

На правах рукописи



Борисов Сергей Владимирович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ
ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВОДНО-ДИЗЕЛЬНОЙ СМЕСИ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ
АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Мичуринск-научоград РФ
2021

Работа выполнена на кафедре технологических процессов и техносферной безопасности в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Мичуринский государственный аграрный университет»

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
Ломовских Александр Егорович

Официальные оппоненты: **Картошкин Александр Петрович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», кафедра «Автомобили, тракторы и технический сервис», профессор

Жолобов Лев Алексеевич, кандидат технических наук, профессор, ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», кафедра «Эксплуатация мобильных энергетических средств и сельскохозяйственных машин», профессор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет»

Защита диссертации состоится 11 ноября 2021 г. в 15-00 часов на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.179.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» по адресу: 393760, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101, корпус 1, зал заседаний диссертационных советов, тел./факс (47545) 3-88-13, доб. 3-82, e-mail: dissov@mgau.ru.

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

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, с подписью, заверенной печатью организации, с указанием индекса, почтового адреса, телефона, электронной почты и сайта организации, фамилии, имени, отчества лица, подготовившего отзыв, просим направить ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан «___» сентября 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

Н.В. Михеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Изучение современного состояния агропромышленного комплекса (АПК) России позволило выявить ряд энергетических и экологических проблем в автотракторных парках. Такое положение объясняется тем, что новые современные образцы автотракторной техники (АТТ) могут приобрести только крупные аграрные предприятия и холдинги, а мелкие крестьянско-фермерские хозяйства эксплуатируют, в основном, физически устаревшую АТТ в возрасте 15...30 лет. Эксплуатация такой техники экономически затратна, так как сопровождается повышенным расходом топлива и приводит к повышению экологических рисков за счет выбросов в атмосферу токсичных веществ, содержащихся в отработавших газах (ОГ) двигателя. Эти негативные факторы существенно влияют на снижение плодородия почв и их продуктивности, ухудшение качества воды, атмосферы, наносят большой урон растениеводству и животноводству. Поэтому наряду с внедрением новых образцов АТТ, важное значение имеет усовершенствование эксплуатируемых двигателей существующей техники, работающих на дизельном топливе.

Перечисленные выше проблемы возможно решить путем совершенствования рабочего процесса силовых установок или с возможностью применения альтернативных топлив.

Топливные смеси с применением эмульгаторов уже много лет используются во многих странах мира, а вот использование воды в качестве компонента без применения дорогостоящих эмульгаторов исследовано недостаточно.

Степень разработанности темы. Вопросам научного исследования альтернативных видов топлива – топливных смесей и использование их в системах питания двигателей посвящены работы Корабельникова С.К., Ломовских А.Е., Картошкина А.П., Панова В.С., Жолобова Л.А., Павлова С.С., Хергеледжи М.В., Камфера Г.М., Алушкина Т.Е., Кулманакова С.С., Гвоздева А.М., Кудяна А.А., Бирюкова А.Л., Ложкина В.Н., Сафиуллина Р.Н., Гавкалюка Б.В., Иванова И.А., Акулова Н.И., Никишиной Ю.Г.

На основании анализа вышеперечисленных работ выдвигается гипотеза о возможности повышения эксплуатационных и экологических показателей дизельного двигателя путем совершенствования технологии приготовления водно-дизельной смеси без использования эмульгаторов и разработке технических устройств для ее подачи в систему питания дизеля, что является актуальной задачей, имеющей существенное значение для эффективности функционирования АТТ с экономической и экологической точек зрения.

Цель исследования – снижение расхода топлива и уменьшение содержания вредных веществ в отработавших газах двигателей автотракторной техники путем применения технических средств (устройств), позволяющих приготовить и подать в штатную систему питания водно-дизельную смесь (ВДС).

Задачи исследования:

1. На основе проведенного анализа существующих методов и технических средств, приготавливающих топливные смеси для двигателей внутреннего сгорания, обосновать комплекс мероприятий, обеспечивающих улучшение экономических и экологических показателей дизельных двигателей АТТ.

2. Разработать математическую модель исследования течения водно-дизельной смеси через рабочие органы роторно-пульсационного аппарата (РПА) и процесса дробления капель воды в данном устройстве.

3. Разработать методику по обоснованию рационального состава водно-дизельной смеси для двигателя, позволяющую комплексно определять его эксплуатационные и экологические показатели в зависимости от количества воды в ВДС и размера ее капель.

4. Разработать технологию приготовления водно-дизельной смеси и технические средства (устройства) для ее реализации в системе питания дизельного двигателя и провести экспериментальные исследования по определению удельного расхода топлива и содержания сажи в ОГ.

5. Выработать обоснованные рекомендации по практическому применению технологии приготовления водно-дизельной смеси и технических средств (устройств) для ее реализации в системе питания дизельного двигателя и оценить экономическую эффективность от внедрения.

Объект исследования – технологический процесс приготовления и подачи в систему питания дизельного двигателя водно-дизельной смеси.

Предмет исследования – закономерности приготовления водно-дизельной смеси в роторно-пульсационном аппарате, пригодной для использования в двигателях внутреннего сгорания.

Научная новизна работы:

1. Разработана математическая модель исследования течения водно-дизельной смеси через рабочие органы РПА и процесса дробления в нем капель воды, учитывающая его конструктивные особенности.

2. Предложено теоретическое обоснование рационального состава водно-дизельной смеси, позволяющее комплексно определять эксплуатационные (удельный расход топлива – g_e) и экологические (содержание сажи в ОГ) показатели дизельного двигателя в зависимости от исследуемых величин: содержания воды в топливе – C_w ; среднего диаметра капель воды в дизельной смеси – d_k ; угла опережения впрыска топлива – $\theta_{в.т.}$.

3. Разработана технология приготовления водно-дизельной смеси и технические средства (устройства) для ее реализации в системе питания дизельного двигателя, отличающиеся от существующих тем, что дополнительно введены: дозирующее устройство для автоматизации процесса подачи жидкого компонента в топливо в зависимости от режима работы двигателя; двухэтапный процесс перемешивания дозируемого компонента и топлива, позволяющий получать смесь разного состава и дисперсности на АТТ и параллельно подавать ее в штатную систему питания без значительного изменения его конструкции для повышения эксплуатационных и экологических показателей ДВС путем улучшения качества применяемого топлива.

4. Разработаны рекомендации по практическому применению технологии приготовления водно-дизельной смеси и технических средств (устройств) для ее реализации в системе питания дизельного двигателя АТТ, обоснованные проведенными эксплуатационными исследованиями, на основании разработанной методики влияния состава и дисперсности смеси на удельный расход топлива и содержание вредных веществ в ОГ.

Теоретическая и практическая значимость результатов работы. Теоретическая значимость заключается в разработке конструктивно-технологической схемы роторно-пульсационного аппарата и теоретическом обосновании режимов его работы.

Разработаны и практически реализованы способ и устройство для приготовления и использования водно-дизельной смеси (ВДС) в системе питания дизельных ДВС, новизна которых подтверждена полученными соответствующими патентами РФ (№ 2498094 от 10.11.2013 г и № 2469199 от 10.12.2012 г). Разработан программный продукт для ЭВМ № 2021614518, реализующий алгоритмы влияния состава и качества ВДС на эксплуатационные и экологические показатели дизельного двигателя. Результаты теоретических и экспериментальных исследований имеют большую практическую значимость для конструкторских, проектных организаций, автотракторных парков и учебных заведений.

Методология и методы исследования. Поставленная в работе цель достигается использованием теоретических и экспериментальных апробированных методов исследования. С помощью теоретических методов, включающих алгоритмические методы планирования эксперимента и программного продукта для обработки данных, осуществлялись исследования процесса влияния состава и дисперсности ВДС на эксплуатационные и экологические показатели дизельного двигателя.

Экспериментальная часть работы проводилась в целях определения снижения часового и удельного расхода топлива, содержания сажи при работе дизельного двигателя с модернизированной системой питания в условиях стенда, а также при проведении натурных испытаний АТТ. Для регистрации исследуемых параметров дизельного двигателя АТТ использовался комплекс стандартной измерительной аппаратуры.

Положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель исследования течения ВДС через рабочие органы РПА и процесса дробления капель воды в аппарате.

2. Методика обоснования рационального состава ВДС для дизельного двигателя, позволяющая определять эксплуатационные и экологические показатели двигателя при работе на ВДС.

3. Технология получения ВДС, реализуемая в системе питания дизельного двигателя с помощью разработанных технических средств (устройств), позволяющих получать ВДС в два этапа и параллельно подавать ее в штатную систему питания дизельного двигателя.

4. Обоснованные рекомендации по практическому применению технологии приготовления ВДС и технических средств (устройств) для ее реализации в системе питания дизельного двигателя АТТ.

Реализация результатов исследований. Результаты исследования по совершенствованию технологии приготовления водно-дизельной смеси и технических средств для ее реализации в системе питания двигателей автотракторной техники внедрены в сельскохозяйственное предприятие «Виктория» Эртильского района Воронежской области, ООО «Трансстроймеханизация» г. Гагарин Смоленской области, АО «Раненбург – комплекс» г. Чаплыгин Липецкой области, ЗАО «Агро-Инвест – Касторное» п. Касторное Курской области.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность подтверждена достаточным количеством выполненных экспериментов, использованием современных методик, приборов и оборудования, схождением результатов, полученных теоретическими и экспериментальными исследованиями, внедрением полученных результатов в производство, выступлениями с докладами на конференциях с результатами исследований, одобрением и их публикацией в ведущих журналах, совпадением результатов исследований с результатами работ других авторов, занимающихся данной тематикой.

Основные научные и экспериментальные результаты докладывались и обсуждались на конференциях и семинарах в ФГБОУ ВО Воронежском государственном аграрном университете имени императора Петра I в 2017...2020 годах.

Публикации. По теме диссертационных исследований опубликовано 19 печатных работ. Из них: 1 – из перечня изданий, индексируемых в международных системах цитирования библиографических базах Scopus, 5 – из перечня изданий, рекомендованных ВАК. Новизна технических решений подтверждена двумя патентами на изобретение РФ № 2498094 от 10.11.2013 г., № 2469199 от 10.12.2012 г. и одним положительным решением на выдачу патента на изобретение. Общий объем публикаций составляет 15,49 у.п.л., лично автору принадлежит 4,95 у.п.л.

Соответствие паспорту специальности. Диссертационные исследования соответствуют паспорту специальности 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства п. 6 «Исследование условий функционирования сельскохозяйственных и мелиоративных машин, агрегатов, отдельных рабочих органов и других средств механизации технологических процессов в сельскохозяйственном производстве, в том числе с применением альтернативных видов топлива» и п. 11 «Разработка инженерных методов и технических средств обеспечения экологической безопасности в сельскохозяйственном производстве».

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы. Работа изложена на 148 страницах, включает 51 рисунок, 20 таблиц и 15 приложений на 31 странице. Список литературы включает 125 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение содержит основные структурные элементы: актуальность темы исследования, степень её разработанности, цель и задачи, научную новизну, теоретическую и практическую значимость, методологию и методы исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробацию результатов.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» проведен анализ способов и технических средств для приготовления дизельных смесей, улучшающих эксплуатационные характеристики АТТ.

Проведенный обзор литературных источников, связанных с исследованиями по приготовлению и использованию альтернативных видов топлива – дизельных смесей (ДС), (с добавлением компонентов этанола, метанола, эфиров,

воды), в системе питания силовых установок позволяют сделать вывод, что применение ДС является одним из эффективных способов комплексного улучшения эксплуатационных и экологических показателей дизельного двигателя (снижения токсичности ОГ, уменьшения нагарообразования, повышения экономичности и увеличения эффективной мощности). Максимально улучшить эти эксплуатационные показатели возможно, используя воду в виде топливно-водной смеси, в которой вода в виде мельчайших капель равномерно распределена в топливе.

Изучив работы по теме диссертационных исследований, можно сделать вывод, что мало изучены устройства, позволяющие приготавливать дизельную смесь (ДС) с водным компонентом непосредственно на технике и сразу подавать ее в штатную систему питания двигателя, существенно не изменяя конструкции последней. Поэтому возникает необходимость в разработке технических средств (устройств) и технологии приготовления ДС и дальнейшей ее реализации в системе питания ДВС, которые обеспечат рациональное управление составом ДС на различных нагрузочных режимах без изменения конструкции двигателя. Исходя из этих условий, предлагается приготавливать ДС с добавлением воды без использования эмульгаторов непосредственно на АТТ. Применение указанных ВДС может улучшить не только эксплуатационные показатели дизельного двигателя, но и экологические, что особенно важно в полевых условиях при проведении всех видов работ.

Во **второй главе** «Математическое моделирование процесса приготовления ВДС и влияние ее состава и качества на эксплуатационные показатели двигателя» представлена математическая модель исследования течения водно-дизельной смеси через рабочие органы РПА и процесса дробления капель водной фазы в аппарате. Для исследования такого разработанного РПА нужно использовать модель гомогенизации, учитывающую особенности течения топлива в РПА и состав компонентов.

Для определения средних размеров капель водной фазы в ВДС производилось математическое моделирование дробления водной фазы в дизельном топливе. Цель моделирования заключается в определении среднего минимального диаметра капель воды, который можно получить на разработанном РПА в зависимости от его режимов работы и конструктивных размеров.

С этой целью аналитическим путем решается система, состоящая из двух уравнений, относительно $U_{отн}(t_{отн})$:

$$\begin{cases} 4,5z \frac{\rho_2}{\rho_1} (V_{отн} - U_{отн}) + \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} - 1 \right) \frac{dV_{отн}}{dt_{отн}} = \left(1 + 0,5 \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \frac{dU_{отн}}{dt_{отн}}, \\ \frac{dV_{отн}}{dt_{отн}} = H_0 (1 - z_{кв} V_{отн}^2) \end{cases} \quad (1)$$

где ρ_1 – плотность тяжелых углеводородов; ρ_2 – плотность легких углеводородов; ν – кинематическая вязкость топлива; r – радиус капли воды до обработки в РПА; $V_{отн}$ – относительная скорость потока; $U_{отн}$ – относительная скорость движения капли; η – динамическая вязкость топлива ($\eta = \nu \rho$), $\frac{dV_{отн}}{dt_{отн}}$ – производная функции $U_{отн}(t_{отн})$.

В приведенных выше уравнениях $V_{отн}$ и $U_{отн}$ неизвестны величины, зависящие от $t_{отн}$. Из уравнения (1) приведенной выше системы определяются скорость $V_{отн}$ и отношение: $\frac{dV_{отн}}{dt_{отн}}$

$$V_{отн} = \frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} \frac{(e^{\alpha t_{отн}} - 1)}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1)}. \quad (2)$$

$$\frac{dV_{отн}}{dt_{отн}} = 4H_0 \frac{e^{\alpha t_{отн}}}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1)^2}. \quad (3)$$

Необходимые значения $V_{отн}$ и $\frac{dV_{отн}}{dt_{отн}}$ подставляются в первое уравнение системы (1):

$$4,5z \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} \frac{(e^{\alpha t_{отн}} - 1)}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1)} - U_{отн} \right) + \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} - 1 \right) 4H_0 \frac{e^{\alpha t_{отн}}}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1)^2} = \left(1 + 0,5 \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \frac{dU_{отн}}{dt_{отн}}. \quad (4)$$

Из полученного уравнения (4) определяется $U_{отн}$:

$$U_{отн} = e^{-\beta t_{отн}} 2,898 + \left[\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} - \frac{2\mu Y \ln|e^{\alpha t_{отн}} + 1|}{\alpha e^{\beta t_{отн}}} + \frac{\mu Q \ln|e^{\alpha t_{отн}} + 1|}{\alpha e^{\beta t_{отн}}} - \frac{\mu Q}{\alpha} \frac{1}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1)e^{\beta t_{отн}}} \right], \quad (5)$$

где, $\alpha = 2H_0 \sqrt{z_{кв}}$, $\beta = \frac{9z\rho_2}{2\rho_2 + \rho_1}$, $\mu = \frac{1}{2\rho_2 + \rho_1}$, $Y = 9z\rho_2 \frac{1}{\sqrt{z_{кв}}}$, $Q = 8H_0(\rho_2 - \rho_1)$, $z = \frac{V_0 t_0}{r^2}$:

$\Delta H_0 = \frac{V_0 t_0}{2L}$, $t_0 = \frac{a_c}{\omega R}$ – время обработки; a_c – ширина отверстия статора;

ω – угловая скорость вращения ротора; R – радиус ротора; L – длина модулятора; P – перепад давления на модуляторе РПА; $z_{кв}$ – гидравлическое сопротивление модулятора. По полученному уравнению (5), путем варьирования конструктивными параметрами (a_c , R , L) и режимами работы РПА (t_0 , ω , ΔP) с помощью разработанной программы для ЭВМ № 2021614518 выбираются параметры и режимы работы РПА, при которых относительная скорость движения капли воды ($U_{отн}$) будет максимальной. Это будет соответствовать среднему минимальному размеру капель воды в дизельном топливе.

Данная программа позволяет получить графическую зависимость для переменных t и U в безразмерных величинах, которая представлена на рисунке 1.

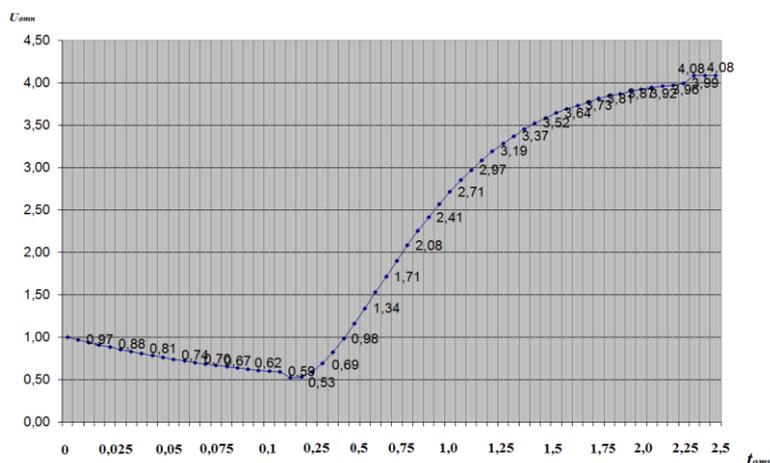


Рисунок 1 – График зависимости $U_{отн} = f(t_{отн})$

Из графика оценивается максимальное значение относительной скорости движения капли воды в ВДС с точки зрения её деформации и дробления в потоке, проходящем через рабочие органы аппарата. Началом дробления капли воды, согласно рисунка 1, будем считать достижение критического числа Вебера: $We_{кр} = 0,53$ для дизельной смеси:

$$We_{кр} = \frac{rU_{отн(кр)}\Delta\rho}{\sigma_{1,2}}, \quad (6)$$

где r – радиус капле; $U_{отн} = 0,4$ – критическая относительная скорость движения капле; $\Delta\rho = p_2 - p_1$ – разность плотностей дисперсной фазы и дисперсной среды, $\Delta\rho = 270 \text{ кг/м}^3$, $p_2 = 1000 \text{ кг/м}^3$ – плотность воды, $p_1 = 830 \text{ кг/м}^3$ – плотность дизельного топлива; $\sigma_{12} = 26,86 \times 10^{-3} \text{ Н/м}$ – межфазное поверхностное натяжение биологической мембраны водно-дизельной смеси.

Из полученного выражения (6) следует:

$$U_{отн(\max)} = \left(\frac{We_{кр} \sigma_{1,2}}{r\Delta\rho} \right)^{\frac{1}{2}}. \quad (7)$$

Затем определяется критическая скорость движения капле водной фазы в модуляторе аппарата:

$$U_{кр} = U_{отн(\max)} V_0 = \sqrt{\left(\frac{We_{кр} \sigma_{1,2}}{r\Delta\rho} \right) \frac{2\Delta P}{\rho_2}}. \quad (8)$$

Из формулы (8) выводится средний минимальный диаметр капле водной фазы в дизельном топливе, приготавливаемой на РПА:

$$\tilde{d}_{ср. \text{ теор.}} = 2 \times \frac{We_{кр} \sigma_{1,2}}{U_{кр}^2 \Delta\rho}. \quad (9)$$

В результате определен средний минимальный размер капле водной фазы в топливной среде $d_{ср. \text{ теор.}}$, приготавливаемой на динамическом РПА в зависимости от его конструктивных размеров (радиуса ротора и статора, ширины отверстия статора, длины щелей, гидравлического сопротивления самого модулятора) и режимов работы (угловой скорости ротора, времени обработки эмульсии, перепада давления в модуляторе). Проведенные теоретические расчеты позволили определить $d_{ср. \text{ теор.}}$, который составил 2,18 мкм.

Для оценки влияния состава и дисперсности ВДС на эксплуатационные и экологические показатели дизельного двигателя была предложена методика по обоснованию рационального состава ВДС, реализованная на основе полного факторного эксперимента с целью определения удельного расхода топлива ДВС и содержания вредных веществ в ОГ двигателя.

Основными входными (управляемыми) факторами, определяющими технологию приготовления ВДС, реализуемую разработанными техническими средствами (устройствами) принимались: содержание водной фазы в топливной среде C_6 , % (в плане ПФЭ – x_1), диаметр капле водной фазы в ВДС d_k , мкм (в плане ПФЭ – x_2), угол опережения впрыска топлива в ДВС $\theta_{в.т.}$, градус поворота коленчатого вала (град. п.к.в.) двигателя (в плане ПФЭ – x_3). Уровни факторов и интервалы варьирования представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни входных факторов и интервалы варьирования

Факторы	Кодовое обозначение	Обозначение	Интервал варьирования	Уровни варьирования				
				-1,682	-1	0	+1	+1,682
Содержание водной фазы в топливе, %	x_1	C_v	5	5	7	12	17	20
Диаметр капель водной фазы в ВДС, мкм	x_2	d_k	35	2	25	60	95	115
Угол опережения впрыска топлива в ДВС, град. п.к.в.	x_3	$\theta_{в.т.}$	2	2	4	6	8	10

Выходными исследуемыми параметрами принимаются показатели: удельный расход топлива дизельного двигателя g_e , г/кВт ч (в плане ПФЭ – y_1); диапазон измерения дымности в единицах коэффициента поглощения K , m^{-1} (в плане ПФЭ – y_2), диапазон измерения дымности в единицах коэффициента ослабления, N , % (в плане ПФЭ – y_3).

На основе математического моделирования разработаны алгоритмы для ПФЭ исследуемого процесса, который предусматривает нахождение уравнений регрессии второго порядка, а также осуществление статистического анализа значимости полученных коэффициентов уравнений влияния состава и дисперсности приготовленной ВДС на основные показатели дизельного двигателя.

В третьей главе «Методика проведения экспериментальных исследований» были проведены экспериментальные исследования на экспериментальных установках, сущность которых заключается:

в определении рациональной конструкции аппарата динамического принципа действия для приготовления ВДС и режима его работы;

в разработке технологии приготовления ВДС и технических средств (устройств) для ее реализации в системе питания дизельного двигателя;

в определении эксплуатационных и экологических показателей ДВС в зависимости от состава и дисперсности ВДС без добавления эмульгаторов.

Экспериментальные исследования по определению рациональной конструкции аппаратов, позволяющих получать ВДС необходимого состава и дисперсности, пригодную для использования в дизельном двигателе при различных режимах их работы, проводились на разработанной экспериментальной установке (рисунок 2). Исследовались семь аппаратов динамического принципа действия с изменением следующих параметров: содержание водного компонента в ВДС от 5 до 20% по отношению к объёму топлива; давления на входе в аппарат за счет переключения насосов 3 и 17; числа оборотов ротора РПА.

Стендовые испытания по определению эксплуатационных (удельный расход топлива) и экологических (содержание сажи) показателей дизельного двигателя в зависимости от состава и дисперсности ВДС (с водной фазой без применения эмульгатора) производились согласно ГОСТ 14846–81, с использованием стенда КИ-5540 и дизельного двигателя ЯМЗ-236НЕ с установленными разработанными техническими средствами (рисунок 3).

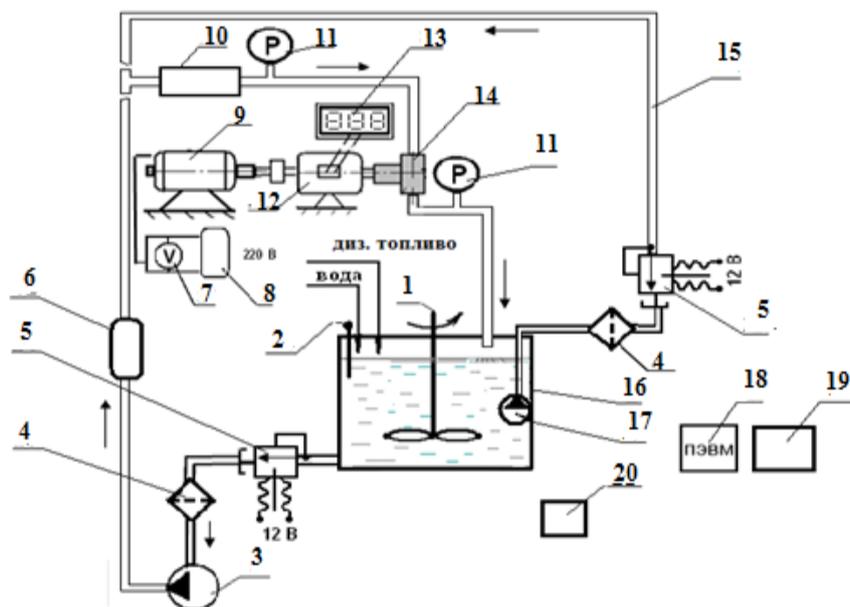


Рисунок 2 – Принципиальная схема экспериментальной установки:

- 1 – лопастная мешалка; 2 – термометр; 3 – насос механический; 4 – фильтрующие элементы; 5 – клапаны; 6 – дозатор-смеситель; 7 – вольтметр «В7-47»; 8 – преобразователь напряжения; 9 – электродвигатель; 10 – нагревательный элемент; 11 – манометр; 12 – механизм считывания оборотов; 13 – регистратор «ТЭСА-5»; 14 – исследуемый аппарат; 15 – соединительные трубопроводы; 16 – ёмкость для ВДС; 17 – электрический насос; 18 – ПЭВМ; 19 – цифровой микроскоп; 20 – секундомер

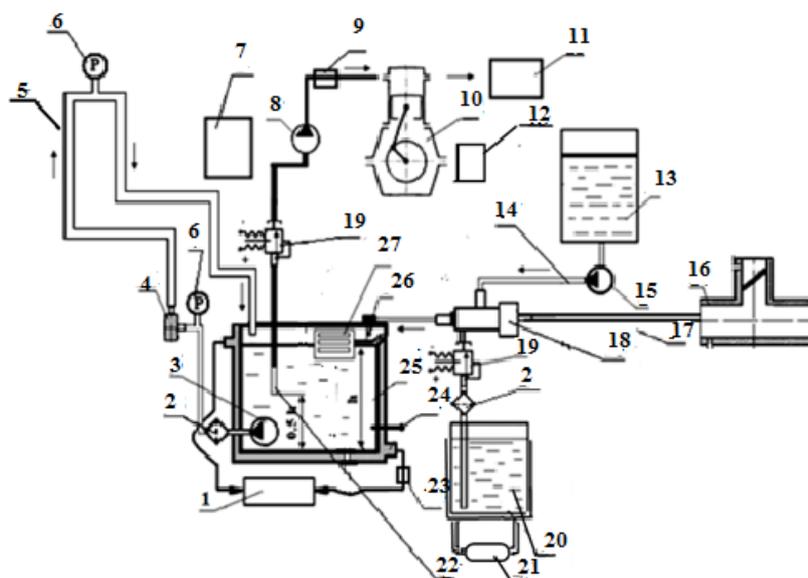


Рисунок 3 – Принципиальная схема установки технических средств для приготовления ВДС и ее параллельной подачи в систему питания двигателя ЯМЗ-236НЕ:

- 1 – система охлаждения ДВС; 2 – фильтрующий элемент; 3 – электрический насос; 4 – РПА; 5 – трубопроводы; 6 – манометр; 7 – микроскоп; 8 – топливоподкачивающий насос; 9 – расходомер; 10 – ДВС; 11 – газоанализатор; 12 – топливный фильтр; 13 – ёмкость для топлива; 14 – соединительные трубопроводы; 15 – насос; 16 – впускной коллектор ДВС; 17 – вакуумная трубка; 18 – дозатор-смеситель; 19 – электромагнитные клапаны; 20 – ёмкость с водой; 21 – система выпуска; 22 – трубка забора ВДС с глубины 0,5h; 23 – кран подачи жидкости; 24 – термометр; 25 – смесительная ёмкость для ВДС; 26 – запорная игла; 27 – поплавок

На данном этапе исследовались эксплуатационные и экологические показатели дизельного двигателя в зависимости от состава и дисперсности ВДС. В ходе проведения экспериментальных исследований определялось влияние состава и качества ВДС на основные показатели дизельного двигателя путем изменения технологических режимов приготовления ВДС и факторов, определяющих ее рецептуру: содержание воды в топливе C_v , %; средний диаметр капель воды в ВДС d_k , мкм; угол опережения впрыска топлива $\theta_{в.т.}$, град. п.к.в.

Также определялись следующие выходные параметры: удельный расход топлива g_e , г/кВт ч; N – диапазон измерения дымности в единицах коэффициента ослабления, %; K – диапазон измерения дымности в единицах коэффициента поглощения, m^{-1} .

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований, разработка технологии приготовления ВДС и технических средств (устройств) для ее реализации в системе питания дизельного двигателя» получены результаты проведенного экспериментального исследования.

На данном этапе исследования проводились испытания динамических аппаратов и определялся их рациональный вариант для реализации технологии приготовления ВДС с использованием технических средств (устройств) при эксплуатации дизельного двигателя. Режимы работы испытуемых аппаратов определялись на экспериментальной установке. В результате проведенных исследований был выбран РПА, показавший наилучшие результаты по приготовлению ВДС со средними размерами капель водной фазы 2 мкм (таблица 2).

Таблица 2 – Режим работы аппарата для получения высокодисперсной ВДС

Средний диаметр капли водной фазы в ВДС, d_k мкм	Режим работы РПА		
	$n_{РПА}$, мин ⁻¹	P , МПа	Время приготовления, с
2	700	0,28	40

При проведении исследований содержание водной фазы в ВДС изменялось от 5 до 20% по отношению к объёму топлива, давление на входе в РПА – от 0,04 до 0,28 МПа, частота вращения ротора РПА – от 100 до 1200 мин⁻¹, время обработки – от 20 до 80 секунд.

На следующем этапе исследования были получены уравнения регрессии второго порядка, которые определяют зависимости между входными и выходными факторами процесса влияния состава и дисперсности ВДС на эксплуатационные показатели ДВС:

$$Y_{ge} = 6,99 - 0,15 x_1 + 0,8 x_2 + 0,39 x_3 - 0,02 x_1 x_2 - 0,08 x_1 x_3 + 0,02 x_2 x_3 + 0,07 x_1^2 + 0,03 x_2^2 + 0,02 x_3^2; \quad (10)$$

$$Y_K = 3,4 - 0,23 x_1 + 0,12 x_2 - 0,11 x_3 - 0,06 x_1 x_2 - 0,44 x_1 x_3 - 0,03 x_2 x_3 - 0,01 x_1^2 + 0,04 x_2^2 + 0,01 x_3^2; \quad (11)$$

$$Y_N = 69,02 - 8,16 x_1 + 2,21 x_2 - 2,1 x_3 - 0,35 x_1 x_2 - 0,98 x_1 x_3 + 1,46 x_2 x_3 - 0,89 x_1^2 + 1,05 x_2^2 + 0,93 x_3^2. \quad (12)$$

Для АТТ актуальным показателем эффективности функционирования при выполнении различных видов работ является расход топлива. Поэтому на основании анализа уравнений регрессии определены рациональный состав и дисперсность ВДС, графическая зависимость которых представлена на рисунке 4.

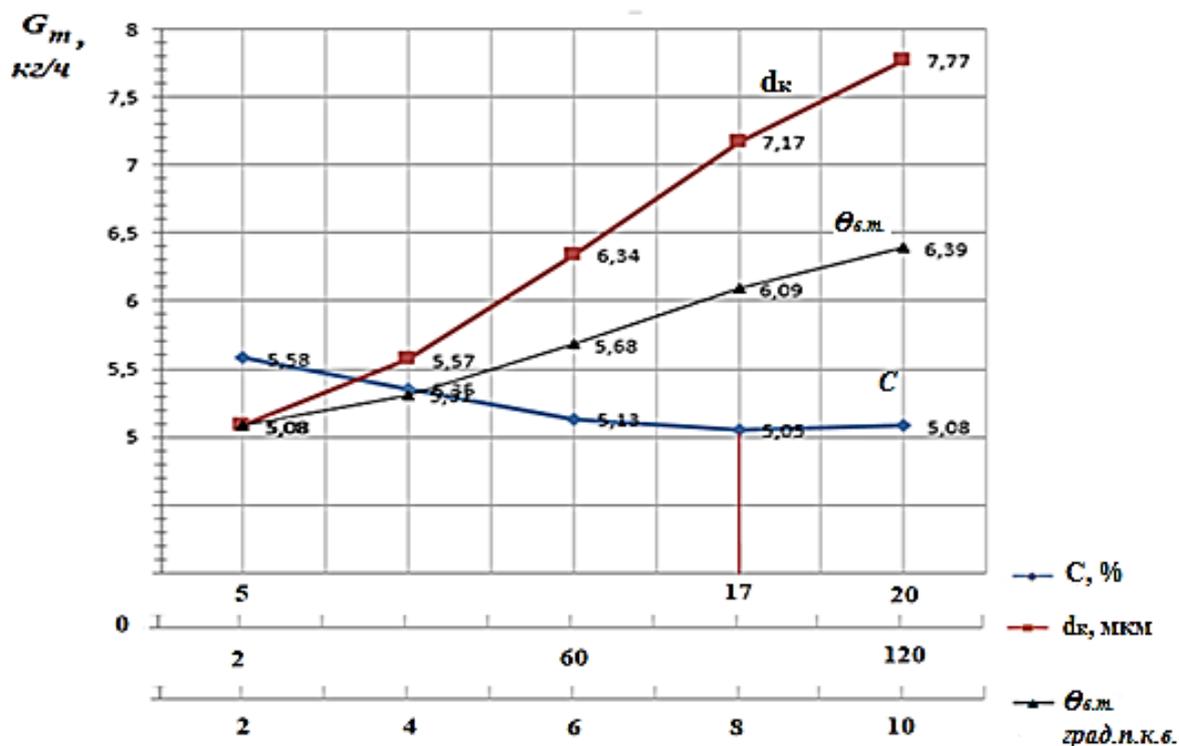


Рисунок 4 – Зависимости часового расхода топлива (G_m) от содержания водной фазы в дизельном топливе (C_e), диаметра капель водной фазы (d_k), угла опережения впрыска топлива ($\theta_{e.m.}$, град.п.к.в.)

Анализ графических зависимостей показывает, что добавка к топливу 17% водной фазы со средним диаметром капель 2 мкм и последующей подачей этой ВДС в штатную систему питания дизельного двигателя при установленном угле опережения впрыска топлива $\theta_{e.m.} = 8$ град. п.к.в., обеспечивает снижение удельного расхода топлива до 18%.

Для проверки работоспособности предложенных технических средств (устройств) были проведены испытания на нагрузочном стенде КИ-5540 с целью снятия показателей дизельного двигателя ЯМЗ-236НЕ. По полученным экспериментальным данным была построена внешняя скоростная характеристика дизельного двигателя ЯМЗ-236НЕ при работе на ДТ и ВДС представленная на рисунке 5.

Экспериментальные исследования позволили определить режим эксплуатации дизельного двигателя с использованием технических средств (устройств) для подачи ВДС в систему питания, обеспечивающих минимальный показатель удельного расхода топлива при следующих параметрах: $C_e = 17\%$; $d_k = 2$ мкм; $\theta_{e.m.} = 8^\circ$, при этом эффективная мощность (N_e) и крутящий момент ($M_{кр}$) существенно не снижаются (до 2 – 4%), а удельный расход топлива (g_e) уменьшается до 18%.

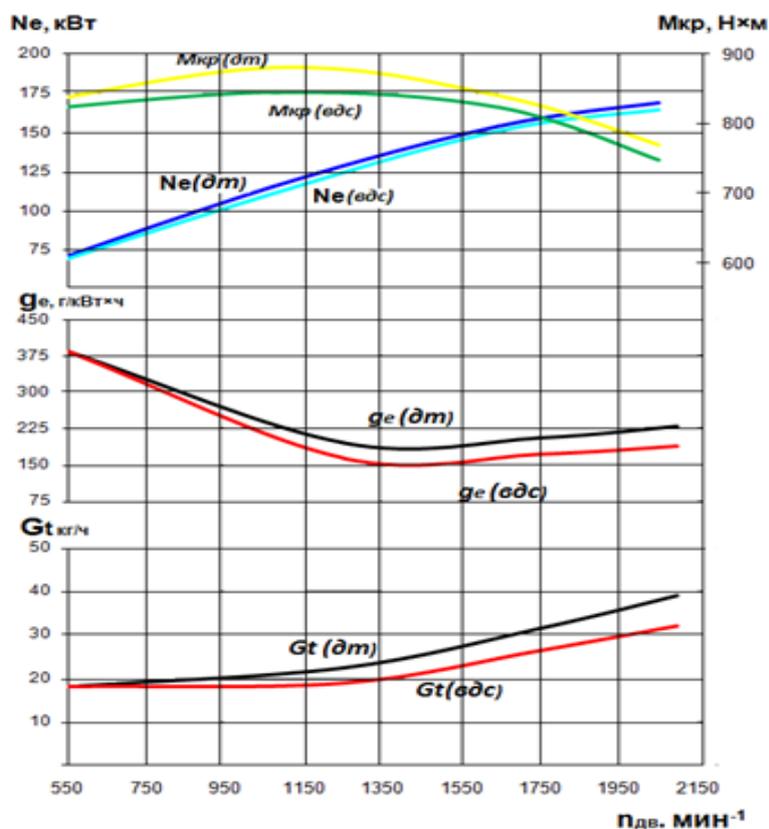


Рисунок 5 – Внешняя скоростная характеристика дизельного двигателя ЯМЗ-236НЕ при работе на ДТ и ВДС

Экспериментально установлено, что технология получения ВДС должна состоять из 2 этапов.

1. Приготовление ВДС «грубой» дисперсности со средним диаметром капель воды не более 50 мкм с применением дозатора-смесителя, который также позволяет автоматически регулировать состав ВДС в заданной пропорции (5 – 20% воды) в зависимости от режима работы двигателя (рисунок 6).

2. Приготовление ВДС «тонкой» дисперсности со средним диаметром капель воды не более 2 мкм с использованием РПА (рисунок 7).

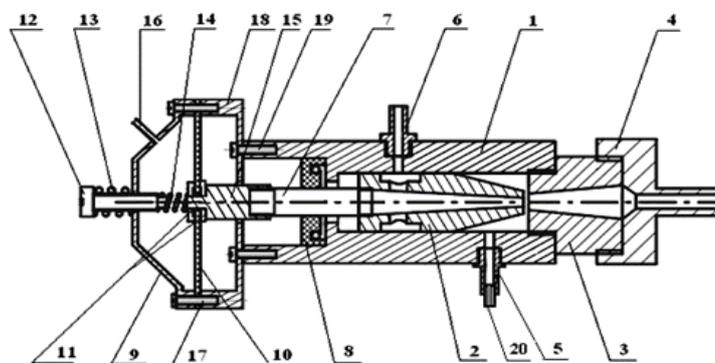


Рисунок 6 – Схема дозатора-смесителя:

- 1 – корпус; 2 – активное сопло; 3 – диффузор; 4 – крышка диффузора, представляющая собой выходной штуцер; 5 – штуцер для подвода воды; 6 – штуцер для подвода топлива; 7 – шпилька; 8 – сальник; 9 – крышка вакуумной камеры; 10 – мембрана; 11 – дисковые шайбы; 12 – регулировочный винт; 13 – стопорная пружина; 14 – пружина; 15 – втулка переходная; 16 – штуцер; 17 и 19 – винты; 18 – стакан вакуумной камеры; 20 – жиклёр

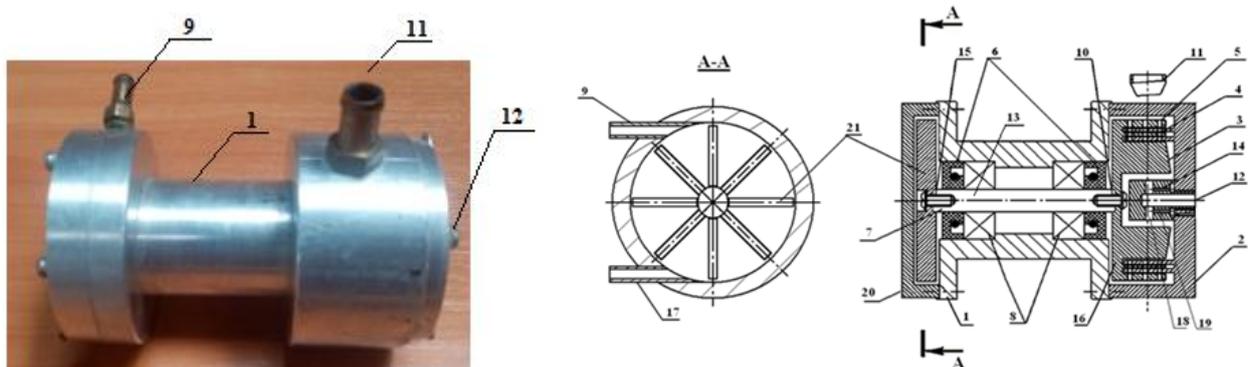


Рисунок 7 – Роторно-пульсационный аппарат для приготовления ВДС:

- 1 – корпус; 2 – статор; 3 – входные лопатки; 4 – ряд зубчатых элементов;
 5 – зубчатые элементы; 6 – сальник; 7 – приводной вал ротора; 8 – подшипники;
 9 – входной патрубок; 10, 15, – винты; 11 – выпускной патрубок; 12 – входной штуцер;
 13 – отверстие для подачи воды; 14 – дозатор-кавитатор; 16 – ротор; 17 – выходной патрубок;
 18 – трубки; 19 – канал подачи воды; 20 – кольцевая проточка; 21 – лопастная крыльчатка

На втором этапе роторно-пульсационный аппарат циклично перемешивает ВДС «грубой» дисперсности, улучшая показатели приготавливаемой смеси с получением среднего диаметра капель дробления водной фазы (d_k) не более 2 мкм (рисунок 8).

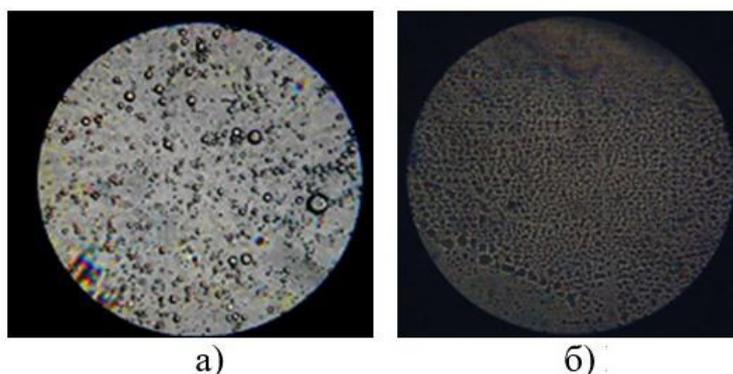


Рисунок 8 – Внешний вид водной фазы и ВДС под микроскопом:
 а) обработка ВДС на 1 этапе дозатором-смесителем;
 б) обработка ВДС на 2 этапе роторно-пульсационным аппаратом

Полученные во второй главе результаты теоретического расчета среднего диаметра капель составляют 2,18 мкм, а полученные на экспериментальной установке при обработке в РПА – 2 мкм, что адекватно описывает полученную математическую модель исследования течения ВДС через рабочие органы РПА с погрешностью не превышающей 8,26%.

Размещение технических средств (устройств) для приготовления ВДС и дальнейшей ее подачи в систему питания ДВС в моторном отсеке АТТ представлены на рисунке 9.

Все разработанные устройства устанавливаются параллельно штатной топливной системы ДВС, между топливным баком и топливным насосом в любом свободном месте на АТТ и соединяются между собой гибкими топливными шлангами.

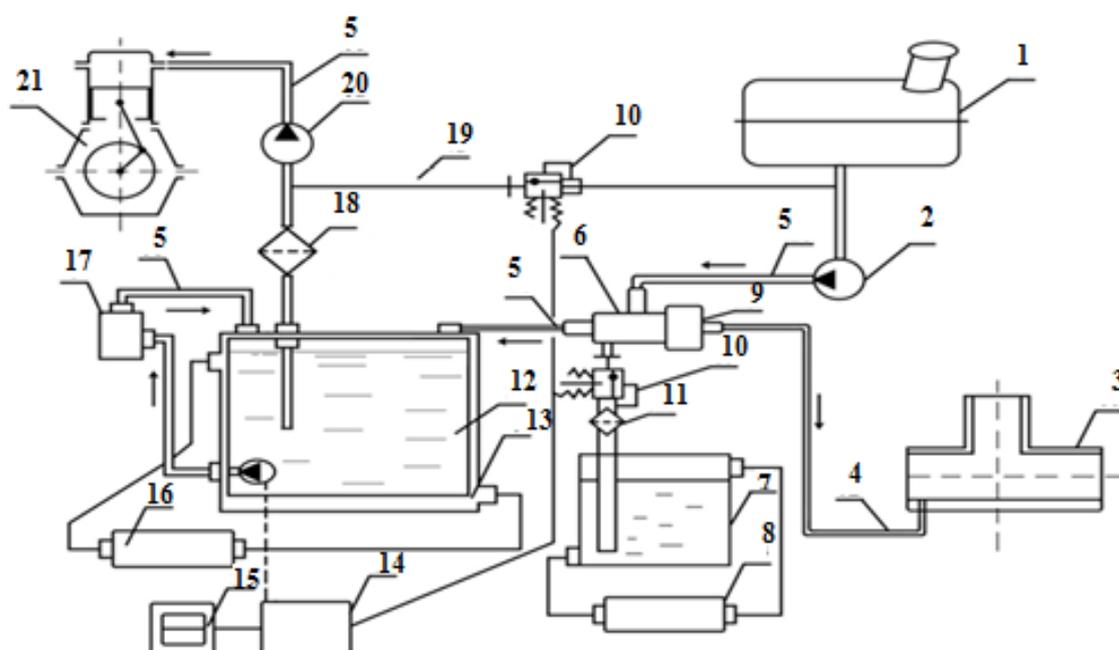
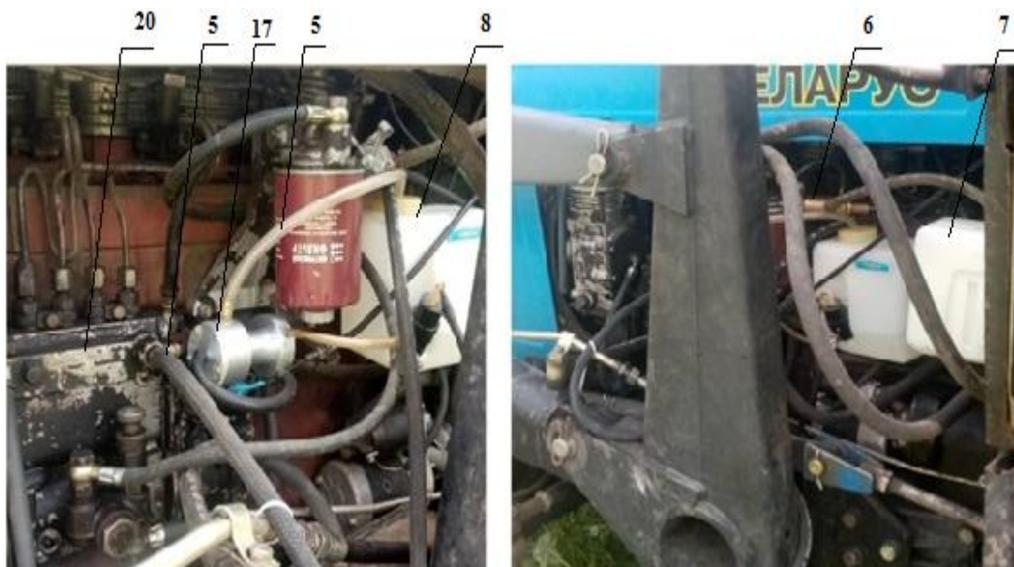


Рисунок 9 – Принципиальная схема установки разработанных устройств:

- 1 – топливный бак; 2 – дополнительный насос; 3 – впускной коллектор; 4 – вакуумная трубка;
 5 – топливный шланг; 6 – дозатор-смеситель; 7 – бак для жидкости; 8 – система выпуска ДВС;
 9 – вакуумная камера; 10 – жидкостной клапан; 11 – фильтр; 12 – смесительная ёмкость;
 13 – фильтр; 14 – блок управления; 15 – тумблер питания; 16 – система охлаждения двигателя;
 17 – РПА; 18 – фильтр; 19 – топливная трубка; 20 – топливный насос;
 21 – система питания двигателя

В пятой главе «Технико-экономическая оценка результатов исследований, рекомендации по практическому применению разработанных устройств» были разработаны рекомендации по практическому применению технических средств (устройств) для приготовления и подачи ВДС в систему питания дизельного двигателя с добавлением водного компонента без применения эмульгаторов. Технические средства (устройства) должны монтироваться в моторном отсеке АТТ (в любом свободном месте), перед монтажом в системе питания двигателя следует произвести регулировку штатной топливной аппаратуры, за-

тем отрегулировать автоматический дозатор-смеситель компонентов ВДС до необходимого содержания водного компонента до 17%. Запуск и прогрев дизельного двигателя следует осуществлять на обычном дизельном топливе. За 2...3 минуты до завершения работы дизеля необходимо осуществить перевод на подачу в систему питания обычного дизельного топлива для выработки ВДС оставшейся в системе питания.

Экономический эффект от внедрения разработанных устройств в сельскохозяйственное предприятие «Виктория» Эртильского района Воронежской области за 2020 год составил 443821 рубля с учетом стоимости комплектующих системы, затрат на её сборку и подключение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного диссертационного исследования решена научная задача по совершенствованию технологии приготовления ВДС и технических средств (устройств) для ее реализации в системе питания ДВС АТТ и получены следующие результаты:

1. На основании проведенного анализа определено, что наиболее перспективным является способ воздействия на рабочий процесс двигателя путем замены дизельного топлива на ВДС, позволяющий снизить удельный расход топлива и улучшить экологические показатели по выбросу сажи в окружающую среду при эксплуатации автотракторной техники. Приготавливать ВДС с добавлением водного компонента целесообразно перед подачей ее в камеру сгорания, что позволит отказаться от использования дорогостоящих эмульгаторов.

2. Разработана математическая модель исследования течения ВДС через рабочие органы РПА и процесса дробления капель воды в данном устройстве, определен средний теоретический диаметр капель воды в дизельной смеси, составляющий 2,18 мкм.

3. На основании предложенной методики по обоснованию рационального состава ВДС комплексно определены эксплуатационные (удельный расход топлива – g_e) и экологические (содержание сажи в ОГ) показатели дизельного двигателя в зависимости от исследуемых величин: процентного содержания воды в топливе – $C_в$; среднего диаметра капель воды в дизельной смеси – d_k ; угла опережения впрыска топлива – $\theta_{в.т.}$.

4. Разработана экспериментальная установка, состоящая из двух блоков и предназначенная для исследования процесса приготовления ВДС на аппаратах динамического принципа действия. Экспериментально установлено, что: процесс приготовления ВДС необходимо осуществлять в два этапа (на первом – приготавливается ВДС «грубой» дисперсности с применением дозатора-смесителя, на втором – получение ВДС «тонкой» дисперсности путем обработки в РПА. Давление на входе в РПА должно быть не ниже 0,28 МПа, частота вращения ротора РПА должна составлять 700 мин⁻¹, что обеспечивает получение стабильной и высокодисперсной ВДС требуемого качества со средним диаметром капель 2 мкм.

5. Разработана экспериментальная установка, представляющая собой стенд КИ-5540 с дизельным двигателем ЯМЗ-236НЕ, работающая в двух режимах, предназначенная для определения эксплуатационных и экологических показателей дизеля в зависимости от состава и дисперсности ВДС. При проведении исследований экспериментально установлено, что: соотношение водного компонента должно составлять 17% по отношению к объему топлива, так как при таком соотношении компонентов основные характеристики двигателя существенно не изменяются; водно-дизельная смесь, содержащая до 17% воды способна без значительных энергетических затрат перемещаться в топливопроводах системы питания ДВС; нагрев ВДС следует осуществлять до температуры 50 – 60 °С от системы охлаждения двигателя путем установки всех элементов системы в любом свободном пространстве моторного отсека АТТ; режимы работы системы питания двигателя на ВДС, обеспечивают улучшение эксплуатационных и экологических показателей (снижения удельного расхода топлива двигателя до 18%, содержания сажи в ОГ ДВС по значению K на 20 – 22%, по значению N на 30 – 35% без существенного снижения эффективной мощности (до 2 – 4%) по сравнению с работой ДВС на обычном дизельном топливе.

6. Предложены технология приготовления ВДС и технические средства (устройства) для ее реализации в системе питания ДВС, обеспечивающие автоматизацию процесса подачи воды в топливо в зависимости от режима работы двигателя на основе двухэтапного процесса перемешивания водного компонента и топлива, что позволяет получать ВДС разного состава и дисперсности с последующей подачей её в штатную систему питания ДВС без существенного изменения его мощностных характеристик и конструкции.

7. Разработаны рекомендации по практическому применению технологии приготовления ВДС без использования эмульгатора и технических средств (устройств) для ее реализации в системе питания дизельного двигателя АТТ, позволяющие снизить расход топлива и содержание вредных веществ в ОГ ДВС при эксплуатации автотракторной техники при проведении всех видов работ.

Рекомендации производству

Разработанная технология приготовления ВДС, реализуемая с помощью технических средств (устройств), рекомендуется к использованию в системе питания дизельного ДВС автотракторной техники как при ежедневной эксплуатации, так и при проведении различных видов работ.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Совершенствование технологии приготовления топливных смесей путем разработки элементов электронного управления техническими средствами (устройствами), позволяющими приготавливать гомонизированные топливные смеси и подавать их в систему питания ДВС в зависимости от условий его эксплуатации.

Содержание диссертации отражено в 19 работах.

Публикации из перечня изданий, индексируемых в международных системах цитирования библиографических базах Scopus.

1. Борисов, С.В. Способ очистки поршнево-цилиндровой части двигателя внутреннего сгорания сельскохозяйственных машин / Аль Махли, Ю.В. Родионов, Д.В. Никитин, А.Е. Ломовских, Д.Ю. Муромцев // Журнал «Test Engineering» ISSN 0193|4120 Page No 3112-3120А.А.Х. 14 с.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК:

2. Борисов, С.В. Струйно-кавитационный эжектор для модернизации системы питания двигателей внутреннего сгорания / А.А. Томилов, А.А. Свиридов, А.Е. Ломовских, В.И. Вигдорович // Журнал «Наукоемкие технологии». – 2017. – № 8. – С. 34-39.

3. Борисов, С.В. Способ и устройство для восстановления плунжерной пары топливного насоса высокого давления / А.С. Канищев, А.Е. Ломовских, А.К. Агафонов, А.С. Рябчук // Журнал «Наука в центральной России». – 2020. – № 6. – С. 51-60.

4. Борисов, С.В. Методика проведения экспериментальных исследований по влиянию состава и качества водно-дизельной смеси на эксплуатационные показатели дизельного двигателя / А.С. Канищев, А.А. Томилов, С.Н. Сазонов, А.Е. Ломовских, А.С. Рябчук // Журнал «Наука в центральной России». – 2020. – № 6. – С. 70-80.

5. Борисов, С.В. Экспериментальные исследования по определению показателей впрыска водно-дизельной смеси / А.С. Канищев, С.Н. Сазонов, Ю.В. Родионов, А.Е. Ломовских // Журнал «Наука в центральной России». – 2021. – № 2. – С. 61-71.

6. Борисов, С.В. Исследование влияния водно-топливной эмульсии на эксплуатационные показатели дизельного двигателя / А.Е. Ломовских, А.В. Дунаев, О.Е. Прилепин, Т.Р. Маматказин // Журнал «Технический сервис машин». – 2021. – № 2 (143). – С. 54-62.

Патенты и заявки на изобретения:

7. Патент на изобретение № 2469199 от 10.12.2012 г. Российская Федерация МПК F02 М 25/00 Устройство для обработки углеводородного топлива. Борисов С.В., Иванов В.П., Ломовских А.Е., Капустин Д.Е., Сысоев И.П. // Заявка № 2011132517; заявл. 02.08.2011. 14 с.

8. Патент на изобретение № 2498094 от 10.11.2013 г. Российская Федерация МПК F02 М 25/00. Способ обработки углеводородного топлива для двигателей внутреннего сгорания. Борисов С.В., Иванов В.П., Ломовских А.Е., Капустин Д.Е., Сысоев И.П. // Заявка № 2011133257; заявл. 08.08.2011г. 14 с.

Свидетельства о регистрации программы для ЭВМ

9. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2021614518 от 25.03.2021 г. Российская Федерация. Программная реализация алгоритма расчета зависимостей часового расхода топлива от содержания водной фазы в топли-

ве, диаметра капель водной фазы, угла опережения впрыска топлива для дизельного двигателя / Борисов С.В., Ломовских А.Е. // Заявка №2021613378/69 от 15.03.2021г. 4 с.

Публикации в сборниках научных трудов и материалах конференций:

10. Борисов, С.В. Математическое моделирование течения водно-дизельной смеси через рабочие органы роторно-пульсационного аппарата и определение диаметра капель воды в смеси / А.Е. Ломовских, Л.В. Великанова, Л.Н. Фоменко, А.А. Шаповалов // Деп. 46 ЦНИИ МО РФ 16.01.14 г. Инв. № В 7530 СРДР, серия Б, вып. № 106. – М.: ЦВНИ МО РФ, 2014. – 13 с.

11. Борисов, С.В. Динамический аппарат для обработки моторного топлива / А.А. Волокитин, С.И. Князев, О.В. Рачинский, А.Е. Ломовских // Сборник материалов Международной НПК «Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в различных режимах движения». Ч. I. 6 апреля 2017 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 275-282.

12. Борисов, С.В. Альтернативные двигатели внутреннего сгорания / В.П. Иванов, А.А. Свиридов, А.Е. Ломовских, Е.А. Галныкин // Сборник материалов Международной НПК «Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в различных режимах движения». Ч. I. 6 апреля 2017 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 322-329.

13. Борисов, С.В. Многотопливная система питания дизельного двигателя внутреннего сгорания / С.И. Князев, Д.В. Афонин, А.А. Шаповалов, А.Е. Ломовских // Сборник материалов Международной НПК «Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в различных режимах движения». Ч. I. 6 апреля 2017 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 348-353.

14. Борисов, С.В. Смеситель-активатор моторного топлива / Д.А. Стародубцев, А.Е. Ломовских, В.И. Черноиванов // Материалы Международной НПК «Роль аграрной науки в развитии АПК РФ». 1–2 ноября 2017 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 41-47.

15. Борисов, С.В. Эффективный активатор моторного топлива для сельскохозяйственной техники / А.Е. Ломовских, Д.В. Афонин, В.И. Черноиванов, А.А. Шаповалов // Материалы Международной НПК «Проблемы развития технологий создания, сервисного обслуживания и использования технических средств в агропромышленном комплексе» 15-16 ноября 2017. Ч 1. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 91-96.

16. Борисов, С.В. Способ безразборной очистки поверхностей деталей цилиндрико-поршневой группы от нагара / А.А. Волокитин, Ю.В. Гусев, А.Е. Ломовских, Д.А. Стародубцев // Материалы Международной НПК «Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения». 26-27 ноября 2018 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С. 128-135.

17. Борисов, С.В. Устройство регулирования мощности электродвигателя на экспериментальной установке для приготовления водно-топливной эмульсии /

Ю.В. Родионов, С.И. Данилин, А.Е. Ломовских, В.И. Оробинский // Материалы международной НТК «Проблемы совершенствования машин, оборудования и технологий в агропромышленном комплексе» 23-24 октября. 2019 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 237-241.

18. Борисов, С.В. Способ модернизации системы питания двигателей автомобильной техники / В.И. Черноиванов, А.Н. Жулин, А.Д. Солод, Ю.В. Гусев // Новые технологии и технические средства для эффективного развития АПК: материалы национальной научно-практической конференции, 26 февраля 2019 г. Часть II. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С. 187-193.

19. Борисов, С.В. Способ и устройство для улучшения экономических и экологических характеристик дизельных двигателей / А.С. Канищев, А.Е. Ломовских, И.А. Скопин // Сборник материалов Международной НПК «Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути решения». 24 ноября 2020 г. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. – С. 82-85.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре
ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ
Подписано в печать 07.09.2021. Формат 60x84/16,
Бумага офсетная № 1. Усл.печ.л. 1,2. Тираж 100 экз. Ризограф
Заказ № 20640

Издательско-полиграфический центр
ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ
393760, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101
тел. +7 (47545) 3-88-34, доб. 211

