывающих свойств топлива / В.В. Остриков, А.Ю. Корнев, К.А. Манаенков, А.Ю. Бектилевов // Сельский механизатор. – 2012. – № 4. – С. 34 – 35.

476. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Бектилевов А.Ю. Повышение эксплуатационных свойств дизельного топлива // Техника и оборудование для села. – 2012. – № 6. – С. 10 – 11.

477. 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.

478. Очистка загрязненного дизельного топлива и повышение его смазывающих свойств в условиях предприятий АПК / В.В. Остриков, А.Ю. Корнев, А.Ю. Бектилевов, С.С. Павлов // Сборник научных докладов ВИМ. – 2012. – Т. 2. – С. 188 – 194.

479. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Шихалев И.Н. Улучшение эксплуатационных свойств дизельного топлива // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – № 3. – С. 39 – 41.

480. Корнев А.Ю., Бусин И.В., Алибаев Б.Т. Исследование влияния наноструктурированного углерода на смазывающие свойства нефтепродуктов / Повышение эффективности и экологические аспекты использования ресурсов в сельскохозяйственном производстве, Тамбов, 06–07 октября 2016 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2016. – С. 123 – 125.

481. 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.

482. Корнев А.Ю., Бусин И.В., Ликсутина А.П. Повышение смазывающей способности дизельных топлив за счет использования соединений из возобновляемого органического сырья // Инженерные технологии для устойчивого развития и интеграции науки, производства и образования: Материалы Международной научно-практической конференции, посвящённой 15-летию Ассоциации «Объединённый университет имени В.И. Вернадского», Тамбов, 29 – 31 мая 2019 года. Том I. – Тамбов: Тамбовский государственный технический университет, 2019. – С. 259 – 262.

483. 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.

484. Повышение эффективности использования дизельного топлива за счет улучшения его эксплуатационных свойств / В.В. Остриков, А.Ю. Корнев, С.А. Нагорнов, А.Ю. Бектилевов / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной

продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства, Тамбов, 24 сентября 2013 года / Сборник научных докладов XVII Международной научно-практической конференции. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2013. – С. 215 – 219.

485. Улучшение низкотемпературных свойств дизельного топлива присадками / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Зимин А.Г., Шихалев И.Н., Бектилевов А.Ю. // Механизация и электрификация сельского хозяйства.– 2013. – № 4. – с. 30 – 32.

486. Исследование влияния добавок к дизельному топливу на его противоизносные и низкотемпературные свойства / Остриков В.В., Корнев А.Ю., Шихалев И.Н., Бектилевов А.Ю. // Материалы Международного научно - технического семинара им. В.В. Михайлова «Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники», выпуск 26. – Саратов, ООО «Буква», 2013. – 230 с. – с. 153 – 157.

487. Ткачев И.И. Улучшение противоизносных свойств малосернистых газоконденсатных и смесевых дизельных топлив: дис. … канд. техн. наук: 05.17.07 / Ткачев Илья Иванович. – Москва, 2004. – 123 с.

488. Исследование влияния добавок на основе фтортензидов 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.

489. Алибаев Б.Т., Корнев А.Ю. Исследование поведения наноструктурированного углерода в среде дизельного топлива / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XIX международной научно-практической конференции, посвященной году экологии в России и 80-летию Тамбовской области, Тамбов, 27–28 сентября 2017 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2017. – С. 142 – 144.

490. Исследование влияния наноструктурированного углерода на физико-химические свойства нефтепродуктов / А.Ю. Корнев, И.В. Бусин, С.А. Нагорнов [и др.] // Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты коррозии: Материалы международной конференции, посвященной памяти профессора, заслуженного деятеля науки и техники РФ В.И. Вигдоровича, Тамбов, 23 – 25 октября 2019 года. – Тамбов: Издательство ИП Чеснокова А.В., 2019. – С. 299 – 303.

491. 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, No. 6. – P. 412 – 414.

492. 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, No. 1. – P. 29 – 33.

493. Вигдорович В.И., Романцова С.В., Нагорнов С.А. Окислительные и коррозионные процессы в резервуарах хранения нефтепродуктов // Вестник Тамбовского университета. Серия: естественные и технические науки. – 2000. – Т.5. – №1. – С. 3 – 8.

494. 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.

495. Хижняков В.И. Коррозионное растрескивание трубопроводов под напряжением при транспорте нефти и газа. – М.: Изд-во КАРТЭК, 2013. – 37 с.

496. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: Учебное пособие / В.В. Остриков, А.И. Петрашев, С.Н. Сазонов, А.В. Забродская. – М.: Инфра-Инженерия, 2019. – 244 с.

497. Корнев А.Ю., Князева Л.Г. Взаимосвязь физико-химических и защитных свойств растительных масел // Актуальные вопросы электрохимии, экологии и защиты от коррозии: Материалы конференции, Тамбов, 27–29 октября 2021 года. – Тамбов: ИП Чеснокова А.В., 2021. – С. 301 – 305.

498. 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.

499. 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, No. 2. – P. 553 – 563.

500. Результаты стендовых испытаний смесевых топлив на основе возобновляемого сырья / А.Ю. Корнев, С.А. Нагорнов, А.П. Ликсутина, Н.Н. Булыгин // Наука в центральной Рос-

сии. – 2025. – № 1 (73). – С. 123 – 133.

501. Остриков В.В. Способ очистки отработанных моторных масел. // Химия и технология топлив и масел. – 1998. – №5. – С. 28 – 29.

502. 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.

503. 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.

504. 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.

505. Пат. 2032718 С1 Российская Федерация, МПК С10М 175/02. Способ очистки отработанного моторного масла от механических примесей : № 4924165/04 : заявл. 02.04.1991 : опубл. 10.04.1995 / Р. Б. Ахметкалиев ; заявитель Ахметкалиев Рыскали Бахтыгереевич. – 5 с.

506. Пат. 2246533 С2 Российская Федерация, МПК С10М 175/02. способ очистки отработанного масла : № 2002134870/04 : заявл. 23.12.2002 : опубл. 20.02.2005 / Л.А. Толтинова, С.В. Хорошев, В.В. Сиротина, А.Н. Солянов ; заявитель Открытое акционерное общество «Научно-исследовательский технологический институт» (ОАО «НИТИ-ТЕСАР»). – 5 с.

507. Пат. 2004584 С1 Российская Федерация, МПК С10М 175/02. Способ регенерации отработанного моторного масла : № 05044254 : заявл. 26.05.1992 : опубл. 15.12.1993 / И. В. Мухортов ; заявитель Игорь Васильевич Мухортов. – 8 с.

508. Пат. 2076898 С1 Российская Федерация, МПК С10М 175/02. Способ регенерации отработанного смазочного масла : № 93026982/04 : заявл. 24.05.1993 : опубл. 10.04.1997 / В. Н. Прокопьев, Р. И. Синянская, Е. В. Мищенко [и др.] ; заявитель Челябинский государственный технический университет, Филиал N 3 Производственного объединения «Аргон». – 5 с.

509. Тупотилов Н.Н., Корнев А.Ю., Остриков В.В. Очистка отработанных синтетических масел аминоспиртами // Наука в центральной России. – 2014. – № 1 (7). – С. 21 – 25.

510. Манг Т., Дрезель У. Смазки: производство, применение, свойства. Справочник: пер. 2-го англ. изд. / под ред. В. М. Школьникова. – СПб.: Профессия, 2015. – 944 с.

511. Остриков В.В., Корнев А.Ю. Смазочная композиция - аналог трансмиссионного масла // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 6. – С. 55 – 56.

512. Способ приготовления и оценка свойств смазочной композиции аналога трансмиссионного масла / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов, А.Ю. Корнев, С.В. Власов // Техника в сельском хозяйстве. – 2006. – № 3. – С. 40 – 42.

513. 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, No. 4. – P. 276-280.

514. 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.

515. Остриков В.В., Корнев А.Ю. Аналог трансмиссионного масла // Сельский механизатор. – 2007. – № 3. – С. 40.

516. 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.

517. 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.

518. 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.

519. Смазка из отработанного масла / В.В. Остриков, А.Ю. Корнев, Н.Н. Тупотилов [и др.] // Сельский механизатор. – 2015. – № 7. – С. 34 – 35.

520. Корнев А.Ю., Шихалев И.Н., Остриков В.В. Получение пластичных смазок на основе отработанных масел / Сборник научных докладов XVII Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности использования ресурсов при произ-

водстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства, Тамбов, 24 сентября 2013 года». – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2013. – С. 227 – 228.

521. 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.

522. Graphite nanoplates as grease lubricant additive / A. Rukhov, E. Bakunin, A. Kornev [et al.] // Fullerenes Nanotubes and Carbon Nanostructures. – 2022. – Volume 30, Issue 1 – P. 167 – 170.

523. 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.

524. 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.

525. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике. – М.: Машиностроение, 1969.– 176 с.

526. Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Романцова С.В. Совершенствование технологического процесса получения биодизельного топлива // Сельский механизатор. – 2021. – № 2. – С. 30 – 31.

527. Инновационная технология получения биодизельного топлива / С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, С.В. Романцова, И.В. Ерохин // Сельский механизатор. – 2015. – № 7. – С. 36 – 37.

528. Нагорнов С.А., Ликсутина А.П., Корнев А.Ю. Технология получения смесевых топлив для использования в строительной технике // Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона. – 2015. – № 6. – С. 78 – 81.

529. Романцова С.В., Корнев А.Ю., Мещеряков А.Г. Совершенствование технологии получения композитного моторного топлива для дизельных двигателей / Инновационные технологии в науке и образовании : Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, с. Дивноморское, 05–09 сентября 2018 года – с. Дивноморское: Общество с ограниченной ответственностью «ДГТУ-ПРИНТ», 2018. – С. 51 – 55.

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

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

532. Повышение эффективности использования реакторов для производства биодизельного топлива / С. А. Нагорнов, А. Ю. Корнев, С. В. Романцова [и др.] // Проблемы и перспективы инновационного развития АПК: Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбов, 16 октября 2020 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2020. – С. 205 – 209.

533. Нагорнов, С.А., Корнев А.Ю., Романцова С.В. Оптимальное управление процессом переэтерификации жиров растительного и животного происхождения // Наука в центральной России. – 2020. – № 4(46). – С. 98 – 106.

534. Мещеряков А.Г., Мещерякова Ю.В., Корнев А.Ю. Исследование свойств смесевого топлива, полученного с помощью механовоз действия / Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: Материалы XIII Международной научно-практической интернет-конференции, п. Правдинский, Московская обл., 08–10 июня 2021 года. – п. Правдинский, Московская обл.: Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса (Правдинский), 2021. – С. 518 – 522.

535. Исследование дизельного смесевого 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.

536. Эксплуатация транспортного дизеля на смесевом топливе / С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, С.В. Романцова [и др.] // Проблемы и перспективы инновационного развития АПК:

Сборник научных докладов Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию ФГБНУ ВНИИТиН, Тамбов, 16 октября 2020 года. – Тамбов: Студия печати Галины Золотовой, 2020. – С. 217 – 220.

537. Nagornov S.A., Kornev A.Yu., Romantzova S.V. Improving the Three-Component Mixed Motor Fuel Manufacturing Process // Advanced Materials and Technologies. – 2020. – №. 2 (18). – P. 57 – 65.

538. Нагорнов С.А., Корнев А.Ю., Мещерякова Ю.В. Исследование работы дизеля на смесевом биодизельном топливе / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: XVIII Международная научно-практическая конференция, Тамбов, 23–24 сентября 2015 года. – Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2015. – С. 240 – 243.

539. Синтез биодобавки к дизельному топливу / С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, Ю.В. Мещерякова [и др.] // Наука в центральной России. – 2016. – № 1 (19). – С. 15 – 22.

540. 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.

541. Остриков В.В., Корнев А.Ю. Производство трансмиссионных масел в АПК // Сельский механизатор. – 2006. – № 1. – С. 38 – 39.

542. 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.

543. Установка для очистки масел и приготовления в условиях потребителя пленкообразующих добавок к смазочным материалам / В.В. Остриков, Г.Д. Матыцин, Н.Н. Тупотилов, А.Ю. Корнев // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 5. – С. 44 – 46.

544. 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.

545. Остриков В.В., Корнев А.Ю., Шихалев И.Н. Исследования по разработке технологических процессов получения пластичных смазок на основе глубокоочищенных отработанных масел // Научное обозрение. – 2014. – № 4. – С. 211 – 214.

546. Остриков В.В., Корнев А.Ю. Результаты производственных испытаний масляной композиции аналога трансмиссионного масла // Техника в сельском хозяйстве. – 2007. – № 3. – С. 57 – 58.

547. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. – М.: ВНИИПИ. – 1983. – 150 с.

548. Веревкин Н.И., Давыдов Н.А., Джерихов В.Б. Экономия топливно-энергетических ресурсов: учеб. Пособие. – СПб.: СПбГАСУ. – 2011. – 38 с.

549. Максимов Е.А. Методика расчёта количества капитального, текущего ремонта и то тракторов различного типа // Известия ОГАУ. – 2019. – №3 (77). – С. 177 – 179.

550. Шадюль Р. Повышение эффективности использования автотракторной техники на основе динамического диагностирования: дис. … д-ра техн. наук: 05.20.03 / Шадюль Ричард – Будгощ, 2003. – 319 с.

551. Бодякина Т.В. Обеспечение работоспособного состояния плунжерных пар топливного насоса высокого давления применением противозадирной присадки в дизельное топливо: дис. … канд. техн. наук: 05.20.03 / Бодякина Татьяна Владимировна. – Новосибирск, 2022. – 140 с.

552. Еремеев А.Н. Повышение надежности дизельных двигателей путем оптимизации регулировочных параметров топливной аппаратуры: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Еремеев Анатолий Николаевич. – Ульяновск, 2007. – 152 с.

553. Балкаров Р.А., Чеченов М.М., Сабанчиева Ф.Р. Эксплуатационные факторы экономии топливо-смазочных материалов // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. – 2020. – №3 (29). – С. 85 – 92.

554. Северо-Кавказская государственная зональная машино-испыта-тельная станция.

Консультационные услуги. [Электронный ресурс]. – URL: https://skmis.ru/gosuslugi/konsultacii/konsult2020.html (дата обращения 18.08.2025).

555. Тойгамбаев С.К. Расчет себестоимости одного условного ремонта на примере трактора МТЗ-80 // International journal of professional science. – 2020. – №4. – С. 87 – 95.

556. Инфляция в России [Электронный ресурс]. – URL: https://уровень-инфляции.рф/ (дата обращения 18.08.2025).

557. Юрков М.М., Жолудева В.В., Уткин Е.В. Техническая готовность машинно-тракторного агрегата: статистический анализ // Вестник АПК Верхневолжья. – 2020. – № 4 (52). – С. 90 – 93.

558. Тракторы МТЗ-80 и МТЗ-82 / И.П. Ксеневич, С.Л. Кустанович, П.Н. Степанюк [и др.]; Под общ. ред. И.П. Ксеневича. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1984. – 254 с.

559. Статистика рынка труда в Тамбовской области [Электронный ресурс]. – URL: https://tambovskaya-oblast.gorodrabot.ru/salaries/traktorist (дата обращения 19.08.2025).

560. Быченин А.П. Повышение ресурса плунжерных пар топливного насоса высокого давления тракторных дизелей применением смесевого минерально-растительного топлива: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Быченин Александр Павлович. – Пенза, 2007. – 184 с.

561. Лебедев П.А. Повышение ресурса плунжерных пар топливных насосов высокого давления дизельных энергосредств сельскохозяйственного назначения: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.03 / Лебедев Павел Анатольевич. – Зерноград, 2012. – 190 с.

562. Шарифуллин С.Н. Повышение эксплуатационной надежности топливных насосов высокого давления автотракторных дизельных двигателей: дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.03 / Шарифуллин Саид Насибуллович. – Москва, 2009. – 368 с.

563. Приказ Департамента цен и тарифов Тамбовской области от 04.12.2024 № 60-в «Об установлении тарифов на питьевую воду и водоотведение» (Зарегистрирован 04.12.2024 № 60-в) [Электронный ресурс]. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/6801202412090002 (дата обращения 19.08.2025).

564. Приказ Департамента цен и тарифов Тамбовской области от 29.11.2024. № 33 «Об установлении цен (тарифов) на электрическую энергию для населения и приравненных к нему категорий» [Электронный ресурс]. – URL: https://kt.tmbreg.ru/files/npa/electro/2024/053-E.pdf (дата обращения 19.08.2025).

565. Беларус 80.1/82.1/820. 80-0000010Б РЭ. Руководство по эксплуатации. – ОАО «Минский тракторный завод», 2015. – 381 с.

566. Машины и механизмы: методические указания по выполнению курсовой работы / сост. А.А. Хавыев. – Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО «Пермская ГСХА», 2009. – 38 с.

567. Приказ Рослесхоза от 13 сентября 1999 года N 180 «Нормы расхода горюче-смазочных материалов на механизированные работы, выполняемые в лесном хозяйстве» [Электронный ресурс]. – URL: https://docs.cntd.ru/document/902066052?ysclid=mjbz1nfnu4277996251 (дата обращения 19.08.2025).

568. Диагностика и ТО машин: краткий курс лекций для студентов IV курса направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» / Сост.: Ю.В. Комаров. – Саратов: ФГБОУ ВО «Саратовский ГАУ»., 2016. – 101 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А
Акты о внедрении и использовании результатов научных исследований

МУНИЦИПАЛЬНОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК

МЭРИЯ Г. ТАМБОВА

МУП ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК
РОССИЯ, 392000, ТАМБОВ
ЧИЧКАНОВА, 6

ТЕЛ.: (0752) 731-079
ФАКС: (0752) 731-318

Р.С. 40602810700000000025 В АСБ «БАСТИОН» ОАО
К.С. 30101810800000000762
БИК 046850762, ИНН 6832031033
ОКОНХ 51122, ОКПО 44534760

На № _____ от _____
№ 05-12/289 от 12.10.2006

В соответствии с договором о научно-техническом сотрудничестве между ГНУ ВИИТиН и МУП пассажирских перевозок в 2005 – 2006 гг. проведены работы по производственному испытанию аналогов трансмиссионных масел, приготовленных на оборудовании и по технологии ГНУ ВИИТиН.

Приготовленные масла использовались в узлах и агрегатах трансмиссий автомобилей. За время испытаний неисправностей деталей машин, вызванных качеством используемого масла, не выявлено.

Директор автоколонны
МУП пассажирских перевозок А.Н.Ледовский

Главный инженер А.А.Бурцев

МУНИЦИПАЛЬНОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК * г. ТАМБОВ *

Продолжение приложения А

Общество с ограниченной ответственностью
«Транс Ойл»

392005, г. Тамбов,
ул. Астраханская, 213 В

тел. (4752) 48-76-32
факс (4752) 48-76-20

Р/с 40702810661000104984
в Тамбовском ОСБ № 8594 г. Тамбов
к/с 30101810800000000649
БИК 046850649 ОГРН 1056882361414
КПП 682901001 ИНН 6829015722

В соответствии с договором о научно-техническом сотрудничестве между ГНУ ВИИТиН и ООО «ТРАНС ОЙЛ» в 2005-2006 гг. организован участок по приготовлению аналогов трансмиссионных масел.

В 2006 году по технологии ГНУ ВИИТиН приготовлено 28 тонн масел, аналогов трансмиссионных масел ТЭп-15.

Приготовленные масла реализованы в сельскохозяйственные предприятия Тамбовской области.

По отзывам инженерных служб хозяйств, использовавших масла в узлах и агрегатах трансмиссий тракторов в период с мая по октябрь 2006 года, разработанный аналог трансмиссионного масла зарекомендовал себя с положительной стороны.

В 2007 году ООО «ТРАНС ОЙЛ» планирует увеличить объем приготовления масел для удовлетворения всех сельскохозяйственных предприятий Тамбовской области.

Генеральный директор
ООО «ТРАНС ОЙЛ» С.В. Урюпин

Продолжение приложения А

Российская Федерация
Воронежская область
Повор[illegible]ский район
село Вихляевка
Общество с ограниченной
ответственностью
"Сельскохозяйственное
предприятие
"СТЕПЬ"
10 - 09 2008 г.
№ _____

Акт внедрения

В 2008 году в хозяйстве внедрена система экспресс – контроля качества приобретаемых и работающих моторных масел.

Как показал опыт использования предложенных методов для контроля основных свойств товарных и работающих масел данные разработки позволяют снизить риск приобретения недоброкачественных масел и производить их замену по фактическому состоянию.

Так за период с апреля по август 2008 года удалось дважды предотвратить поставку масел М – 10 Г2 с показателями не соответствующими сертификатам качества.

Отмечено снижения расхода смазочных масел на 10 %, выход из строя тракторов по причине использования недоброкачественных масел и их своевременной замене снизился по оценке специалистов инженерной службы хозяйства на 30 – 40 %.

Директор ООО СХП «Степь» Домаев А.А.

Воронежская область Повор[illegible]ский район село Вихляевка Общество с ограниченной ответственностью "Сельскохозяйственное предприятие "СТЕПЬ" Российская Федерация

Продолжение приложения А

УПРАВЛЕНИЕ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

ул.Советская, д.106а, г.Тамбов, 392017
тел. (4752) 72-33-64, факс (4752) 72-80-34
E-mail: post@agro.tambov.gov.ru
http://www.ragadm.tambov.ru/oiv/sh/
ОКПО 00097235, ОГРН 1026801158427,
ИНН/КПП 6831004943/682901001

02.10.2008 № 02-07/501
На №_____ от _____

Институтом ГНУ ВИИТИН с 2007 года проводится активная работа по организации и проведению мероприятий по контролю качества приобретаемых и используемых в хозяйствах Тамбовской области смазочных материалов.

В 2008 году проведены производственные испытания усовершенствованной экспресс-лаборатории контроля качества работающих в двигателях сельхозтехники моторных масел, получившей положительный отзывы инженерных служб хозяйств.

Следует отметить новое начинание ГНУ ВИИТИН по организации в области независимой сертифицированной лаборатории контроля качества приобретаемых смазочных масел (на базе химической аттестованной лаборатории ГНУ ВИИТИН), позволяющей значительно снизить риск приобретения и использования в АПК области недоброкачественных масел.

Зам. начальника управления
сельского хозяйства области В.М.Сапегин

Продолжение приложения А

Утверждаю
Директор ГНУ ВНИИТиН
_____ А.Н. Зазуля
«___» _____ 2011 г.

Утверждаю
Директор ОАО «Никольское»
_____ А.В. Литвинов
«___» _____ 2011 г.

АКТ

О НАУЧНО – ТЕХНИЧЕСКОМ СОТРУДНИЧЕСТВЕ

Мы, нижеподписавшиеся представители ГНУ ВНИИТиН зав. лабораторией использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов д.т.н. Остриков В.В., старший научный сотрудник к.т.н. Корнев А.Ю., инженер Бусин И.В., с одной стороны и представители ОАО «Никольское», с. Никольское, Рассказовского района директор Литвинов А.В., главный инженер Догузов Т.В., инженер по эксплуатации Гриднев С.А., инженер по снабжению Кузнецов А.Н. составили настоящий акт в том, что в период с мая 2011 года по декабрь 2011 года сотрудниками ГНУ ВНИИТиН оказывалась научно-техническая помощь по анализу топлив и смазочных материалов, использовавшихся хозяйством в период весенней посевной и осенней уборочной компаний.

Результаты научно-технического сотрудничества позволили ГНУ ВНИИТиН собрать статистический материал о работе смазочных материалов в зарубежной технике и свойствах применяемых в ней топлив, а сотрудникам ОАО «Никольское» получить информацию о качестве закупаемых топлив и смазочных материалов и рекомендации по их использованию.

Представители ГНУ ВНИИТиН	Представители ОАО «Никольское»
_____ Остриков В.В.	_____ Догузов Т.В.
_____ Корнев А.Ю.	_____ Гриднев С.А.
_____ Бусин И.В.	_____ Кузнецов А.Н.

Продолжение приложения А

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
«НИКОЛЬСКОЕ»
Тамбовский филиал ЗАО «АгроГард»

Общество с ограниченной ответственностью
«НИКОЛЬСКОЕ»
393290 Тамбовская обл.,
Рассказовский р-н,
с. Никольское,
ул. Первомайская 46а.
Тел./Факс: 8 (47531) 63490

В плане проведения научных исследований в 2012 году институтом ГНУ ВНИИТиН Росселъхозакадемии в ОАО «Никольское» Рассказовского района Тамбовской области внедрена технология периодического мониторинга контроля качества нефтепродуктов, используемых в зарубежной технике.

Контроль качества топлив и смазочных материалов, используемых в зарубежных тракторах и комбайнах, позволили избежать применения некондиционных нефтепродуктов, что положительно сказалось на высоком уровне надежности машин и снижением потребления дизельного топлива и моторных масел.



Главный инженер
Гриднев С.А.

Продолжение приложения А

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ПЛЕМЕННОЙ ЗАВОД
«ПРИГОРОДНЫЙ»

392501, Тамбовская область,Тамбовский район с.Донское, ул.Совхозная. тел. (84752) – 568811

В 2012 году сотрудниками лаборатории использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов ГНУ ВНИИТиН на базе ФГУП ПЗ «Пригородный» Тамбовской области, Тамбовского района внедрены технологии мониторинга качества нефтепродуктов и продления сроков службы работающих моторных масел для сельскохозяйственной техники и тракторов марок ДТ-75, МТЗ-80 и их модификаций.

Периодический контроль антиокислительных и противоизносных свойств работающих моторных масел, использование ремонтно-восстановительных добавок позволяет повысить надежность работы машин, снизить затраты на приобретаемые нефтепродукты и эксплуатацию машин.

Гл. инженер _____ Редин В. А.

Федеральное государственное унитарное предприятие «Племенной завод «Пригородный» ИНН 6820002528

Продолжение приложения А

ООО "Мурманское инновационное перерабатывающее предприятие ЭнергоОйл"
ОГРН 1105190008197, ИНН/КПП 5190920299/519001001, юр. г. Мурманск, Шабалина 47-31, пр. г. Кола, Кильдинское шоссе 7.
№ счета: 40702810205000003503, в ОАО "ДнБ НОР Мончебанк", г Мурманск, пр. Ленина 14, БИК 044705709, корсчет 30101810300000000709 в РКЦ г. Мурманска, ИНН 5107040020, ОКПО 09221079, КПП 519001001, ОГРН 1025100001838.

Решение экологических проблем в регионе и возможности развития коммерческих структур по утилизации отработанных масел, которые поднимались на уровне президента РФ, подвигли ООО «Мурманское инновационное перерабатывающее предприятие ЭнергоОйл» принять решение о необходимости проведения поиска наиболее оптимальных вариантов организации пункта очистки и восстановления отработанных масел с учетом адекватности затрат и простоты реализации при выборе качественных продуктов.

После проведения поиска разработчиков, были проведены переговоры с институтом ГНУ ВНИИТиН и ТГТУ (Тамбов).

Работа в данных организациях проводится на новом уровне «с демонстрацией результатов».

В соответствии с обоюдным согласием сторон в 2008 году был заключен договор и начата работа по организации пункта очистки отработанных масел.

В настоящее время предприятие успешно справляется с поставленными задачами. Объем полученной продукции составляет более **300** тонн моторных, индустриальных и коммерческих масел.

19.01.2012 Ген. директор Мякинин И. А. _____

Общество с ограниченной ответственностью ОГРН 1105190008197 "Мурманское инновационное перерабатывающее предприятие ЭнергоОйл" ИНН 5190920299 г. Мурманск

Продолжение приложения А

АКТ внедрения

результатов научно-исследовательской работы

Мы, нижеподписавшиеся, представитель ООО ТД «Акцент - Агро» в лице генерального директора Коновалова А.А. с одной стороны и представители ГНУ ВНИИТИН: заведующий лабораторией № 8 д.т.н. Остриков В.В., ведущий научный сотрудник к.т.н. Корнев А.Ю., инженер Попов С.Ю., аспирант Бектилевов А.Ю. с другой стороны составили настоящий акт в том, что в период с мая 2012 года по ноябрь 2013 года в.н.с. к.т.н. Корневым А.Ю. в ООО ТД «Акцент - Агро» внедрены технология и оборудование для улучшения эксплуатационных свойств дизельного топлива.

Применение технологии и оборудования для очистки топлива и улучшения эксплуатационных свойств топлива позволяет:

– полностью удалять из топлива механические примеси и воду;

– уменьшать содержание фактических смол в топливе на 30 – 60 %;

– повышать смазывающие свойства топлива на 25– 40 %.

Оборудование для очистки топлива и улучшения его свойств хорошо приспособлено к условиям производства. Не требуются высокие затраты на реализацию технологии в условиях малых нефтепродуктообеспечивающих предприятий. Выполнение операций очистки топлива отвечает требованиям безопасности нефтескладов.

Экономическая эффективность от внедрения разработанной технологии и оборудования составила с учетом затрат на электроэнергию, хим. реактивы, заработную плату исполнителей более 500 тыс. рублей в год.

Разработанные технологии и оборудование для очистки топлива и улучшения его эксплуатационных свойств могут быть рекомендованы к внедрению на крупных нефтескладах сельхозпредприятий, в предприятия малого и среднего бизнеса, занятого обеспечением сельского товаропроизводителя дизельным топливом.

Представители ГНУ ВНИИТиН

Остриков В.В.

Корнев А.Ю.

Попов С.Ю.

Бектилевов А.Ю.

Представитель

ООО ТД «Акцент – Агро»

А.А. Коновалов

Продолжение приложения А

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «Никольское»
ООО «Никольское»
393290 Тамбовская область, Рассказовский район, с. Никольское, ул. Первомайская д. 46 а.
ОСБ РФ № 8594 г. Тамбова
ИНН / КПП 6815006083 / 681501001
р / с 40702810761160001458; к / с 30101810800000000649 БИК 046850649
тел: 8(47531)63-4-90; 63-4-84; 63-4-60; 63-4-31

исх. №111
от 30.10.15г.

АКТ

об использовании результатов интеллектуальной деятельности лаборатории организации нефтехозяйств и экономного расходования нефтепродуктов Федерального Государственного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

При организации ежедневной хозяйственной деятельности, проведении полевых и транспортных работ, в Тамбовском филиале АО «АгроГард» ООО «Никольское» нашли применение результаты работы "Лаборатории организации нефтехозяйств и экономного расходования нефтепродуктов» ФГБНУ ВНИИТиН, выполненной по теме**: 0648-2014-0023 «Разработать экологически безопасный энергоэффективный метод хранения моторного (нефтяного и биотоплив) топлива»,** в соответствии с которыми были организованы процессы отбора проб и анализа качества закупаемых топлив, использования и хранения нефтепродуктов на нефтескладе хозяйства.

Главный инженер _____ Никольское

М.П.

Продолжение приложения А

Утверждаю
Директор
ФГБНУ ВНИИТиН
_____ А.Н. Зазуля
«30» _____ 2015 г.

Утверждаю
Директор Тамбовского филиала
ЗАО «АгроГард»
_____ С.В. Левченко
«29» 10 2015 г.

АКТ

О ВНЕДРЕНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Мы, нижеподписавшиеся представители ФГБНУ ВНИИТиН – и.о. заведующего лабораторией организации нефтехозяйств и экономного расходования нефтепродуктов к.т.н. Корнев А.Ю., старший научный сотрудник к.т.н. Бусин И.В., младший научный сотрудник Мещерякова Ю.В. с одной стороны и представители Тамбовского филиала ЗАО «АгроГард» ООО «Никольское» – главный инженер Гриднев С.А., заместитель главного инженера Кузнецов А.Н., ведущий инженер отделения Шиленин В.В. составили настоящий акт о том, что в 2015 году в ООО «Никольское» проходили эксплуатационные испытания смесевого дизельного топлива, полученного сотрудниками ФГБНУ ВНИИТиН в рамках выполнения исследований **по заданию «Разработать инновационную технологию получения биодизельного топлива из возобновляемых энергетических ресурсов, включая микроводоросли»**.

Проведенные наблюдения показали снижение дымности и токсичности отработанных газов в среднем на 9 %. Поломок и простоев техники, связанных с использованием испытуемого смесевого топлива не зафиксировано. Результаты испытаний свидетельствуют о перспективности использования смесевого дизельного топлива, получаемого по технологии, разработанной в ФГБНУ ВНИИТиН.

Представители ФГБНУ ВНИИТиН	Представители ООО «Никольское»
_____ Корнев А.Ю.	_____ Гриднев С.А.
_____ Бусин И.В.	_____ Кузнецов А.Н.
_____ Мещерякова Ю.В.	_____ Шиленин В.В.

Продолжение приложения А

ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
"КАЛУЖСКИЙ ИННОВАЦИОННЫЙ ЦЕНТР
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ"
(ООО «КИЦЭМ»)
248010, Калужская область, г. Калуга, ул. Комсомольская Роща, д. 39.
ИНН 4028051122, КПП 402801001, ОГРН 1124028002295, ОКПО 37829408

АКТ

ВНЕДРЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

Настоящий акт составлен в том, что при разработке технологического процесса получения биодизельного топлива из масел повышенной кислотности и производстве опытно-промышленной установки УБТРМ–600 по заказу ООО «КИЦЭМ» использовались результаты научно-исследовательской работы ведущего научного сотрудника, заведующего лабораторией № 7 «Организации нефтехозяйств и экономного расходования нефтепродуктов» ФГБНУ ВНИИТиН, к.т.н. Корнева Алексея Юрьевича. Это позволило оптимизировать технологический процесс, повысить его экономичность, улучшить качество получаемого продукта до требований нормативной документации.

Генеральный директор
ООО «КИЦЭМ»
_____Кузнецов И.А.
М.П.

Заведующий лабораторией № 7
ФГБНУ ВНИИТиН, в.н.с., к.т.н.
_____Корнев А.Ю.
М.П.

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН)
392022, Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28
Телефон: (84752) 44-64-14
Факс: (84752) 44-62-03
http: //viitin.tamb.ru
e-mail: viitin-adm@mail.ru

8 сентября 2015 г.

СПРАВКА

о производстве и реализации

ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ УБТРМ–600

В 2015 году ФГБНУ ВНИИТиН при непосредственном участии и под авторским надзором заведующего лабораторией «Организации нефтехозяйств и экономного расходования нефтепродуктов» Корнева Алексея Юрьевича завершено производство и проведены испытания опытно-промышленной установки для получения биодизельного топлива УБТРМ–600, разработанной в рамках выполнения договора № 17/09-13 от 17 сентября 2013 года по заказу ООО «Калужский инновационный центр энергетического машиностроения» (ООО «КИЦЭМ»).

На основании результатов испытаний оборудования (Акт от 04.06.2015 г.) и экспертного исследования образца продукта (Акт № 2436/5 от 30.06.2015 г.) опытно-промышленная установка УБТРМ–600 признана выдержавшей испытания и передана заказчику.

Директор ФГБНУ ВНИИТиН
доктор технических наук,
профессор А.Н. Зазуля

Продолжение приложения А

Утверждаю
Генеральный директор
ООО «МИПП ЭнергоОйл»
г. Мурманск
Мякинин И.А.
№ от 2015г.

Акт внедрения технологии получения пластичных смазок на основе очищенных отработанных масел

На основаниии договора о научно – техническом сотрудничестве между ФГБНУ ВНИИТиН и ООО «Мурманское инновационное перерабатывающее предприятие ЭнергоОйл» г. Мурманск в 2014 – 2015 году в ООО «МИПП ЭнергоОйл» внедрена технология получения пластичных смазок Литол – 24.

Смазки изготавливаются по следующему технологическому процессу: очистка отработанного масла; обогащения и перемешивания с дисперсионной фазой и присадками; гомогенизация.

90 % процентов оборудования применяемого при приготовлении смазок разработано и изготовлено в ФГБНУ ВНИИТиН.

В 2015 году начато серийное производство смазок Литол – 24 по ТУ ФГБНУ ВНИИТиН.

На начало III квартала изготовлено и реализовано заказчику 1560 кг смазки.

Генеральный директор Мякинин И.А.

Продолжение приложения А

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ «ПЛЕМЕННОЙ
ЗАВОД «ПРИГОРОДНЫЙ»

Справка о проведении испытаний
и рекомендации к внедрению

В соответствии с договоренностью о научно-техническом сотрудничестве в 2016 году между ФГБНУ ВНИИТиН и ФГУП ПЗ «Пригородный» проведены испытания смазки ПС – 2016 ВНИИТиН в подшипниках качения шасси тележки 2ПТС – 4 и опорных подшипниках кормораздатчиков выполняющих работы на животноводческих фермах сельскохозяйственного предприятия.

В результате сравнительных испытаний экспериментальной смазки ПС – 2016 ВНИИТиН и товарной смазки Литол – 24 установлены более высокие характеристики экспериментальных образцов смазок имеющих в своем составе графены.

Использование смазки позволяет продлить службы узлов трения сельскохозяйственной техники, а разработанная смазка рекомендуется к широкому внедрению.

Гл. инженер
ФГУП ПЗ «Пригородный»
Тамбовского района
Тамбовской области Редин В.А.

Продолжение приложения А

Утверждаю
Генеральный директор
ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ»
г. Иваново
_____ Яковлев Д.А.
№ ____ от _____ 2016г.

Акт внедрения в серийное производство пластичных смазок изготавливаемых на основе отработанных масел

На основании договора о научно – техническом сотрудничестве между ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ» и ФГБНУ ВНИИТиН проведены работы по организации производства пластичных смазок на основе отработанных очищенных масел.

Разработанный состав и представленные образцы смазок проверены на предмет соответствия их свойств, требованиям ГОСТ.

Установлено, что по всем показателям, аналог соответствует или превосходит заявленные требованиям НТД.

ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ» в IV квартале 2016 года планирует произвести по представленному технологическому производству около 5 – 6 тонн смазки Литол – 24

Начальник производства ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ» Богатиков С. Н.

Начальник отдела снабжения ООО «Завод смазок ПРОМ-ОИЛ» Репин Д. Л.

Продолжение приложения А

Утверждаю
Врио Директора
ФГБНУ ВНИИТиН
_____ В.В. Остриков
«16» 10 2020 г.

Утверждаю
Генеральный Директор
ООО «НИЦ «ТЕАС – МО»
_____ С.П. Подопригора
«16» 10 2020 г.

АКТ
ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Мы, нижеподписавшиеся представители ФГБНУ ВНИИТиН – заместитель директора по научной работе, и.о. заведующего лабораторией организации нефтехозяйств и экономного расходования нефтепродуктов к.т.н. Корнев А.Ю., старший научный сотрудник к.т.н. Ликсутина А.П. и представители ООО «НИЦ «ТЕАС – МО» – директор по производству Астраханцев Д.А., заместитель директора по производству Мочалов В.С. составили настоящий акт о том, что в 2020 году в ООО «НИЦ «ТЕАС – МО» проходили испытания технологического процесса получения смесевого дизельного топлива, разработанного сотрудниками лаборатории организации нефтехозяйств и экономного расходования нефтепродуктов ФГБНУ ВНИИТиН в рамках выполнения исследований по теме «Научно обосновать новые методы и средства повышения эффективности использования углеводородных топлив, электроэнергии и альтернативных источников энергии в сельском хозяйстве» **по заданию на 2020 г «Определить научно-обоснованные параметры технологического процесса получения экологически чистого смесевого моторного топлива для дизельных двигателей»**.

Результаты испытаний свидетельствуют о перспективности использования смесевого дизельного топлива, получаемого по технологическому процессу, разработанному сотрудниками лаборатории организации нефтехозяйств и экономного расходования нефтепродуктов ФГБНУ ВНИИТиН с использованием оборудования, производимого ООО «НИЦ «ТЕАС – МО».

Проведенные наблюдения показали снижение дымности и токсичности отработанных газов в среднем на 10 – 14 %. Поломок и простоев техники, связанных с использованием смесевого топлива, полученного по разработанному технологическому процессу не зафиксировано.

Представители
ФГБНУ ВНИИТиН
_____ Корнев А.Ю.
_____ Ликсутина А.П.

Представители
ООО «НИЦ «ТЕАС – МО».
_____ Астраханцев Д.А.
_____ Мочалов В.С.

Продолжение приложения А

УТВЕРЖДАЮ
Директор
АОр РТП «НЕКРАСОВСКОЕ»
393252, Тамбовская область, г. Рассказово,
1-й некрасовский пер., 94

_____ Гришин О.А.
«12» ____11____ 2021 г.

АКТ

ВНЕДРЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЫ

Настоящий акт составлен в том, что РТП «Некрасовское» использует в повседневной деятельности результаты научно-исследовательской работы по очистке и улучшению качества нефтепродуктов, переработке отработанных нефтепродуктов во вторичные масла и смазки (руководитель – ведущий научный сотрудник ФГБНУ ВНИИТиН к.т.н. Корнев Алексей Юрьевич).

Использование результатов научно-исследовательской работы позволяет снизить ущерб от применения некачественных топлив и масел, особенно в зимний период, способствует снижению токсичности выхлопных газов, увеличению надежности и долговечности работы сельскохозяйственной техники и ее составных частей.

Главный инженер
АОр РТП «Некрасовское»
_____ Носков С.А.

Ведущий научный сотрудник
ФГБНУ ВНИИТиН
_____ Корнев А.Ю.

Продолжение приложения А

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН)
392022, Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28
Телефон: (84752) 44-64-14
Факс: (84752) 44-62-03
http: //vniitin.ru
e-mail: viitin-adm@mail.ru
№ 580 **«** 15 **»** декабря **2025 г.**

СПРАВКА

о мелкосерийном производстве усовершенствованных Экспресс-лабораторий контроля качества топлив и масел

С 2008 по 2025 гг. ФГБНУ ВНИИТиН осуществляется мелкосерийное производство усовершенствованных Экспресс-лабораторий контроля качества топлив и масел. За это время силами лабораторий № 7 «Использования моторного топлива» и № 8 «Использования смазочных материалов и отработанных нефтепродуктов» с привлечением экспериментального производства ФГБНУ ВНИИТиН было изготовлено более 50 комплектов экспресс-лабораторий. Работа выполнялась при непосредственном участии или под авторским надзором ведущего научного сотрудника лаборатории № 7 «Использования моторного топлива», канд. техн. наук Алексея Юрьевича Корнева. Часть продукции была реализована по прямым договорам сельхозпредприятиям, а другая часть передана в качестве наглядного материала учебным учреждениям, готовящим специалистов инженерного профиля для сельскохозяйственного производства.

Заместитель директора ФГБНУ ВНИИТиН
по научной работе
канд. техн. наук А.Н. Машков

Продолжение приложения А

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН)
392022, Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28
Телефон: (84752) 44-64-14
Факс: (84752) 44-62-03
http: //vniitin.ru
e-mail: viitin-adm@mail.ru
№ 581 **«** 16 **»** декабря **2025 г.**

СПРАВКА

о реализации результатов научно-исследовательской деятельности

Результаты научных исследований, разработки и технические решения по оценке и улучшению качества топлив и смазочных материалов, получению и использованию добавок к нефтепродуктам, переработке отработанных нефтепродуктов во вторичные масла и смазки, полученные при непосредственном участии и под руководством ведущего научного сотрудника лаборатории № 7 «Использования моторного топлива» ФГБНУ ВНИИТиН, канд. техн. наук Алексея Юрьевича Корнева находят широкое применение при выполнении экспертной и хоздоговорной деятельности ФГБНУ ВНИИТиН.

За период с 2020 по 2025 гг. под руководством Корнева А.Ю. были выполнены работы по заказу следующих организаций: МБУ «Дирекция благоустройства и озеленения» (Тамбовская обл., г. Тамбов); ООО «Суворово» (Тамбовская обл., Уваровский р-н, д. Ульяновка); АО «Стойленский горно-обогатительный комбинат» (Белгородская обл., г. Старый Оскол); АО «Терминал Астафьева» (г. Владивосток); АО «Агрокомплекс «Тамбовский» (Тамбовская обл., Тамбовский р-н, с. Черняное); ООО «Агрокомплекс «Тамбовский» (Тамбовская обл., Тамбовский р-н, с. Горелое); СПК «Комсомолец» (Тамбовская обл., Тамбовский р-н, п. Совхоза «Комсомолец»); ООО «Агрофирма «Ягодное» (Тамбовская обл., Тамбовский р-н, Мкр. Восточный); ООО «Мегаферма «Шереметьево» (Тамбовская обл., Пичаевский р-н, с. Большое Шереметьево); ООО «Чакинская Нефтебаза» (Тамбовская обл., г. Тамбов); ПАО «Газпром нефть» (г. Санкт-Петербург); ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (Липецкая обл., г. Липецк); ООО «ДизельТранс» (Липецкая обл., г. Липецк).

Общая сумма работ составила около 5 млн. руб.

Заместитель директора ФГБНУ ВНИИТиН
по научной работе
канд. техн. наук А.Н. Машков

Приложение Б

Акты об использовании результатов научных исследований в учебном процессе

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ
МИНИСТРЛІГІ

"ЖӘҢГІР ХАН атындағы БАТЫС
ҚАЗАҚСТАН АГРАРЛЫҚ-ТЕХНИКАЛЫҚ
УНИВЕРСИТЕТІ" РМК

090009, Орал қаласы,
Жәңгір хан көшесі, 51
тел./факс: 8(7112) 50-13-74
e-mail: zapkazatu@wkau.kz

МИНИСТЕРСТВО
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

РГП "ЗАПАДНО-КАЗАХСТАНСКИЙ
АГРАРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени ЖАНГИР ХАНА"

090009, г. Уральск,
ул.Жангир хана, 51
тел./факс: 8(7112) 50-13-74
e-mail: zapkazatu@wkau.kz

№ 9.1/13-1170 "10" 07 2015 ж./г.

На № _____ от _____

Бланк сериялық нөмірсіз жарамсыз болып табылады. Жауап кайтарарда міндетті түрде біздің № және күні көрсетілуі керек.

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор
д.в.н., профессор _____ Таубаев У.Б.
«_____» _____ 2015 г.

АКТ
об использовании результатов интеллектуальной деятельности
лаборатории организации нефтехозяйств и экономного расходования нефтепродуктов Федерального Государственного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Для ведения научной и образовательной деятельности в Западно-Казахстанском аграрно-техническом университете имени Жангир хана, Казахстан г. Уральск нашли широкое применение результаты работы «Лаборатории организации нефтехозяйств и экономного расходования нефтепродуктов» ФГБНУ ВНИИТиН, выполненной по теме: **0648-2014-0023 «Разработать экологически безопасный энергоэффективный метод хранения моторного (нефтяного и биотоплив) топлива».** При разработке образовательных программ, для проведения практических занятий, дипломного проектирования, выполнения магистерских диссертаций используются следующие работы:

1. СНИЖЕНИЕ ПОТЕРЬ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ ПРИ ХРАНЕНИИ НА СЕЛЬСКИХ НЕФТЕСКЛАДАХ (http://elibrary.ru/item.asp?id=22001661)
2. НАКОПИТЕЛЬНОЕ КУЛЬТИВИРОВАНИЕ МИКРОВОДОРОСЛИ ХЛОРЕЛЛА В ЗАКРЫТОМ ФОТОБИОРЕАКТОРЕ (http://elibrary.ru/item.asp?id=23296147)
3. СВОЙСТВА БИОТОПЛИВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ (http://elibrary.ru/item.asp?id=21429731).
4. ВЫБОР РЕАКТОРА ДЛЯ СИНТЕЗА БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА (http://elibrary.ru/item.asp?id=23296146).
5. СБАЛАНСИРОВАННЫЙ СОСТАВ ЭФИРНОЙ КОМПОЗИЦИИ НА ОСНОВЕ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА (http://elibrary.ru/item.asp?id=21978857).

000078

Продолжение приложения Б

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по научной работе
ФГБОУ ВО
«Тамбовский государственный
технический университет»
Муромцев Д.Ю.

«14» 10 2021 г.

АКТ
об использовании результатов интеллектуальной деятельности
лаборатории использования моторного топлива
Федерального Государственного бюджетного научного учреждения
«Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники
и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Для ведения научной и образовательной деятельности в ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», при разработке образовательных программ, для проведения практических занятий, дипломного проектирования, выполнения магистерских диссертаций, обучения студентов ФГБОУ ВО «ТГТУ» в г. Тамбове по направлению подготовки 18.03.02 – Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии нашли широкое применение результаты работы «Лаборатории использования моторного топлива» ФГБНУ ВНИИТиН – патенты на изобретение RU 2645676 C1 «СПОСОБ ОЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА», RU 2477303 C1 «СПОСОБ ОЧИСТКИ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА», RU 2374302 C1 «СОСТАВ ЖИДКОГО ТОПЛИВА».

Заведующая кафедрой "Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность" ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет» д.т.н., профессор — Н.Ц. Гатапова

Зав. лабораторией «Использования моторного топлива» ФГБНУ ВНИИТиН главный научный сотрудник д.т.н., профессор, — С.А. Нагорнов

Продолжение приложения Б

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Тамбовский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «ТГТУ»)
392000 Тамбов, ул. Советская, 106
Телефон (4752) 63-10-19, факс (4752) 63-06-43, E-mail: tstu@admin.tstu.ru
Лиц. № 2162 сер. 90Л01 №0009207 выдана Федеральной службой по надзору в сфере образования и науки 26.05.2016,
ОГРН 1026801156557, ИНН 6831006362, ОКПО 02069289

№ 01.01-17/242/10
«23» 12 2021 г.
На № _____
«_____» _____201 г.

Акт

внедрения результатов исследования

«Лаборатории использования моторного топлива»

по теме «Разработать технологический процесс получения биотоплива

за счет использования биологических катализаторов»

Настоящий акт составлен в том, что материалы исследований «Лаборатории использования моторного топлива» ФГБНУ «ВНИИТИН», в частности Патент № 2751698 C1 Российская Федерация, МПК C11C 3/04, B04C 5/04, C07C 67/02. Способ этерификации и переэтерификации жирового сырья: № 2020125980 : заявл. 29.07.2020: опубл. 15.07.2021 / А. Ю. Корнев, А. П. Ликсутина, С. В. Романцова [и др] используются кафедрой «Природопользование и защита окружающей среды» ФГБОУ ВО «ТГТУ» с целью обучения и организации научно-исследовательской работы студентов по направлениям подготовки 05.03.06 «Экология природопользования» и 20.04.01 «Техносферная безопасность».

Заведующий кафедрой
«Природопользование и защита окружающей среды»
ФГБОУ ВО «ТГТУ»,
к.п.н., доцент, Почетный работник высшего
профессионального образования Козачек А.В.

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ ТГТУ
Г.В. Мозгова
«23» 12 2021 г.

Продолжение приложения Б

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»
(ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»)
ул. Интернациональная, д. 33, г. Тамбов, 392000,
тел.:+7(4752)72-34-40,+7(4752)72-70-76,
факс:+7(4752)72-36-31, e-mail:post@tsutmb.ru,
http://www.tsutmb.ru, ОКТМО 68701000001,
ОГРН 1026801156689, ИНН 6831012790, КПП 682901001

5 апреля 2022 г. № 129

на №_____ от _____20___ г.

АКТ

внедрения и использования результатов научно-исследовательской работы

В лекционном курсе, практических и лабораторных занятиях студентов направления подготовки 04.03.01 «Химия», 04.04.01 «Химия», 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» Института естествознания Тамбовского государственного университета имени Г.Р. Державина используются результаты научно-исследовательской работы Корнева Алексея Юрьевича по разработке новых способов очистки, улучшения качества и эксплуатационных свойств нефтепродуктов, технологий переработки отработанных нефтепродуктов во вторичные продукты – масла и пластичные смазки, новых методов и средств получения альтернативных топлив и смазочных материалов на основе возобновляемого сырья.

Директор
Института естествознания Е.В. Скрипникова

Продолжение приложения Б

УТВЕРЖДАЮ
Генеральный директор
ООО «Чистая энергия»
_____ А.В. Михалёв
«28» января 2022 г.

АКТ
об использовании результатов интеллектуальной деятельности
лаборатории использования моторного топлива
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
«Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

Для ведения научной деятельности при выполнении научно-исследовательской работы «Анализ химического состава жидкой фазы продукта, полученного в результате гидротермальной карбонизации (ГТК)» применялись результаты интеллектуальной деятельности «Лаборатории использования моторного топлива» ФГБНУ ВНИИТиН, выполненной по теме «Научно обосновать новые методы и средства повышения эффективности использования углеводородных топлив, электроэнергии и альтернативных источников энергии в сельском хозяйстве», в том числе применялись патенты на изобретение № 2751698 «Способ этерификации и переэтерификации жирового сырья», свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021616350 «Моделирование процесса экстракции липидов из микроводорослей».

Ведущий научный сотрудник
ООО «Чистая энергия» С.Н. Кузьмин

Заведующий лабораторией «Использование
моторного топлива» ФГБНУ ВНИИТиН
главный научный сотрудник
д.т.н., профессор С.А. Нагорнов

Приложение В

Награды и дипломы



Продолжение приложения В



Диплом

ДЕПАРТАМЕНТ АГРАРНОЙ ПОЛИТИКИ ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ
ФГБОУ ВПО ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИМПЕРАТОРА ПЕТРА I

ЭКСПОЦЕНТР ВГАУ

НАГРАЖДАЕТСЯ УЧАСТНИК ВЫСТАВКИ

ВОРОНЕЖАГРО-2014
и участник научной конференции
«Научно-практические аспекты ресурсосберегающих технологий производства продукции и переработки отходов АПК»

Корнев Алексей Юрьевич

За демонстрацию профессионального мастерства
и личный вклад в разработку

«Проблемы и задачи повышения эффективности использования топлив и смазочных материалов в сельскохозяйственной технике»

Директор экспоцентра **Белозерцева К. А.**

21 ноября 2014 г.

Продолжение приложения В

ЗОЛОТАЯ | 20
ОСЕНЬ | 21

XXIII ВСЕРОССИЙСКАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

БРОНЗОВОЙ МЕДАЛЬЮ

ФГБНУ ВИИТиН

За разработку технологии и оборудования для получения биодизельного топлива из растительных масел

МИНИСТР СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д.Н. ПАТРУШЕВ



Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

ЗОЛОТАЯ ОСЕНЬ 2025

XXVII РОССИЙСКАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

БРОНЗОВОЙ МЕДАЛЬЮ

ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве»

за конкурсный проект:

«Технология и оборудование для получения компонентов экологически чистого смесевого моторного топлива на основе возобновляемого сырья и отходов сельскохозяйственного производства»

ЗАМЕСТИТЕЛЬ МИНИСТРА СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

О.А. ГАТАГОВА

Продолжение приложения В

БЛАГОДАРСТВЕННОЕ ПИСЬМО

Правительства Тамбовской области

Ведущему научному сотруднику Лаборатории № 7 «Использования моторного топлива» ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» А.Ю.КОРНЕВУ

Уважаемый Алексей Юрьевич!

Выражаю Вам благодарность за вклад в развитие фундаментальной и прикладной агроинженерной науки и многолетний добросовестный труд в агропромышленном комплексе Тамбовской области.

Убежден, что высокий профессионализм, компетентность и преданность любимому делу останутся Вашими надежными помощниками и в дальнейшем.

Желаю Вам крепкого здоровья, благополучия, неиссякаемой энергии, успехов во всех делах и начинаниях.

ПРАВИТЕЛЬСТВО
ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Глава Тамбовской области

Е.Первышов

сентябрь 2025 года

Таблица Г 1 – Технологический процесс очистки и повышения эксплуатационных свойств дизельного топлива

№ п/п	Наименование операции	Последовательность действий, параметры	Результат операции	Время операции	Инструменты и материалы
1	2	3	4	5	6
I	**Экспресс-очистка топлив от механических примесей и воды**				
1	Очистка	Топливо подается в центрифуги. Частота вращения роторов центрифуг – 9000…9300 об/мин Расход очищаемого топлива – до 32 л/мин	Очищенное топливо	20 – 30 мин	Модифицированный стенд СОГ-933 КТ 1
2	Контроль качества	1. Отбор проб 2. Определение показателей: содержание мех. примесей и воды	Контролируются содержание в очищенном топливе мех. примесей и воды	5 мин	Экспресс-лаборатория ЭЛТ
II	**Глубокая очистка топлив с высоким содержанием смол, продуктов окисления, механических примесей и воды**				
1	Внесение реагента	1. Топливо заливается в бак-реактор 2. Вносится серная кислота в количестве 0,5…1 % 3. Смесь равномерно перемешивается мешалкой	Смесь некондиционного дизельного топлива с реагентом	5 – 7 мин	Бак – реактор Мешалка Серная кислота
2	Отстаивание	1. Эффективность осаждения продуктов взаимодействия кислоты и топлива контролируется по мерной трубке бака 2. После окончания отстаивания проводят отделение отстоя через технологический отвод в баке-реакторе	Разделение дизельного топлива и продуктов реакции с кислотой	60 – 180 мин	Бак – реактор
3	Нейтрализация и отстаивание	1. В отдельной емкости готовится насыщенный водный раствор карбамида, который затем вносится в топливо. Количество водного раствора составляет до 2 %, в зависимости от количества внесенной кислоты. 2. Насосом установки осуществляется циклическое перемешивание, после чего топливу дают время отстояться	Водный раствор карбамида имеет щелочную реакцию и способен нейтрализовать повышенную кислотность топлива. Нейтрализованное дизельное топливо.	15 – 20 мин 60 – 180 мин	Бак – реактор Вода Карбамид
4	Очистка	1. Нейтрализованное дизельное топливо после отстаивания заправляется в реактор установки, подогревается до 80 – 90 °С и направляется в центрифуги для удаления загрязнений не выпавших в осадок ранее. 2. Частота вращения роторов центрифуг – 6000…8000 об/мин, давление – 8…9 кгс/см	Очищенное топливо	40 – 50 мин	Установка для очистки топлив с реактивными центрифугами

Таблица Г 1 – Технологический процесс очистки и повышения эксплуатационных свойств дизельного топлива (продолжение)

1	2	3	4	5	6
5	Контроль качества	1. Отбор проб 2. Контроль содержания в очищенном топливе мех. примесей, воды, фактических смол, кислотности.	Соответствие топлива нормативам по определяемым показателям	10 – 15 мин	Экспресс-лаборатория ЭЛТ
III	**Улучшение эксплуатационных свойств дизельного топлива**				
1	Внесение реагента	1. Некондиционное топливо или очищаемое топливо после внесения серной кислоты и отстаивания заливается в реактор. 2. Вносится насыщенный водно-спиртовой раствор гидроперита в количестве 3…5 % от количества топлива. 3. Смесь циклически перемешивается через смеситель-активатор при давлении 8…10 кгс/см^2	Смесь некондиционного дизельного топлива с реагентом	15 – 30 мин	Бак – реактор Смеситель-активатор Насосная секция Водно-спиртовой раствор гидроперита
2	Отстаивание	Смесь некондиционного дизельного топлива с реагентом отстаивается	Разделение дизельного топлива и продуктов реакции	60 – 120 мин	Бак – реактор
3	Очистка	1. Дизельное топливо после отстаивания заправляется в реактор установки, подогревается до 80 – 90 °С и направляется в центрифуги для удаления загрязнений не выпавших в осадок ранее. 2. Частота вращения роторов центрифуг – 6000…8000 об/мин, давление – 8…9 кгс/см	Очищенное обработанное дизельное топливо	40 – 50 мин	Установка для очистки топлив с реактивными центрифугами
4	Внесение присадок	В очищенное обработанное дизельное топливо вносится необходимое количество нужной присадки, после чего смесь циклически перемешивается через смеситель-активатор, при температуре 40 – 50 °С	Очищенное дизельное топливо с присадкой	30 – 60 мин	Бак – реактор Смеситель-активатор Насосная секция Присадка
5	Контроль качества	1. Отбор проб 2. Контроль содержания в очищенном топливе мех. примесей, воды, фактических смол, кислотность, смазывающая способность, низкотемпературные свойства и др.	Соответствие топлива нормативам по определяемым показателям	30 – 60 мин	Экспресс-лаборатория ЭЛТ Оборудование химической лаборатории

Таблица Г 2 – Технологический процесс синтеза биодобавок из возобновляемого сырья и получения смесевого топлива

№ п/п	Наименование операции	Последовательность действий, параметры	Результат операции	Время операции	Инструменты и материалы
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
I	**Подготовка жирового сырья и катализатора**				
1	Подготовка жирового сырья для синтеза	1. Заполнение реактора сырьем 2. Подогрев сырья за счет кавитационного воздействия до 50 – 55 ºС (в случае жира подогрев за счет тепловой рубашки до 40 – 45 ºС и расплавления жира) 3. Перемешивание сырья	Емкость с сырьем	15 мин 30 – 60 мин	Реактор с тепловой рубашкой Кавитатор (вихревой реактор) Термометр Насос
2	Подготовка катализатора	1. Загрузка спирта в емкость 2. Загрузка катализатора	Спиртовой раствор катализатора (алкоголят)	15 мин	Емкость смешивания Насос
II	**Этерификация жирового сырья с повышенным кислотным числом**				
1	Смешивание сырья и катализатора	1. Добавление в реактор с подготовленным сырьем расчетного количества спирта 2. Добавление расчетного количества кислотного катализатора	Смесь жирового сырья, спирта и катализатора	10 минут 5 минут	Реактор Емкость для спирта Емкость для катализатора Насос
2	Этерификация	1. Перемешивание смеси кавитатором 2. Контроль температуры 3. Контроль кислотного числа	Снижение кислотного числа жирового сырья путем перевода свободных жирных кислот в эфиры	30 – 45 мин 1 мин 5 мин	Кавитатор (вихревой реактор) Насос Термометр Лабораторное оборудование для анализа Кч

Таблица Г 2 – Технологический процесс синтеза биодобавок из возобновляемого сырья и получения смесевого топлива (продолжение)

1	2	3	4	5	6
III	**Переэтерификация жирового сырья**				
1	Смешивание сырья и алкоголята	1. Добавление в реактор с подготовленным сырьем расчетного количества алкоголята	Смесь жирового сырья, спирта и катализатора	10 минут	Реактор Емкость для алкоголята Насос
2	Переэтерификация	1. Перемешивание смеси через вихревой реактор 2. Контроль температуры 3. Перекачка смеси в емкость для разделения	Эфиры высших алифатических кислот (с глицерином не очищенные)	20 – 30 мин 1 мин 5 мин	Кавитатор (вихревой реактор) Насос Термометр
3	Разделение	1. Отделение эфиров от глицерина	Эфирная фаза Глицериновая фаза	От 10 – 15 мин до 3 – 6 часов в зависимости от оборудования	Емкости Сепаратор
4	Промывка	1. Смешивание Эфирной фазы с водой 2. Разделение Эфирной фазы и воды 3. Выпаривание остатков воды	Промытые алкиловые эфиры высших алифатических кислот	15 мин 2 ч 1 ч	Емкость Насос Емкость с подогревом Компрессор
5	Контроль качества	1. Отбор проб 2. Проведение анализа по следующим показателям: плотность, вязкость, Твсп, Кч, содержание воды и мех. примесей, коррозионные испытания и др.	Соответствие продукта нормативам по определяемым показателям	10 мин 3 – 5 ч	Лабораторное оборудование для проведения анализа
IV	**Получение смесевого топлива**				
1	Смешивание	1. Подача дизельного топлива в емкость для смешивания 2. Подача расчетного количества эфиров 3. Перемешивание	Смесевое топливо для дизельных двигателей	10 минут 5 минут 10 минут	Емкость для смешивания Насосы Смеситель-активатор
2	Контроль качества	1. Отбор проб 2. Проведение анализа по следующим показателям: плотность, вязкость, Твсп, кислотность, содержание воды и мех. примесей, коррозионные испытания и др.	Пробы смесевого топлива	10 мин 3 – 5 ч	Экспресс-лаборатория ЭЛТ Оборудование химической лаборатории для проведения анализа

Таблица Г 3 – Технологический процесс получения аналогов гидравлической жидкости и трансмиссионного масла на основе очищенного отработанного масла и возобновляемого сырья

№ п/п	Наименование операции	Последовательность действий, параметры	Результат операции	Время операции	Инструменты и материалы
1	2	3	4	5	6
I	**Получение базового масла-основы из отработанного масла**				
1	Внесение реагента-коагулянта	1. Отработанное масло заливается в бак-реактор и подогревается до 80 – 90 °С 2. В подогретое масло вносится необходимый реагент: – до 2 % масс. насыщенного водного р-ра карбамида (для минеральных масел) – до 2 % масс. ИПС и до 2 % масс. МЭА (для синтетических масел) 3. Производится нагрев смеси до 130 – 160 °С (в зависимости от реагента) при постоянном перемешивании	Смесь отработанного масла с реагентом-коагулянтом. Коагуляция загрязнений	20 – 30 мин 5 мин 20 – 30 мин	Бак – реактор Мешалка Отработанное масло Вода Карбамид Изопропиловый спирт Моноэтаноламин
2	Отстаивание и очистка	1. Эффективность осаждения продуктов взаимодействия реагента и масла контролируется по мерной трубке бака 2. После окончания отстаивания проводят отделение отстоя через технологический отвод в баке-реакторе 3. Очищаемое масло закачивается в установку и производится удаление оставшихся примесей и воды из масла центрифугой. Частота вращения роторов центрифуг – 6000…8000 об/мин, давление – 8…9 кгс/см	Разделение очищаемого масла и продуктов коагуляции загрязнений Очищенное масло-основа	60 – 180 мин 5 мин 10 – 20 мин	Бак – реактор Установка УОМ-100
3	Контроль качества	1. Отбор пробы 2. Контроль щелочного и кислотного числа, вязкости и остаточных загрязнений	Соответствие масла требованиям по определяемым показателям	15 мин	Экспресс-лаборатория ЭЛМ
II	**Получение базового масла-основы из некондиционного жирового сырья**				
1	Очистка некондиционного растительного масла	1. Закачка масла в установку и подогрев до 50 – 60 °С 2. Внесение 1 % масс. воды. 3. Нагрев смеси до 70 – 80 °С при постоянном перемешивании 4. Разделение смеси в сепараторе и удаление примесей и воды из масла центрифугой	Смесь нагретого некондиционного растительного масла и воды Очищенное масло	10 мин 1 мин 20 – 30 мин 15 – 20 мин	Установка УОМ-100 Некондиционное растительное масло Мерная емкость Вода

Таблица Г 3 – Технологический процесс получения аналогов гидравлической жидкости и трансмиссионного масла на основе очищенного отработанного масла и возобновляемого сырья (продолжение)

1	2	3	4	5	6
III	**Получение вязкостной и антифрикционной биодобавки из возобновляемого сырья**				
1	Получение смеси окисленных и полимеризованных фракций растительного масла	1. Заполнение реактора некондиционным растительным маслом 2. Нагрев масла до 250 – 300 °С с одновременным перемешиванием при доступе воздуха. 3. Контроль за процессом осуществляется отбором проб и определением вязкости смеси	Протекание процессов полимеризации и оксидирования масла. Полимеризованное и оксидированное масло с кинематической вязкостью в 2 – 3 раза превышающей вязкость исходного масла	10 мин 4 – 6 часов 5 – 10 мин	Реактор с подогревом УПС – 100 Насос Мешалка Термометр Вискозиметр
IV	**Получение гидравлической жидкости и трансмиссионного масла из базового масла**				
1	Внесение в базовое масло-основу присадок и добавок	1. Закачка необходимого количества базового масла в установку для обогащения масляной основы присадками: – для аналога гидравлической жидкости – очищенное отработанное масло или очищенное некондиционное растительное масло; – для аналога трансмиссионного масла – очищенное отработанное масло или полимеризованное растительное масло. 2. Подготовка необходимого количества добавок: – для гидравлического масла: 5 % ПРМ – для трансмиссионного масла: 5 % вязкостной присадки КП–20 и 5 % пакета присадок «Крата ПТМ» 3. Внесение добавки при постоянном перемешании смеси с использованием насоса установки при давлении диспергирования 30 – 35 кгс/см^2	Гомогенная смесь масла и присадок (добавок)	5 – 10 мин 5 – 10 мин 90 – 100 мин	Установка ДСП – 100 Мерные емкости с градуировкой добавка
2	Контроль качества продукта	1. Слив приготовленного масла в тару. 2. Отбор проб и контроль показателей качества: вязкость, наличия воды, мех. примесей, Кч, Щч, Твсп и др.	Пробы аналогов гидравлического или трансмиссионного масла Контроль основных показателей качества на соответствие нормативной документации	5 мин 10 мин	Насос Экспресс-лаборатория

Таблица Г 4 – Технологический процесс получения аналогов пластичных смазок Солидол Ж и Литол – 24

№ п/п	Наименование операции	Последовательность действий, параметры	Результат операции	Время операции	Инструменты и материалы
1	2	3	4	5	6
I	**Получение базового масла-основы из отработанного масла**				
1	Внесение реагента-коагулянта	1. Отработанное масло заливается в бак-реактор и подогревается до 80 – 90 °С 2. В подогретое масло вносится необходимый реагент: – до 2 % масс. насыщенного водного р-ра карбамида (для минеральных масел) – до 2 % масс. ИПС и до 2 % масс. МЭА (для синтетических масел) 3. Производится нагрев смеси до 130 – 160 °С (в зависимости от реагента) при постоянном перемешивании	Смесь отработанного масла с реагентом-коагулянтом. Коагуляция загрязнений	20 – 30 мин 5 мин 20 – 30 мин	Бак – реактор Мешалка Отработанное масло Вода Карбамид Изопропиловый спирт Моноэтаноламин
2	Отстаивание и очистка	1. Эффективность осаждения продуктов взаимодействия реагента и масла контролируется по мерной трубке бака 2. После окончания отстаивания проводят отделение отстоя через технологический отвод в баке-реакторе 3. Очищаемое масло закачивается в установку и производится удаление оставшихся примесей и воды из масла центрифугой. Частота вращения роторов центрифуг – 6000…8000 об/мин, давление – 8…9 кгс/см	Разделение очищаемого масла и продуктов коагуляции загрязнений Очищенное масло-основа	60 – 180 мин 5 мин 10 – 20 мин	Бак – реактор Установка УОМ-100
3	Контроль качества	1. Отбор пробы 2. Контроль щелочного и кислотного числа, вязкости и остаточных загрязнений	Соответствие масла требованиям по определяемым показателям	15 мин	Экспресс-лаборатория ЭЛМ
II	**Приготовление аналога пластичной смазки Солидол Ж**				
1	Приготовление загустителя Температурная обработка	1. Очищенное масло заливается в реактор, нагревается до 60 °С и смешивается с 10 % КОСЖК 2. Смесь нагревается до 80 °С при постоянном перемешивании н вносится 10 % раствор молочной извести. После чего смесь перемешивается в течении 10 мин. 3. Температура смеси постепенно поднимается до 115 °С (обезвоживание)	Смесь масляной основы и компонентов загустителя Обезвоженная смесь масляной основы и загустителя	15 мин 20 – 30 мин 40 мин	Реактор с подогревом УПС – 100 Насос Мешалка Термометр

Таблица Г 4 – Технологический процесс получения аналогов пластичных смазок Солидол Ж и Литол – 24 (продолжение)

1	2	3	4	5	6
2	Температурная обработка Гомогенизация	1. Смесь выдерживается при температуре 110 – 115 °С. Полнота омыления контролируется по кислотному числу (не выше 0,25 мгКОН/г) 2. Добавляется оставшаяся часть базового масла 3. При температуре 90 °С смазка гомогенизируется по замкнутому циклу	Структурированное загущенное базовое масло – пластичная смазка	20 мин 5 мин 15 мин	Реактор с подогревом УПС – 100 Насос Мешалка Термометр Гомогенизатор Лаборатория
3	Расфасовка, Охлаждение Контроль качества	1. После гомогенизации смазка перекачивается в товарные емкости где окончательного охлаждается 2. Отбирается проба смазки и оцениваются основные показатели: кислотное число, температура каплепадения	Пробы пластичной смазки Соответствие требованиям по определяемым показателям	1 – 2 ч 2 – 3 ч	Насос Оборудование для проведения анализа
III	**Приготовление аналога пластичной смазки Литол – 24**				
1	Приготовление загустителя Температурная обработка	1. В реактор загружается часть дисперсной среды (масло), 12 – гидроксистеариновая кислота и водный раствор гидроксида лития. Смесь нагревают до 100 – 130 ºС при перемешивании. 2. Поднимают температуру до 200 – 210 ºС при перемешивании. Полнота омыления контролируется по кислотному числу (не выше 0,25 мгКОН/г)	Процесс омыления с образованием мыла (загуститель) и выпаривания воды.	5 – 10 мин 40 – 60 мин	Реактор с подогревом УПС – 100 Насос Мешалка Термометр Лаборатория
2	Температурная обработка Гомогенизация	1. Смесь нагревается до температуры 230 °С и выдерживается 10 минут. 2. В смесь при перемешивании добавляют оставшуюся часть очищенного отработанного масла с охлаждением смеси до 130 – 150 °С, после чего вносится 5 % противоизносной присадки. 3. Полученная масса прокачивается через гомогенизатор и охлаждается до 60 – 70 °С, после чего проводится её повторная термообработка при температуре 225 °С 4. После этого смазка еще раз отправляется в гомогенизатор охладитель где при температуре 90 °С повторно гомогенизируется по замкнутому циклу	Структурированная смесь базового масла, загустителя и присадки	20 мин 30 – 40 мин 20 – 30 мин 20 – 30 мин	Реактор с подогревом УПС – 100 Насос Мешалка Термометр Гомогенизатор
3	Расфасовка, Охлаждение Контроль качества	1. После гомогенизации смазка перекачивается в товарные емкости где окончательного охлаждается 2. Отбирается проба смазки и оцениваются основные показатели: кислотное число, температура каплепадения	Пробы пластичной смазки Соответствие требованиям по определяемым показателям	1 – 2 ч 2 – 3 ч	Насос Оборудование для проведения анализа