

На правах рукописи



ЛЕВИНА Екатерина Юрьевна

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДНО-БИО-ТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ
ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Специальность 05.20.03 – Технологии и средства технического
обслуживания в сельском хозяйстве

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Мичуринск – Научград РФ, 2015

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Нагорнов Станислав Александрович

Официальные оппоненты: **Улюкина Елена Анатольевна**, доктор технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Инженерная химия» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева»
Иванникова Елена Михайловна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Инженерная экология и альтернативная энергетика» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет машиностроения»

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований по инженерно-техническому обеспечению агропромышленного комплекса» (ФГБНУ «Росинформагротех»)

Защита диссертации состоится «18» декабря 2015 года в 12-00 часов на заседании диссертационного совета ДМ 220.041.03 при ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет» по адресу: 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101, зал заседаний диссертационных советов, тел./факс (47545)9-44-12, e-mail: dissov@mgau.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет» и на сайте www.mgau.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak.ed.gov.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные и скрепленные гербовой печатью, просим направлять учёному секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан «17» октября 2015 г.

Учёный секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент



Н. В. Михеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В структуре издержек сельских товаропроизводителей к основным относятся затраты на приобретение моторного топлива, стоимость которого в последние годы неуклонно возрастает. Растущая потребность в углеводородном ископаемом топливе на фоне снижения его запасов и ощутимые негативные последствия для окружающей среды от его применения стимулируют научно обоснованный поиск и освоение возобновляемых источников энергии, к которым относится биодизельное и эмульгированное топливо. Выходом из сложившейся ситуации для сельскохозяйственных товаропроизводителей является организация собственного производства биодизельного и эмульгированного топлива, позволяющего без существенного снижения эффективности работы дизеля не только значительно снизить выбросы вредных веществ в отработавших газах, но и экономить топливо.

Установлено, что использование водно-топливной эмульсии (ВТЭ) в тепловых двигателях приводит к понижению количества токсичных выбросов в отработанных газах. Водно-топливная эмульсия известна в Европейских странах, как «белое топливо». Попытки совместить жидкое топливо (дисперсионную среду) и воду (дисперсную фазу) делались со времени появления автомобильного транспорта. Однако широкое применение ВТЭ до сих пор является проблематичным в связи с негативными факторами, которые может оказывать вода на работу двигателя. Возникает необходимость устранения этих негативных факторов, при сохранении улучшенных экологических свойств эмульгированного топлива по сравнению с обычным моторным топливом. Таким образом, данное диссертационное исследование, связанное с разработкой эмульгированного моторного топлива с улучшенными экологическими и эксплуатационными свойствами, состоящего из дизеля, воды и биодизеля, является актуальным.

Степень разработанности темы. Вопросами присадки воды к моторному топливу, получению водно-топливных эмульсий, изучению и

описанию процессов смесеобразования и сгорания эмульгированных топлив в камере сгорания, а также снижению эмиссии токсичных компонентов в выхлопных газах посвящены научные работы, начиная с тридцатых годов XX века. Анализ известных эмульгированных моторных топлив, технологий их получения и результатов влияния на эксплуатационные и экологические показатели работы ДВС, показал, что данная тема на сегодняшний день ещё окончательно не изучена. До настоящего времени не предложены состав и технология получения эмульгированного топлива, удовлетворяющего требованиям стабильности, энергоэффективности, содержания вредных веществ в отработавших газах, а также требованиям к работе топливной аппаратуры дизеля.

Диссертационная работа выполнялась в ФГБНУ ВНИИТиН в 2012-2015 гг. по теме «Использование водно-био-топливных эмульсий для улучшения эксплуатационных и экологических показателей дизельного двигателя».

Цель работы: улучшение эксплуатационных и экологических показателей работы дизельного двигателя за счёт эмульгирования дизельного топлива (ДТ) водой и добавлением в водно-топливную эмульсию (ВТЭ) биодизельного топлива.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1) провести анализ известных способов получения и стабилизации ВТЭ, а также обобщить опыт использования эмульгированных топлив в дизельных двигателях, выявить достоинства и недостатки работы ДВС на ВТЭ;

2) разработать технологию приготовления эмульгированного топлива;

3) оптимизировать состав многокомпонентной топливной эмульсии на основе дизельного топлива, биодизельного топлива и воды;

4) провести экспериментальные исследования для определения экологических и эксплуатационных показателей работы дизеля на многокомпонентной топливной эмульсии.

Объект исследований. Технологический процесс получения многокомпонентной топливной эмульсии с использованием силовых полей различной физической природы.

Предмет исследований. Закономерности технологического процесса получения многокомпонентной топливной эмульсии с использованием силовых полей различной физической природы.

Методика исследований. Для решения поставленных задач были применены теоретические и экспериментальные методы исследований. В процессе теоретических исследований применялись общедоступные положения тепло- и массообмена, гидро- и термодинамики, механики жидкости и газа, а также теории разработки и использования искусственных нейронных сетей. В процессе экспериментальных исследований проводились стендовые испытания ДВС с применением газоаналитического оборудования, а также дорожные и эксплуатационные испытания автотракторной технике, работающей на исследуемых образцах моторного топлива. Получаемые массивы данных обрабатывались методами математической статистики.

На защиту выносятся:

- разработанная технология приготовления водно-био-топливной эмульсии с использованием комбинированного статического смесителя – активатора;
- состав водно-био-топливной эмульсии на основе дизельного, биодизельного топлива и воды, обладающей улучшенными экологическими и эксплуатационными качествами по сравнению с товарным дизельным топливом;

Научная новизна заключается в комплексном подходе к решению вопроса приготовления эмульгированного моторного топлива, обладающего улучшенными эксплуатационными и экологическими свойствами, в результате которого:

- разработана концепция получения водно-био-топливной эмульсии и рекомендации по использованию эмульгирующей системы для стабилизации структуры смесового топлива;

- с помощью нейронной сети определён оптимальный состав водно-био-топливной эмульсии, при использовании которого объем токсичных компонентов в выхлопных газах будет минимальный, а эффективный КПД двигателя максимальным.

- определены конструктивные параметры механоактиватора, которые позволяют получать эмульгированные топлива с размером дисперсной фазы 1-3 мкм.

Практическая ценность работы:

1) разработана технология приготовления водно-топливной эмульсии с добавлением биодизельного топлива в дисперсионную среду;

2) предложена установка для смешения водно-био-топливной эмульсии;

3) определён состав компонентов водно-био-топливной эмульсии (дизельное топливо, биодизельное топливо, вода и эмульгирующая система) для достижения оптимальных экологических и эксплуатационных ДВС.

Степень достоверности и апробация результатов исследования.

Степень достоверности научных положений подтверждается положительными результатами моторных испытаний водно-био-топливной эмульсии; достаточной сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований; использованием современной контрольно-измерительной и вычислительной техники.

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и получили положительную оценку на международных научных конференциях: «Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения» (г. Липецк, 2014 г.), «Нефть и газ - 2015» (г. Москва), «Потенциал современной науки» (г. Липецк, 2015 г.), «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства» (г. Тамбов, 2015 г.),

«Инженерное обеспечение инновационных технологий в АПК» (г. Мичуринск, 2015 г.).

Реализация результатов работы. Результаты работы используются в КФХ «Дроново» Смоленской области, ООО Агروفирме «Дворянская» Ульяновской области, ООО «КИЦЭМ» в г. Калуга. Практическое использование результатов позволило уменьшить затраты энергоресурсов и получить положительный экологический эффект. Материалы исследования используются кафедрой «Технологии и оборудование пищевых и химических производств» с целью обучения студентов ФГБОУ ВО «ТГТУ» г. Тамбов.

Публикации. По результатам выполненной работы опубликовано 22 печатной работы, в том числе 4 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ.

Общий объем публикаций составляет 16,1 печ. л., из которых 10,95 печ. л. принадлежит лично автору.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 175 страницах машинописного текста, содержит 48 рисунков, 13 таблиц, 2 приложения и библиографию из 100 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В введении изложена актуальность исследуемой темы, цели и методика исследований, а также основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Анализ состояния проблемы. Цель и задачи исследования» приведён обзор факторов, подтверждающих возможность применения эмульгированного топлива в двигателе внутреннего сгорания, рассмотрены существующие виды эмульсий, технологии производства и их свойства, а также влияние применения водно-топливных эмульсий в ДВС на их экологические и эксплуатационные показатели.

Способы улучшения экологических показателей работы ДВС включают в себя применение специальных устройств, направленных на снижение концентрации оксидов азота (NO_x) и оксидов углерода (CO_y), разработку и

использование присадок, приводящих к аналогичному результату, а также создание альтернативных видов топлива. Специальные устройства для снижения выбросов в данный момент не получили широкого распространения из-за своей высокой стоимости и связанному с их использованием перерасходу топлива, использование специальных присадок позволяет сэкономить топливо и улучшить экологические показатели, но в большей степени предназначено для поддержания оптимального режима работы двигателя.

Разработка альтернативных видов топлива является наиболее радикальным и в то же время наиболее перспективным способом решения экологических проблем работы ДВС и улучшения их энергоэффективности. Эмульгированные топлива в свою очередь составляют отдельную группу альтернативных топлив, так как не требуют переделки топливной системы, необходимые в случае спиртосодержащих топлив, и не увеличивают себестоимость транспортного средства, что актуально для другого альтернативного топлива – водородного.

Все способы получения эмульгированного топлива делятся на два вида: получение водно-топливной эмульсии (ВТЭ) непосредственно на транспортном средстве или использование готовой, заранее приготовленной в стационарных условиях эмульсии. Анализ источников показал, что первый подход малоприменим в больших масштабах из-за существенного усложнения топливной аппаратуры и заниженной по сравнению с чистым топливом энергетической способностью получаемого эмульгированного топлива.

Для производства ВТЭ в стационарных условиях используются механические мешалки, коллоидные мельницы, диспергаторы разного типа, барботажные, ультразвуковые и кавитационные установки, гомогенизаторы и гидродинамические сирены, а также статические смесители. Применение роторно-пульсационных аппаратов позволяет получить мелко дисперсные эмульсии, однако, по сравнению со статическими смесителями являются более энергозатратными и дорогостоящими. Для получения высококачественных

мелкодисперсных эмульсий требуется разработка смесителей, комбинирующих различные способы воздействия на обрабатываемую среду.

Качество получаемого эмульгированного топлива оценивается по следующим критериям: однородность частиц дисперсной фазы, время расслаивания (отстаивания) и вязкость. Экологические показатели, на которые влияет использование ВТЭ вместо нефтяного дизельного топлива, это выбросы оксидов азота (NO_x), оксидов углерода (CO_y) и сажи. Подробное изучение вопроса работы ДВС на ВТЭ показало, что вода в составе эмульсии может как улучшать, так и ухудшать экологические и эксплуатационные характеристики двигателя. Это вызвано различными начальными условиями проведения опытов, различными конструкциями дизеля, состава и способа получения эмульсий, режима работы и других факторов. Широкое применение ВТЭ также является проблематичным из-за сниженной смазывающей способности такого топлива, приводящей к выходу из строя дорогостоящей топливной аппаратуры, снижения динамических качеств транспортного средства, уменьшения полезной нагрузки и пробега на одной заправке, применение дорогостоящих эмульгаторов или аппаратуры для производства ВТЭ.

Предложена концепция синтеза и состава нового моторного топлива, которое устраняет известные недостатки при использовании ВТЭ, при сохранении таких преимуществ перед товарным дизельным топливом как повышение эффективности процесса сгорания топлива, увеличение моторесурса двигателей и снижение концентрации токсичных компонентов в отработавших газах. Это возможно при использовании многокомпонентной топливной эмульсии, состоящей из воды, дизеля и биодизеля.

Во второй главе «Теоретические предпосылки получения водно-био-топливной эмульсии и её сгорания в двигателе» разработана технология получения водно-био-топливной эмульсии, способствующей улучшению эксплуатационных и экологических свойств работы ДВС, описаны модифицированный смеситель-активатор и математическая модель энергии механоактивации, приведён расчёт параметров смесителя-активатора,

позволяющего получать мелкодисперсную эмульсию, приведена методика расчёта влияния водно-био-топливной эмульсии (ВБТЭ) на процессы смесеобразования и сгорания в ДВС, а также исследован процесс сгорания ВБТЭ в двигателе.

Технологическая схема получения водно-био-топливной эмульсии приведена на рисунке 1. Сначала приготавливается водно-топливная эмульсия, затем в ВТЭ добавляется биодизельное топливо. Одновременно с помощью насосов дизельное топливо поступает из резервуара E2, эмульгирующая система поступает из резервуара E1, вода из резервуара E3 в модифицированный смеситель-активатор C1, получаемая водно-топливная эмульсия попадает в резервуар E4 и накапливается там, при закрытом вентиле B1. На втором этапе полученная ВТЭ поступает из резервуара E4, а биодизельное топливо из резервуара E5 в статический смеситель-активатор C2, полученная водно-био-топливная эмульсия поступает в резервуар E6.

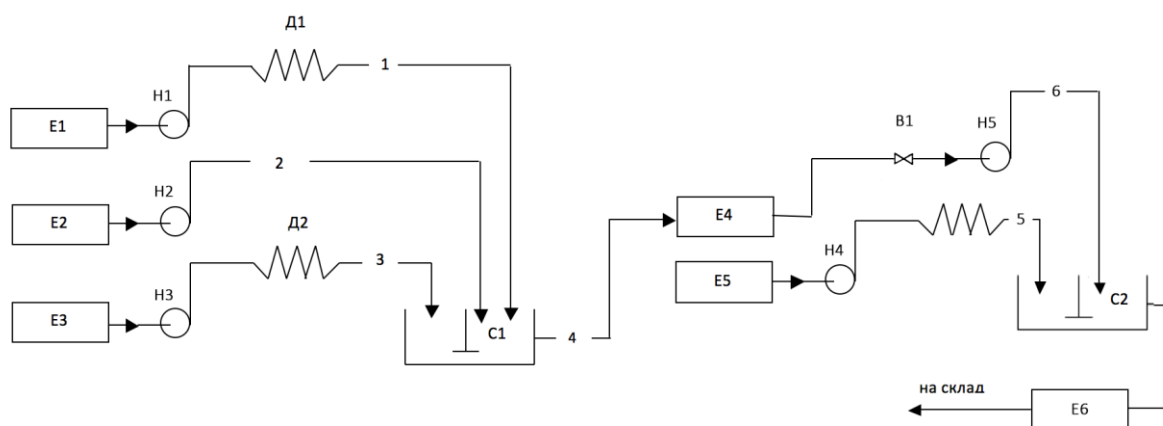


Рисунок 1 – Технологическая схема получения водно-био-топливной эмульсии.

Основу эффективного процесса получения водно-био-топливной эмульсии составляет комплексное механическое воздействие в статическом смесителе-активаторе, усиливающее процесс смешивания жидкостей, при этом происходит разрыв межмолекулярных связей и образование новых химических связей, приводящих к необратимому изменению свойств и состава жидкости, в

результате чего происходит улучшение физико-химических параметров топлива, его эксплуатационных и экологических свойств.

Зависимость энергии E_i (выделяющаяся внутренняя энергия жидкой среды) от факторов механического воздействия на жидкую среду давления P и скорости v , возникающих на входе в активатор и меняющих свою величину внутри активатора:

$$E_i = (Ce^{-k_1 P} + E_0)(1 - e^{-k_2 v}) \quad (1)$$

Давление внутри статического смесителя меняется в результате возникновения гидроударов и определяется:

$$P = v\rho C_{уд} \quad (2)$$

где v - скорость потока, м/с; ρ - плотность жидкости, кг/м³; $C_{уд}$ - скорость ударной волны, м/с.

Скорость ударной волны рассчитывается по уравнению, учитывающему свойства жидкости, материала трубы и её геометрию:

$$C_{уд} = \frac{\sqrt{\frac{E_{ж}}{\rho}}}{\sqrt{1 + \frac{E_{ж}d}{E\delta}}} \quad (3)$$

где $E_{ж}, E$ - модуль упругости жидкости и материала стенки соответственно, Па; ρ - плотность жидкости, кг/м³; d - диаметр канала механоактиватора, см; δ - толщина стенки, мм.

Параметры смесителя-активатора – его диаметр и длина - напрямую связаны с его эффективностью. Эффективностью статических механоактиваторов называют степень достижения однородности смешиваемых сред на выходе из устройства. Эффективность процесса смешивания в смесителе-активаторе по энергетической модели, согласующейся с моделью идеального вытеснения, можно выразить как:

$$\eta = 1 - e^{-N_d}, \quad (4)$$

где N_d - число единиц переноса. В теории турбулентной миграции вводится понятие индекса инерционности, определяемого выражением $\omega_E \cdot \tau_p$, где ω_E -

угловая частота турбулентных низкочастотных пульсаций энергоёмких вихрей, c^{-1} , τ_p - время релаксации, с.

Экспериментальными данные позволяют нам для частиц, полностью увлекаемых турбулентными колебаниями и пульсациями, записать выражение:

$$\omega_E \tau_p = \frac{\pi \rho_c d_c^2 f}{9 \mu_{жс}} < 0,01 \quad (5)$$

С учётом того, что по Таусенду $\omega_E \approx u_* / (0,1R)$ и $\tau_p = \rho_c d_c^2 / 18 \mu_{жс}$ преобразуем (5) и определим диаметр частиц:

$$d_c < 0,3 \sqrt{\frac{\mu_{жс}}{\pi \rho_c f}} = 0,314 \sqrt{\frac{R \mu_{жс}}{\rho_c u_*}}, \quad (6)$$

где $\omega_E = 2\pi f$ есть угловая частота энергоёмких пульсаций, c^{-1} , R – радиус канала, м, ρ_c - плотность частицы, $кг/м^3$, d_c - диаметр частицы, м, $\mu_{жс}$ - динамическая вязкость, $Па \cdot с$.

Выражение для не увлекаемых турбулентными пульсациями частиц будет:

$$\omega_E \tau_p = \frac{\pi \rho_c d_c^2 f}{9 \mu_{жс}} > 100 \quad (7)$$

$$d_c > 30 \sqrt{\frac{\mu_{жс}}{\pi \rho_c f}} = 13,4 \sqrt{\frac{R \mu_{жс}}{\rho_c u_*}} \quad (8)$$

Из зависимостей (6) и (8) можно сделать вывод, что за пульсациями среды следуют взвешенные в турбулентном потоке частицы, и это следование точнее для частиц, имеющих маленький радиус и плотность, находящихся в более вязких средах с небольшой частотой пульсаций.

Для получения эмульсий высокого качества, необходимо знать минимальный и максимальный размер частиц дисперсной фазы. Для эмульсии используемой в дизеле размер водной фазы должен быть порядка 1-3 мкм. Обозначим минимальные и максимальные границы диапазона размера дисперсной фаз как d_1 и d_2 соответственно. Тогда имеем:

$$0,314 \sqrt{\frac{R\mu_{жс}}{\rho_{жс}u_*}} < d_1$$

$$13,4 \sqrt{\frac{R\mu_{жс}}{\rho_{жс}u_*}} > d_2 \quad (9)$$

Тогда, выразив R , имеем:

$$\frac{d_1^2 \rho_{жс} u_*}{0,314^2 \mu_{жс}} < R > \frac{d_2^2 \rho_{жс} u_*}{13,4^2 \mu_{жс}}. \quad (10)$$

Определим длину смесителя через логарифм эффективности процесса смешивания в смесителе-активаторе, где H – длина канала смесителя, таким образом, имеем:

$$H = \frac{-U_{cp} \ln(1-\eta)}{\beta_d a_v}, \quad (11)$$

где $\beta_d = \left(\int_0^\delta \frac{j^* dy}{v + D_d} \right)^{-1}$ – коэффициент скорости переноса частиц, j^* –

относительная плотность потока частиц, $D_d = \frac{V_T}{1 + \omega_E \tau_p}$ – коэффициент турбулентной диффузии; U_{cp} – средняя скорость, м/с; a_v – удельная поверхность смесителя, м²/м³.

Рассматривая процессы сгорания ВБТЭ в камере сгорания, необходимо учитывать наличие в составе эмульсии биодизельного топлива, которое влияет на коэффициент избытка воздуха. Следовательно, для оценки процессов смесеобразования и сгорания необходимо учитывать это влияние и ввести корректирующий коэффициент, который зависит от процентного соотношения дизельного и биодизельного топлива в дисперсионной среде. Разработана модель влияния воды как компонента водно-био-топливной эмульсии на смесеобразование и процессы сгорания, происходящие в камере сгорания дизеля. Модель базируется на изучении системы, образованной конечным числом капель эмульсии. Опуская математические преобразования и пренебрегая незначительными изменениями массы рабочего тела за счёт испарения и сгорания, основные зависимости параметров процесса сгорания имеют вид

$$\frac{dP}{d\varphi} + z \frac{PdV}{Vd\varphi} = \frac{z-1}{V} \sum \frac{dQ}{d\varphi}, \quad (12)$$

$$\frac{dT}{d\varphi} + (z-1) \frac{TdV}{Vd\varphi} = \frac{1}{\mu C_v M} \sum \frac{dQ}{d\varphi}, \quad (13)$$

где $z = \frac{8314}{\mu C_v} + 1$.

В третьей главе «Методики экспериментальных исследований и расчёта» приведена общая методика экспериментальных исследований проверки теоретических предпосылок и выводов, сделанных в ходе разработки состава и технологии получения водно-био-топливной эмульсии, а также методика проведения сравнительных моторных испытаний работы дизельного двигателя на товарном дизельном топливе и ВБТЭ.

Использование методик и набора современного лабораторного оборудования позволили провести оценку эксплуатационных свойств водно-био-топливной эмульсии, выявить ряд её свойств, отсутствующих в научной литературе – теплоёмкость, теплотворная способность, вязкость.

Комплексные моторные испытания проведены на обкаточном тормозном универсальном стенде КИ-5540М с установленным на нём двигателем КАМАЗ-740, модернизированный путём установки аппаратно-программного комплекса, позволили сравнить эмульгированное топливо с товарным дизельным топливом по различным показателям. Установленный на стенде КИ-5540М аппаратно-программный комплекс содержит системы измерения: тормозного момента, давления масла, частоты вращения, расхода топлива, температуры масла, воды, топлива, которые управляются и контролируются с помощью ноутбука с необходимым программным обеспечением. Все системы оснащены датчиками и измерительными приборами, входящими в единый реестр средств измерений Российской Федерации.

Определение оценочных показателей рабочего процесса дизеля осуществляется в условиях регуляторной характеристики (при номинальной нагрузке на тормозе) и характеристик холостого хода, а также по испытательному циклу, состоящему из 13 установившихся режимов ГОСТ Р

41.49-2003 (ПРАВИЛА ЕЭК ООН N 49). Отклонения показателей рабочего процесса дизеля при работе на эмульгированном топливе определяются по отношению к их значениям при работе на товарном дизельном топливе с неизменными регулировками основных систем и механизмов.

Характеристики, фиксируемые в ходе проведения испытаний двигателя без нагрузки: частота вращения коленчатого вала, навеска топлива, время расхода навески топлива, давление масла в главной масляной магистрали, температура охлаждающей жидкости, температура топлива в расходомере, температура топлива на входе в ТНВД, температура окружающего воздуха, перепад давления в сопле, процент содержания оксидов углерода, оксидов азота, углеводородов и дымность в отработавших газах, часовой расход топлива. Во время испытаний с нагружением фиксируется и нагрузка на двигатель при разной частоте оборотов коленчатого вала.

По полученным данным произведены расчёты вредных выбросов в соответствии с методикой, описанной в ГОСТ Р 41.49-2003.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» приведены результаты исследований и анализ работы дизельного двигателя на дизельном топливе, ВТЭ и ВБТЭ. Для сравнительного анализа использовалось дизельное топливо, водно-топливная эмульсия на основе дизельного топлива и 15% воды, и водно-био-топливная эмульсия, оптимальный состав которой был определён с помощью нейронной сети: содержание нефтяного топлива в ВБТЭ 45% для сохранения теплофизических характеристик топлива, добавка биодизельного топлива - 39%, воды - 15% и 1% - эмульгатора. По результатам исследований подтверждён состав эмульгирующей системы, использование которого для стабилизации ВБТЭ не увеличивает нагарообразование на днище поршня и на распылителях форсунок, а также не приводит к возрастанию объёма токсичных компонентов в ОГ.

Полученная ВБТЭ по разработанной технологии и с использованием модифицированного смесителя-активатора имеет высокое качество и хорошую стабильность. Были проведены исследования, включающие обработку и расчёт

более 100 микроструктур образцов ВБТЭ сразу после получения и через три месяца после хранения (рисунок 2 (а, б)). Анализ полученных данных показывает, что размер 90 % капель воды, являющихся дисперсной фазой, даже после трёх месяцев хранения эмульсии составляет 3 мкм и менее, при этом капли с диаметром более 6 мкм в эмульгированном топливе практически отсутствуют.



а) сразу после приготовления, б) после трёх месяцев хранения

Рисунок 2 – Микрофотография образцов ВБТЭ.

Качество воды, идущей на приготовление эмульсии, оказывает непосредственное влияние на износ деталей топливной аппаратуры. Это влияние становится сильнее с использованием сернистых сортов топлив, так как при сжигании ВБТЭ образуются водяные пары, которые в свою очередь при взаимодействии с серой образуют на поверхностях камеры сгорания серную и сернистую кислоты. Также возможно отложение водорастворимых солей в виде накипи. Помимо этого, наличие воды существенно меняет механизм коррозии из химической в электрохимическую. Вода для приготовления эмульгированных топлив должна отвечать определённым требованиям, а именно полное отсутствие коррозионной активности и солей общей жёсткости

Вязкость водно-био-топливных эмульсий увеличивается с увеличением процентного содержания воды, а при высоких температурах вязкость ВБТЭ близка к вязкости исходного дизельного топлива. Плотность ВБТЭ выше плотности исходного дизельного топлива, причём с ростом процентного содержания концентрации воды плотность эмульсии возрастает. Установлена

закономерность уменьшения плотности ВБТЭ при повышении температуры. Определены основные физико-химические показатели ВБТЭ, которые приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнение физико-химических показателей ВБТЭ (45% дизельного топлива, 39% биодизельного топлива, 15% воды и 1% эмульгатора) и ВТЭ (84% дизельного топлива, 15% воды и 1% эмульгатора)

Наименование показателя	Величина показателя ВБТЭ	Величина показателя ВТЭ
Внешний вид	прозрачная жидкость светло-жёлтого цвета	прозрачная жидкость светло-жёлтого цвета
Плотность при 20°C, кг/м ³ , не более	890	890
Вязкость кинематическая при 20°C, мм ² /с	4,5	4,0
Температура вспышки, °C	75	80
Теплотворная способность, кДж/кг, не ниже	34000	34500
Коксуемость 10%-ного остатка разгонки % (по массе), не более	0,3	0,3
Зольность, %(по массе), не более	0,01	0,01
Испытание на медной пластине	выдерживает	выдерживает
Содержание воды, %	15	15
Кислотное число, мг КОН/г топлива, не более	0,5	0,5
Содержание серы, мг/кг, не более	10	10
Удельная теплоёмкость, ккал/кг*градус	0,53	0,49

Из проведённых моторных испытаний установлено что, водно-биотопливная эмульсии по сравнению с водно-топливной эмульсией с одинаковым

процентным содержанием воды имеет более высокую эффективную мощность и топливную экономичность (рисунок 3).

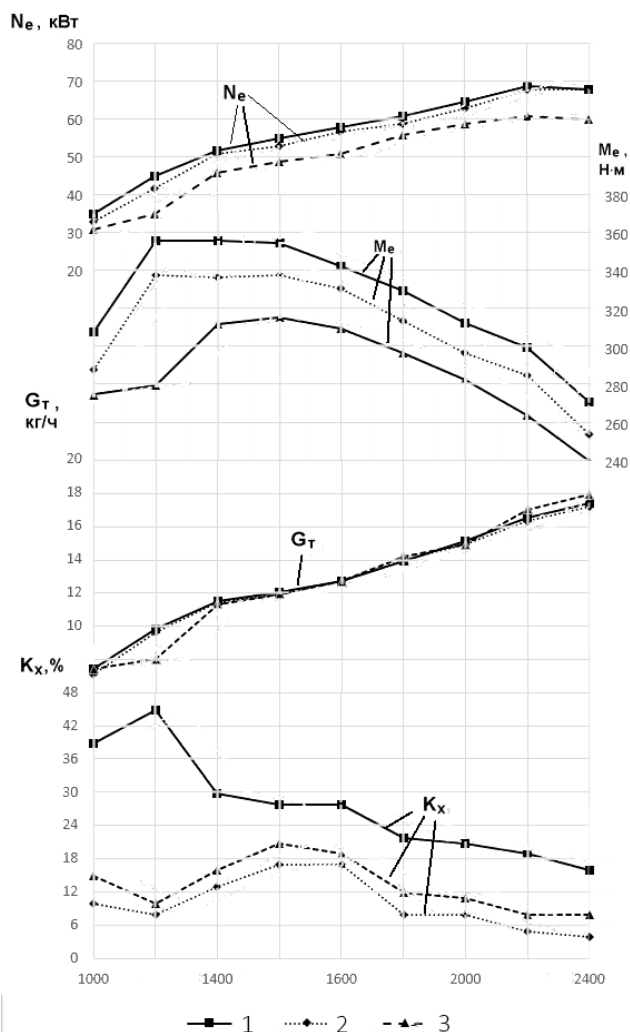


Рисунок 3 - Зависимость эффективной мощности N_e , крутящего момента M_e , часового расхода топлива G_T , дымности ОГ K_x от частоты вращения n коленчатого вала дизеля для 1 - ДТ, 2 - ВБТЭ и 3 – ВБТЭ.

Анализ результатов исследований показывает, что перевод дизеля с ДТ на эмульгированные топлива не приводит к существенному изменению часового расхода топлива G_T (за исключением режимов с низкой частотой вращения – при $n < 1400 \text{ мин}^{-1}$). Но при этом из-за пониженного содержания горючих компонентов (углерода С и водорода Н) в эмульгированных топливах при их использовании мощностные показатели дизеля (эффективная мощность N_e и крутящий момент M_e) снижаются. Использование исследуемых эмульгированных топлив позволяет заметно снизить дымность ОГ. Так, при переходе от ДТ на ВБТЭ на режиме максимального крутящего момента при $n=1500 \text{ мин}^{-1}$ дымность ОГ K_x снизилась 28,0 и 17,0% по шкале Хартриджа, а на режиме максимальной мощности при $n=2400 \text{ мин}^{-1}$ – с 17,0 до 5,0% по шкале Хартриджа.

Использование в дизеле ВБТЭ позволяет снизить токсичность отработавших газов. Наличие воды в виде дисперсной фазы неоднозначно влияет на количество выбросов оксидов углерода и углеводородов, однако, однозначно способствует снижению выбросов оксидов азота. Добавление биодизеля в состав эмульгированного топлива не влияет на количество выбросов оксида азота, но позволяет снизить процент выбросов углеводородов и оксидов углерода. Данные об интегральных удельных выбросах токсичных компонентов на режимах 13-ступенчатого цикла представлены в таблице 2

Таблица 2. – Интегральные удельные выбросы

Интегральные удельные выбросов токсичных компонентов, г/(кВт*ч)	ДТ	ВТЭ	ВБТЭ
оксиды азота e_{NO_x}	6,610	3,849	3,305
монооксид углерода, e_{CO}	3,612	4,648	2,019
несгоревшие углеводороды, e_{CH_x}	1,638	2,522	1,121

В пятой главе «Экономическая оценка результатов исследования» экономическая эффективность применения ВБТЭ в автотракторных дизелях рассматривается с трёх позиций. Во-первых, стоимостная оценка уменьшения опасности воздействия выхлопных газов на экологию окружающей среды по сравнению с использованием дизельного топлива, во-вторых, затраты на производство водно-био-топливной эмульсии, в-третьих, экономия денежных средств при эксплуатации дизеля на смесевом топливе.

Результаты исследований показали, что производство водно-био-топливной эмульсии является экономически оправданным, в случае непосредственного производства на предприятии, которое будет использовать ВБТЭ в своей деятельности.

Экономическая эффективность от использования водно-био-топливной эмульсии только на одном тракторе может составить более 50 000 рублей в год, в зависимости от того, какие составные компоненты ВБТЭ закупались по рыночной стоимости.

Предотвращённый экологический ущерб при сжигания ВБТЭ в дизельном двигателе по сравнению с дизельным топливом ЕВРО сорт С, вид III составляет 343 рубля с каждой тонны, для дизельного топлива класса ниже экономия будет возрастать.

Заключение

1. На основании анализа известных способов получения водо-топливных эмульсий и экспериментальных проработок разработана технология получения водно-био-топливной эмульсии при помощи процесса механоактивации в комбинированном статическом смесителе-активаторе.

2. Результаты исследований и измерений нагара и вредных выбросов в ОГ позволяют рекомендовать использовать для стабилизации водно-био-топливной эмульсии многокомпонентную эмульсирующую систему, включающую четыре группы компонентов: анионные поверхностно-активные вещества (ПАВ) (в т. ч. алкилсульфаты общей формулы), неионные ПАВ (в т. ч. сорбитанолеат); полиолефины (в т.ч. поли-альфа-олефины); бетаин; нитрированное масло.

3. Установлено, что эмульгирование топлива водой приводит к интенсификации процессов смесеобразования и сгорания топлива в дизельных двигателях. Использование таких топлив приводит к снижению эмиссии азота примерно в 2 раза, так как присутствие воды снижает температуру в камере сгорания дизеля.

4. Установлено, что добавление биодизельного топлива в водно-топливную эмульсию снижает эмиссию углеводородов в 1,4 раза и оксида углерода в 1,7 раза в отработавших газах, а также повышает смазывающую способность водно-топливной эмульсии.

5. Определён с помощью нейронной сети процентный состав компонентов водно-топливной эмульсии, который позволяет получить улучшенные эксплуатационные и экологические показатели. Оптимальным составом является содержание нефтяного топлива – не менее 45% для сохранения теплофизических характеристик топлива, а для сохранения экологических свойств – не более 48%. Добавка биодизеля до 40%

способствует снижению в выбросах отработавших газов оксидов углерода, канцерогенных углеводородов. Добавка воды - 15% обусловлена улучшением экологических свойств топлива – снижению оксидов азота при сохранении теплофизических свойств топлива

6. Приведены основные физико-химические показатели водно-био-топливной эмульсии, состоящей из 45% дизельного топлива, 39% биодизельного топлива, 15% воды и 1% эмульгатора, и её влияние на эксплуатационные и экологические показатели работы дизельного двигателя.

7. Определён экономический эффект и предотвращённый экологический ущерб от внедрения водно-био-топливной эмульсии в сельскохозяйственное предприятие.

Рекомендации производству

На основании теоретических и экспериментальных исследований определён оптимальный состав ВБТЭ и установлено, что при работе ДВС на новом моторном топливе происходит суммарное снижение эмиссии токсичных компонентов в ОГ и увеличение эффективного КПД двигателя не менее 4%.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Разработать комбинированный статический активатор с использованием эффектов закрученного потока и эжекции, обуславливающих протекание технологического процесса в условиях энергоэффективности. Создать новые ПАВ, способствующих стабилизации ВБТЭ в течение 1-2 лет.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Левина, Е. Ю.** Влияние архитектуры многослойной персептронной нейронной сети на результаты прогноза стабильности водно-биотопливной эмульсии[Текст] / Е. Ю. Левина, М. Ю. Левин, С. А. Нагорнов // Естественные и технические науки. – 2015. – №4. – С. 137–140.

2. **Левина, Е. Ю.** Механизм воздействия воды в составе водно-биотопливных эмульсий на процессы смесеобразования и сгорания в автотракторных дизелях[Текст]/ Е. Ю. Левина, С. А. Нагорнов // Естественные и технические науки. – 2015. – №4. – С. 141–146.

3. **Левина, Е. Ю.** Моделирование течения жидких сред в процессе механоактивации[Текст] / Е. Ю. Левина, М. Ю. Левин, С. А. Нагорнов // Инновации и инвестиции. – 2015. – №4. – С. 136–139.

4. **Левина, Е. Ю.** Прогнозирование показателей качества водно-биотопливной эмульсии с применением нейронных сетей[Текст]/ Е. Ю. Левина, М. Ю. Левин, С. А. Нагорнов // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2015. – №1. – С. 146–156.

В сборниках научных трудов и материалах конференций:

5. **Левина, Е. Ю.** Влияние архитектуры многослойной персептронной сети на результаты прогноза параметров качества биодизеля[Текст] / Е. Ю. Левина, М. Ю. Левин // Наука в центральной России. – 2013. – №4. – С. 75–77.

6. **Левина, Е. Ю.** Прогнозирование параметров качества биодизеля с использованием нейронных сетей[Текст] / С. А. Нагорнов, Е. Ю. Левина // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2013. – № 1(69). – С. 128–130.

7. **Левина, Е. Ю.** Анализ влияния архитектуры нейронной сети при прогнозировании показателей качества биодизеля [Текст] / Е. Ю. Левина, М. Ю. Левин, С. А. Нагорнов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения: сб. науч. тр. международной конференции. – 2013. – № 2. – С. 4–9.

8. **Левина, Е. Ю.** Обзор методов получения воднотопливных эмульсий[Текст] / Е. Ю. Левина // Потенциал современной науки. – 2014. – № 5(11). – С. 70-74.

9. **Левина, Е. Ю.** Состав водно-биотопливных эмульсий[Текст] / С. В. Романцова, Е. Ю. Левина // Наука в центральной России. – 2014. – №4(10). – С. 48–54.

10. **Левина, Е. Ю.** Использование водно-топливных эмульсий в тракторных дизелях[Текст] / Е. Ю. Левина, В. А. Марков, С. Н. Девянин [и др.] // Наука в центральной России. – 2014. – №4(10). – С. 54–64.

11. **Левина, Е. Ю.** Обзор свойств современных водно-топливных эмульсий [Текст] / Е. Ю. Левина // Потенциал современной науки. – 2014. – № 6. – С. 37–39.

12. **Левина, Е. Ю.** О возможности применения эффекта Коанда в вихревых трубках[Текст] / Е. Ю. Левина, М. Ю. Левин, С. А. Нагорнов // Современная наука: актуальные проблемы и пути их решения: сб. науч. тр.международной конференции. – 2014. – № 8. – С. 57–61.

13. **Левина, Е. Ю.** Анализ качественных, экологических и экономических показателей водно-топливных эмульсий[Текст] / Е. Ю. Левина // Наука в центральной России. – 2014. – №6(12). – С. 69–73.

14. **Левина, Е. Ю.** Методы математического моделирования процессов получения биодизельного топлива[Текст] /Е. Ю. Левина, А. Н. Зазуля, С. В. Романцова [и др.] // Наука в центральной России. – 2014. – №4(10). – С. 64–84.

15. **Левина, Е. Ю.** Физическая модель горения водно-био-топливных эмульсий в дизельных двигателях[Текст] / Е. Ю. Левина, С. А. Нагорнов // Потенциал современной науки. – 2015. – № 2. – С. 41–49.

16. **Левина, Е. Ю.** Математическая модель механоактивации для невязких жидких сред [Текст] / Е. Ю. Левина, М. Ю. Левин, С. А. Нагорнов // Потенциал современной науки. – 2015. – № 3. – С. 34–40.

17. **Левина, Е. Ю.** Использование водно-био-топливной эмульсии в автотракторных дизелях[Текст] / Е. Ю. Левина, В. А. Марков, С. Н. Девянин[и др.]// Наука в центральной России. –2015. – № 1 (13). – С. 71–78.

18. **Левина, Е. Ю.** Физико-математическая модель механоактивации вязкой жидкости [Текст] / Е. Ю. Левина, М. Ю. Левин, С. А. Нагорнов // Наука в центральной России. – 2015. – № 2 (14). – С. 77–80.

19. **Левина, Е. Ю.** Влияние состава водно-топливной эмульсии на работу тракторных дизелей [Текст] / Е. Ю. Левина, М. Ю. Левин // Нефть и газ–2015 : сб. тезисов : в 3 томах : том № 2. – 2015. – С. 183.

20. **Левина, Е. Ю.** Оптимизация состава водно-био-топливной эмульсии с применением нейронных сетей [Текст] / Е. Ю. Левина, М. Ю. Левин, С. А. Нагорнов // Наука в центральной России.– 2015. – № 3. – С. 5–12.

21. **Левина, Е. Ю.** Белое топливо для двигателя [Текст] / Е. Ю. Левина, Ю. В. Воробьев, С. А. Нагорнов [и др.] // Наука в центральной России.– 2015. – № 4. – С. 76–86.

22. **Левина, Е. Ю.** Воздействие компонентов водно-био-топливной эмульсии на процессы горения и смесеобразования в камере сгорания дизеля [Текст] / Е. Ю. Левина, А. Н. Зазуля, С. А. Нагорнов // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства : сборник научных докладов XVIII Международной научно-практической конференции. – 2015. – 23–24 сентября. – С. 284–287.