

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МИЧУРИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель: кандидат
технических наук, доцент
Ломовских Александр Егорович

Мичуринск-Наукоград РФ, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	16
1.1. Способы и технические средства для приготовления дизельных смесей, улучшающие эксплуатационные характеристики автотракторной техники.....	16
1.2. Теоретические основы приготовления топливных смесей и их влияние на протекание рабочего процесса в двигателе.....	21
1.3. Обоснование рациональных устройств для получения топливных смесей и их основные характеристики	25
1.3.1. Обоснование оптимальной конструкции и размеров аппаратов.....	25
1.3.2. Анализ конструкций роторно-пульсационных аппаратов для приготовления водно-дизельных смесей.....	26
1.3.3. Анализ устройств, подающих воду в камеру сгорания непосредственно перед воспламенением топлива.....	31
2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВОДНО-ДИЗЕЛЬНОЙ СМЕСИ И ВЛИЯНИЕ ЕЕ СОСТАВА И КАЧЕСТВА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ.....	37
2.1. Математическое моделирование течения водно-дизельной смеси через рабочие органы роторно-пульсационного аппарата и теоретическое определение среднего диаметра капель воды в водно-дизельной смеси.....	37
2.2. Методика по обоснованию рационального состава водно-дизельной смеси для дизельного двигателя внутреннего сгорания.....	56
2.2.1. Влияние состава и дисперсности водно-дизельной смеси на эксплуатационные и экологические показатели двигателя	56
2.3. Разработка алгоритмов описания физических процессов приготовления водно-дизельной смеси.....	63

3.	МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	69
3.1.	Разработка экспериментальной установки для исследования малообъёмных аппаратов динамического принципа действия.....	69
3.2.	Разработка экспериментальной установки по определению эксплуатационных и экологических показателей двигателя в зависимости от состава и дисперсности водно-дизельной смеси	75
4.	РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВОДНО-ДИЗЕЛЬНОЙ СМЕСИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ (УСТРОЙСТВ) ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	81
4.1.	Экспериментальные исследования процесса получения водно-дизельной смеси на аппаратах динамического принципа действия.....	81
4.2.	Экспериментальные исследования эксплуатационных и экологических показателей двигателя при работе на водно-дизельной смеси.....	89
4.3.	Разработка технических средств (устройств) для реализации технологии приготовления водно-дизельной смеси и ее подачи в систему питания дизельного двигателя	100
4.4.	Экспериментальные исследования по определению количественных показателей впрыска дизельного топлива и водно-дизельной смеси через отверстия в распылителе форсунки.....	106
4.5.	Результаты проведенных исследований технических средств (устройств) для реализации технологии приготовления водно-дизельной смеси и ее подачи в систему питания дизельного двигателя при осуществлении транспортировки сельскохозяйственной продукции в период проведения посевной и уборочной деятельности	110

5.	ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ, РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ РАЗРАБОТАННЫХ УСТРОЙСТВ	117
5.1.	Оценка экономической эффективности от внедрения разработанных устройств.....	117
5.2.	Рекомендации по практическому применению разработанных устройств	128
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	132
	Список использованной литературы.....	135
	Приложения	148

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Изучение современного состояния агропромышленного комплекса (АПК) России позволило выявить ряд энергетических проблем в машинотракторных парках, связанных с дефицитом приобретения новой автотракторной техники (АТТ).

Согласно данным Департамента растениеводства, механизации и химизации сельского хозяйства в России коэффициент обеспеченности тракторами на 1000 гектаров пашни составляет 2-3 единицы, что является самым низким показателем по сравнению со многими другими странами (Германия-65, Канада-16, Белоруссия-9,6, Казахстан-6,4). Поэтому нагрузка на основные виды техники в сельскохозяйственном секторе России значительно выше, чем в других странах.

Такое положение в АПК сложилось в результате воздействия следующих факторов:

- ежегодное сокращение производственно-технического потенциала в машинотракторных парках;
- значительное уменьшение поступления денежных средств, необходимых для проведения закупок новой автотракторной техники.

В настоящее время обеспечение основными видами машинно-тракторных агрегатов в сельском хозяйстве составляет около 60% от всего количества, которое необходимо для полноценного функционирования автотракторных парков. Коэффициент выбытия сельскохозяйственной техники в структуре автотракторных парков за последние 5 лет в 3 – 5 раз превышает коэффициент обновления.

Такое положение объясняется тем, что современные образцы новой автотракторной техники могут приобрести только крупные аграрные предприятия и холдинги, имеющие большие финансовые возможности. Средний возраст эксплуатируемой АТТ в таких корпорациях составляет 3 – 7 лет. Сельхозпредприятия среднего звена предпочитают приобретать технику не новую, а на вторичном рынке и продолжают ее эксплуатировать длительное время, проводя при этом большое количество технических работ для поддержания

ее в работоспособном состоянии. Средний возраст техники в таких сельхозпредприятиях составляет 7 – 15 лет. Мелкие крестьянско-фермерские хозяйства, ввиду отсутствия больших оборотных средств, эксплуатируют физически устаревшую АТТ в возрасте 15 – 30 лет.

Следовательно, наряду с внедрением новых образцов автотракторной техники (АТТ), важное значение имеет усовершенствование эксплуатируемых двигателей существующей техники.

По данным Департамента растениеводства, механизации и химизации сельского хозяйства, представленных на рисунке 1.1, в целом по АПК около 70% АТТ имеют срок эксплуатации свыше десяти лет. Таким образом, в настоящее время в АПК эксплуатируется в основном физически устаревшая АТТ.

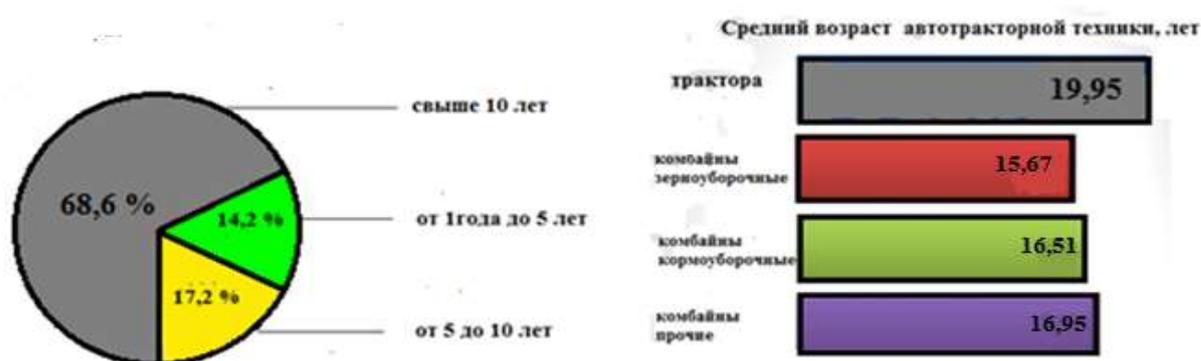


Рисунок 1.1 – Возрастной состав техники в АПК

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. Кроме того, в период с 2014 по 2018 гг. участились отказы в работе автотракторной техники, большая часть которых происходит из-за выхода из строя силовых установок и некачественного топлива. Основные виды отказов АТТ представлены на рисунке 1.2.



Рисунок 1.2 – Статистика отказов в работе тракторов в условиях реальной эксплуатации

В таблице 1.1 представлен обзор выхода из строя основных узлов и агрегатов трактора К-744 разных модификаций (по данным Департамента растениеводства, механизации и химизации сельского хозяйства). Из таблицы видно, что отказы в работе тракторов при ежедневной эксплуатации происходят в основном из за выхода из строя силовых установок и узлов системы питания.

Таблица 1.1 – Обзор выхода из строя основных узлов трактора К-744

Наименование АТТ	Причины отказа АТТ
Трактор К-744 (разные модификации)	- выход из строя цилиндропоршневой группы
	- выход из строя распылителей форсунок
	- выход из строя редуктора переднего ведущего моста
	- выход из строя гидроцилиндра навески
	- выход из строя КПП

Также ежегодно возрастает процент некондиционных проб углеводородного топлива, представленных на рисунке 1.3, а от качества топлива напрямую зависит долговечность работы двигателя и узлов системы питания автотракторной техники.

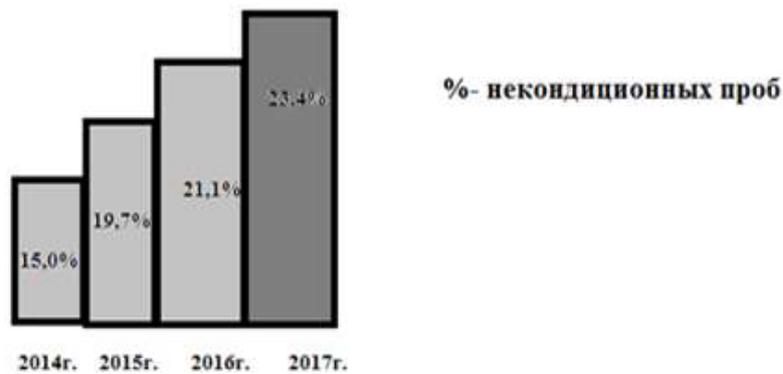


Рисунок 1.3 – Динамика изменения качества топлива

В современных условиях нарастают проблемы экологической безопасности в сельском хозяйстве, связанные с увеличением процессов загрязнения природных ресурсов при использовании АТТ в сельскохозяйственном производстве. В результате происходит снижение плодородия почв, ухудшение атмосферы, снижается качество воды. Кроме того, наносится большой урон животноводству и растениеводству. Постоянное воздействие вышеперечисленных факторов приводит к значительному уменьшению объемов сельскохозяйственного производства, а также к ухудшению качества производимых товаров. На сегодняшний день одними из значимых и глобальных тем являются экологические проблемы. Разработанные государственные программы «Охрана окружающей среды» и «Воспроизводство природных ресурсов» выделяют одними из самых важных и актуальных следующие:

- снижение потребления невозобновляемых энергоресурсов;
- уменьшение выбросов вредных веществ с отработавшими газами двигателей внутреннего сгорания, значительно влияющие на загрязнение окружающей среды.

Перечисленные выше проблемы возможно решить:

- путем совершенствования рабочего процесса двигателя;
- за счёт нейтрализации вредных веществ, находящихся в отработавших газах;
- с применением альтернативных топлив.

Данной проблематикой занимались ученые Корабельников С.К., Воробьев Ю.В., Ломовских А.Е., Панов В.С., Павлов С.С., Хергеледжи М.В., Камфер Г.М., Жолобов Л.А., Алушкин Т.Е., Картошкин А.П., Гвоздев А.М., Кудян А.А., Бирюков А.Л., Баширов Р.М., Сафиуллин Р.Н., Гавкалюк Б.В., Иванов И.А., Акулов Н.И., Никишина Ю.Г., Сторожев И.И., Терлина К.В., Коршунов Д.А., Нагорнов С.А., Болотов А.К. и др.

Проведя анализ работ вышеуказанных авторов, можно сделать вывод, что в интересах улучшения эксплуатационных и экологических характеристик АТТ целесообразно модернизировать систему питания дизельных двигателей для возможности использования альтернативного топлива – дизельных смесей (ДС) с добавлением различных компонентов. Топливные смеси с применением эмульгаторов уже много лет используются во многих странах. А вот использование воды в качестве компонента без применения дорогостоящих эмульгаторов исследовано недостаточно. Поэтому улучшение эксплуатационных характеристик АТТ путем модернизации их системы питания для работы на ДС является актуальной задачей, имеющей существенное значение для повышения эффективности функционирования АТТ с экономической и экологической точек зрения.

Актуальность диссертационных исследований также подтверждается тем, что исследование выполнено автором в соответствии с планом научной работы Военно-воздушной академии им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж) на 2014 год, научно-исследовательской работы (НИР) 2 категории по теме «Способ и устройство оперативного изменения системы питания ДВС для улучшения тактических и эксплуатационных характеристик автомобильной техники» (шифр «Способ») и направленно на решение задач по улучшению эксплуатационных характеристик автомобильной техники.

Целью диссертационной работы является снижение расхода топлива и уменьшение содержания вредных веществ в отработавших газах дизельных двигателей автотракторной техники путем применения технических средств

(устройств), позволяющих приготовить и подать в штатную систему питания водно-дизельную смесь (ВДС).

Научная задача исследования заключается в разработке методики обоснования рационального состава водно-дизельной смеси, позволяющей комплексно определять эксплуатационные и экологические показатели двигателя в зависимости от процентного содержания воды в ВДС и среднего размера ее капель.

Объектом исследований является процесс приготовления и подачи в систему питания дизельного двигателя ВДС.

Предметом исследований являются закономерности приготовления водно-дизельной смеси в роторно-пульсационном аппарате (РПА), пригодной для использования в двигателях внутреннего сгорания (ВДС).

Цель работы достигается решением следующих **задач исследования:**

1. На основе проведенного анализа существующих методов и технических средств, приготавливающих топливные смеси для ДВС, 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 и процесса дробления капель воды в данном устройстве.

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

4. Разработать технологию приготовления ВДС и технические средства (устройства) для ее реализации в системе питания дизельного ДВС и провести экспериментальные исследования по определению удельного расхода топлива и содержанию выбросов сажи.

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

Методы исследований. Поставленная в работе цель достигается использованием теоретических и экспериментальных апробированных методов исследования. С помощью теоретических методов, включающих алгоритмические методы планирования эксперимента и программный продукт 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 ДВС с модернизированной системой питания в условиях стенда, а также при проведении натурных испытаний АТТ. Для регистрации исследуемых параметров ДВС АТТ использовался комплекс стандартной измерительной аппаратуры.

Основные научные результаты, выносимые на защиту:

1. Математическая модель исследования течения ВДС через рабочие органы роторно-пульсационного аппарата (РПА) и процесса дробления капель воды в данном устройстве.

2. Методика по обоснованию рационального состава ВДС для дизельного ДВС, позволяющая комплексно определять эксплуатационные и экологические показатели двигателя при работе на ВДС.

3. Технология непрерывного получения ВДС в системе питания дизельного ДВС, реализуемая с помощью разработанных технических средств (устройств) и позволяющая получать ВДС разного состава и дисперсности в два этапа с последующей подачей её в штатную систему питания ДВС без значительного изменения его конструкции и мощностных характеристик.

4. Обоснованные рекомендации по практическому применению технологии приготовления ВДС и технических средств (устройств) для ее реализации в системе питания дизельного ДВС АТТ, которые обеспечивают снижение расхода топлива и содержания сажи в отработавших газах ДВС на всех режимах его работы.

Достоверность и обоснованность полученных научных результатов обуславливается использованием фундаментальных законов и уравнений гидродинамики, классической теории вероятностей и математической статистики, современных аналитических методов, реализацией математических моделей, проведением достаточного количества экспериментальных исследований, которые подтверждаются сравнительным анализом теоретических результатов, полученных по существующим методикам, с помощью стандартных измерительных средств, с использованием которых установлено, что теоретические результаты отличаются от экспериментальных с погрешностью, не превышающей 10%, что характеризует их хорошую сходимость.

Практическая значимость. Разработаны и практически реализованы способ и устройство для приготовления и использования ВДС в системе питания дизельных ДВС, новизна которых подтверждена полученными соответствующими патентами (№ 2498094 от 10.11.2013 г и № 2469199 от 10.12.2012 г) (приложение 1,2). Применение технологии приготовления ВДС и технических средств (устройств) для ее реализации в системе питания дизельных ДВС обеспечит: повышение топливной экономичности двигателя до 18%; снижение содержания сажи в ОГ ДВС по значению K на 20 – 22%; по значению N на 30 – 35%. Разработан программный продукт для ЭВМ № 2021614518, реализующий алгоритм расчета зависимостей часового расхода топлива от содержания водной фазы в топливе, диаметра капель водной фазы, угла опережения впрыска топлива для дизельного двигателя (приложение 3). Разработаны рекомендации по практическому применению технологии приготовления ВДС и технических средств (устройств) для ее реализации в системе питания дизельных ДВС при

повседневной эксплуатации АТТ, а также при проведении транспортных работ в период посевной и уборочной деятельности.

Реализация работы. Результаты исследований использованы и внедрены в сельскохозяйственное предприятие «Виктория» Эртильского района Воронежской области, ЗАО «Агро-Инвест – Касторное» п. Касторное Курской области, АО «Раненбург – комплекс» г. Чаплыгин Липецкой области, ООО «Трансстроймеханизация» г. Гагарин Смоленской области; в заказной научно-исследовательской работе 2 категории шифр «Способ» от 2014г.; в учебный процесс Мичуринского государственного аграрного университета и Липецкого института повышения квалификации и переподготовки кадров в АПК (г. Липецк), что подтверждено соответствующими актами (приложение 4 – 9).

Научная новизна работы:

1. Математическая модель исследования течения ВДС через рабочие органы РПА и процесса дробления в нем капель воды, учитывающая его конструктивные особенности.

2. Теоретическое обоснование рационального состава ВДС, 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_B ; среднего диаметра капель воды в дизельной смеси – d_k ; угла опережения впрыска топлива $\theta_{в.т.}$

3. Технология приготовления ВДС 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 ВДС разного состава и дисперсности на АТТ и параллельно подавать ее в штатную систему питания дизельного двигателя 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 ВДС 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 ВДС на удельный расход топлива и содержание вредных веществ в ОГ.

Апробация работы. Основные научные и экспериментальные результаты докладывались и обсуждались на следующих конференциях, семинарах и совещаниях: международной научно-практической конференции «Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в различных режимах движения» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, г. Воронеж 6 апреля 2017 г); международной научно-практической конференции «Роль аграрной науки в развитии АПК РФ» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, г. Воронеж 1–2 ноября 2017 г); международной научно-практической конференции «Проблемы развития технологий создания, сервисного обслуживания и использования технических средств в агропромышленном комплексе» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, г. Воронеж 15–16 ноября 2017г); международной научно-практической конференции «Наука и образование на современном этапе развития: опыт, проблемы и пути их решения» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, г. Воронеж 26–27 ноября 2018 г); международной научно-технической конференции «Проблемы совершенствования машин, оборудования и технологий в агропромышленном комплексе» (ФГБОУ ВО ВГАУ, г. Воронеж 23–24 октября 2019г); национальной научно-практической конференции Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, г. Воронеж, 26 февраля 2019 г); международной научно-практической конференции «Наука и образование на современном этапе развития:

опыт, проблемы и пути решения» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, г. Воронеж 24 ноября 2020г).

Технические разработки демонстрировались на X, XI и XII специализированных выставках в г. Москва, где в 2011 году были получены диплом и золотая медаль; XIII, XIV и XV международных салонах промышленной собственности «Архимед» в г. Москва, где в 2012 году были получены диплом, золотая и бронзовая медали (приложение 10 – 12). Разработанные устройства для приготовления ВДС и ее подачи в систему питания двигателя демонстрировались на межвузовском конкурсе инновационных проектов «Кубок инноваций» в 2018 г., где был получен диплом и грант от губернатора Воронежской области (приложение 13).

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. и РФ № 2469199 от 10.12.2012 г. и одним положительным решением на выдачу патента на изобретение.

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.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Способы и технические средства для приготовления дизельных смесей, улучшающие эксплуатационные характеристики автотракторной техники

В процессе повседневной деятельности в АПК используется огромное количество различных видов тракторов и автомобильной техники. Около 75 –85% этой техники имеют дизельные двигатели. На тракторах и автомобилях отечественного производства устанавливаются дизеля следующих марок: Д-240, Д-243, А-41, ЯМЗ-236, ЯМЗ-238НБ, ЯМЗ-240Б, СМД-62, КамАЗ-740 и другие.

Современная тенденция развития автомобильных поршневых ДВС в структуре современного АПК характеризуется увеличением их мощности, снижением расхода топлива и выбросов токсичных веществ с ОГ [1, 2].

Проведенный анализ технических средств для повышения эксплуатационных характеристик АТТ, представленный в работах Корабельникова С.К., Картошкина А.П., Панова В.С., Павлова С.С., Камфера Г.М., Воробьёва Ю.В., Жолобова Л.А., Иванова В.М., Копаева Е.В., Баширова Р.М., Коршунова Д.А., Азева В.С., Бирюкова А.Л., Гвоздева А.М., показывает, что наиболее перспективными являются способы воздействия на рабочий процесс в камере сгорания ДВС [1,4,11,18,30,39,45,118,122].

Обзор вышеуказанных работ позволил сделать вывод, что одним из наиболее эффективных методов, оказывающих положительное влияние на работу двигателя является применение топливных смесей.

Выбор альтернативного топлива для АТТ в современном АПК может осуществляться по следующим направлениям [2]:

1. Полная замена дизельного топлива на водород и другие горючие газы описана в работах [6, 7, 8], но в ближайшие 15 – 20 лет переход на данные виды топлива малоактуален, пока не возникнет дефицит углеводородного топлива.

2. Частичная замена дизельного топлива на спирт (биоэтанол) или эмульгированное с водой топливо – водно-топливную эмульсию (ВТЭ) описана в работах [9 – 12].

Анализ работ [1, 9, 10, 11, 13] показывает, что для АТТ, эксплуатируемой при обработке полей, их уборке, а также транспортировке урожая к местам переработки и хранения, перевод ДВС необходимо осуществить на такие топлива, которые не требуют серьезных изменений в системе питания дизельных двигателей, при этом применение дизельных смесей (ДС) позволит улучшить эксплуатационные и экологические показатели ДВС.

В работах [14 – 17] описывается приготовление и использование альтернативных видов топлива – дизельных смесей (с добавлением компонентов этанола, метанола, эфиров, воды и др.), которые проводили отечественные ученые Н.И. Акулов, И.М. Колесников, А.А. Кухленко, Ю.Г. Никишина и зарубежные учёные М. Цзуе, С. Муссави, Н. Ямасаки [73,75]. Изучив их труды, можно сделать вывод, что максимально улучшить эксплуатационные характеристики двигателя представляется возможным, если использовать «обратную» ДС. В такой смеси капли воды окружены частицами жидкого дизельного топлива и содержание водного компонента соответствует не более 20% по отношению к объему топлива. Преимущество «обратной» ДС заключается в том, что капли воды обволакиваются топливом и не могут оказать существенного влияния на процессы активизации коррозии металлов, входящих в состав цилиндропоршневой группы и системы выпуска отработавших газов двигателя. При сгорании топлива массой 1 кг, происходит выделение водяных паров массой 1,17 кг, которые увеличивают интенсивность процесса горения. При этих условиях в цилиндры поступает от 0,012 до 0,4 кг водяных паров на один килограмм топлива с атмосферным воздухом (при относительной влажности воздуха от 30 до 100%), размеры капель воды составляют 4 – 20 мкм. При нормальной эксплуатации автотракторной техники с относительной влажностью окружающего воздуха 40 – 60% в цилиндры двигателя поступает 0,01 – 0,2 кг

водяных паров, поэтому добавка еще 0,17 кг воды, находящихся в составе ДС, не может существенно изменить ход протекания химических реакций.

При приготовлении рабочей смеси происходит образование частиц, диаметр которых составляет 80 – 300 мкм. Большая часть капелек водно-топливной эмульсии (ВТЭ) имеет диаметр 5 – 10 мкм. Поэтому ее распыленные частицы содержат минимум одну, а в большинстве случаев несколько капелек воды, которая заключена в оболочку топлива. При попадании воды в камеру сгорания двигателя под воздействием температуры $\geq 1000^{\circ}\text{C}$ происходит ее превращение в пар, частицы которого хаотично двигаются. Из-за такого процесса рабочая смесь более равномерно распределяется по объему камеры сгорания и способствует уменьшению расстояний между центрами капель. При малых расстояниях между каплями, которые меньше ширины зоны ламинарного фронта пламени, находящиеся рядом капли сливаются, образуя общий фронт пламени, в котором скорость горения возрастает, вследствие чего сокращается расстояние между поверхностью капли и окружающей ее зоной пламени.

Вода, входящая в состав ВТЭ, интенсифицирует процесс распада капли воды на более мелкие капельки, за счет такого «дробления» капель горючая смесь в камере сгорания распределяется равномернее, из-за разницы температуры кипения воды и дизельного топлива. Капли воды, которые находятся во внутренней части капли топливной смеси при прохождении в цилиндре двигателя «такта сжатия», (температура более 300°C) сразу нагревается и закипает. Происходит «микровзрыв», который дробит оболочку частицы топливной смеси на более мелкие капли, состоящие из топлива, находящегося еще в жидком состоянии. Возникает «вторичное распыление», которое способствует более равномерному распределению топливного заряда, ускорению процесса смешивания воздуха и топлива и повышению полноты сгорания топливной смеси. Это и определяет возможность улучшения эксплуатационных и экологических характеристик двигателя при работе на ВТЭ.

Анализ работ [8 – 12] в этой области показал, что применение ДС для силовых установок является наиболее эффективным и перспективным

направлением по сравнению с другими, так как не требует внесения конструктивных изменений в штатную систему питания и больших материальных затрат. Основными недостатками применения такой ДС является сложность их применения в зимний период, низкая стабильность (5 – 10 суток) и высокая стоимость эмульгатора. Поэтому при приготовлении таких ДС следует обосновать способ, предусматривающий перемешивание воды с дизельным топливом перед подачей в цилиндры, и отказ от использования дорогостоящих эмульгаторов. В зимний период эксплуатации необходимо использовать систему подогрева воды.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что перспективным способом улучшения эксплуатационных показателей двигателя является модернизация его системы питания для работы на альтернативном топливе – топливных смесях (ТС) с добавкой в топливо водного компонента без применения дорогостоящих эмульгаторов. В первую очередь, необходимо модернизировать системы питания дизельных двигателей, так как их эксплуатируется более 70% в АПК.

Исследование процесса горения ТС не требует применения специального лабораторного оборудования и радикального изменения конструкции двигателя. При этом о результатах горения данной смеси можно судить по составу ОГ. С помощью анализа ОГ, а именно содержания в них сажи и исследования степени отклонений реальных результатов горения может привести к улучшению эксплуатационных показателей двигателя [20].

В исследованиях [17, 29, 125] рассмотрен способ получения и использования ТС в силовых установках с добавлением эмульгатора. Стоимость такой смеси высокая, поэтому вместо спирта целесообразнее использовать водный компонент. Теплота испарения воды почти в 8 раз выше, чем у дизельного топлива, и при рациональном составе ТС падение температуры за счет испарения воды в такой смеси снижается более чем в 10 раз по сравнению с дизельным топливом.

Результаты экспериментального исследования, проведенного в работе [22] по влиянию концентрации воды на показатели ДВС, показали, что основные

характеристики двигателя практически не изменяются при содержании 9 – 10% водного компонента по отношению к объему топлива.

Германская фирма Даймлер-Бенц испытала водно-топливные эмульсии с содержанием водной фазы от 5 до 40% [23]. При концентрации воды 20 – 40% выброс окислов азота (NO_x) и сажи значительно снижается, но при этом происходит незначительное снижение мощности двигателя.

Процесс сгорания ТС и его влияние на износ основных деталей двигателя описано в работах [24 – 27]. Полученные результаты показали, что вода оказывает положительное влияние на увеличение температуры вспышки. Лучшей смазывающей способностью и эффектом сгорания обладают «обратные» ТС, где вода обволакивается топливом и практически не контактирует с металлическими поверхностями деталей. Кроме того, в этих работах проводились замеры температур пламени при сгорании дизельного топлива и ТС, и отмечается, что уровень максимальных температур снизился при этом до 200°C , а продолжительность сгорания сократилась на 20 – 25%.

По мнению автора работы [39], добавление воды до 30% от массы жидкого топлива позволяет снизить содержание оксидов азота практически в 2 раза, а при добавлении до 60% – более чем в 6 раз.

Испытания дизельного двигателя Д21А1 при эксплуатации на водно-топливной смеси с эмульгатором описаны в работе [22]. Результаты проведенных экспериментальных исследований доказали, что при добавке 10% воды к топливу снижается его детонационная стойкость на 1 – 2 единицы и уменьшается выброс окислов азота на 10 – 12%, а при добавке воды в количестве 10 – 30% мощность дизеля и его коэффициент полезного действия существенно не снижается.

Обзор литературных источников [12, 17, 21] показал, что при введении до 10% водного компонента ко всему объему топлива мощность двигателя увеличивается до 5%, и появляется возможность прямой экономии топлива. При умеренных концентрациях воды (10 – 20%) её влияние на важнейшие показатели качества топлива незначительно.

Так как процесс приготовления дизельных смесей с добавлением жидких компонентов, таких как этанол, метанол, другие жидкие углеводородные топлива (бензин, керосин) не представляет больших сложностей и уже существенно изучен, то приготовление водно-дизельных смесей (ВДС) без применения дорогостоящих эмульгаторов малоизучен, что подтверждает актуальность проведения данных исследований.

1.2. Теоретические основы приготовления топливных смесей и их влияние на протекание рабочего процесса в двигателе

Процесс сгорания определяет эксплуатационные и экономические показатели ДВС, а характер его протекания существенно влияет на надежность и долговечность двигателя. Скорость распространения фронта пламени зависит от состава смеси, то есть от коэффициента избытка воздуха. Максимальное значение скорости распространения фронта пламени соответствует значениям коэффициента избытка воздуха (α) около 0,9.

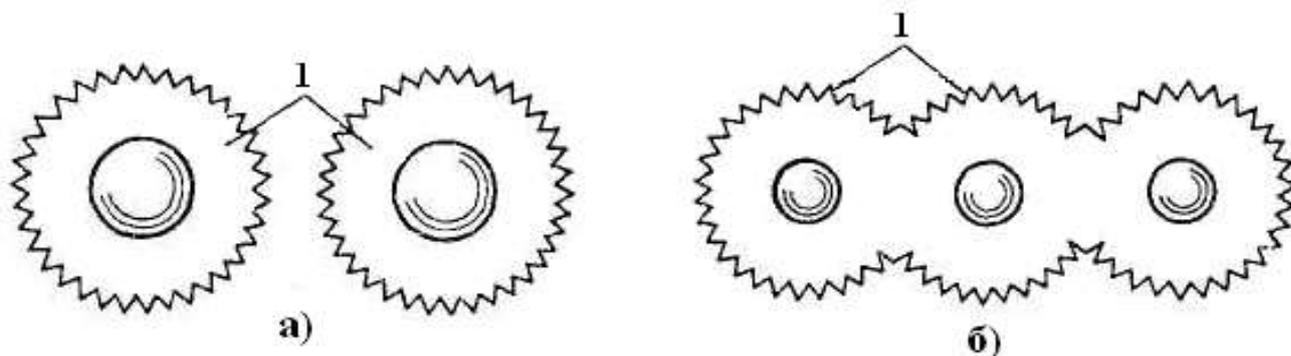
Исходя из работ [28, 29], топливные смеси, содержащие до 20% воды, подвижны и способны без значительных энергетических затрат перемещаться в топливопроводах системы питания двигателя. Согласно полученным результатам в работах [30, 31] капля водной смеси горит с «микровзрывом», приводящим к интенсификации процесса смешивания и горения.

В соответствии с содержанием работ [32 – 35] существенно улучшить эксплуатационные характеристики ДВС представляется возможным, если использовать «обратную» ДС, где вода в виде мельчайших капель распределена в топливе, а содержание воды соответствует не более 20% к объёму топлива.

Преимущество «обратной» ТС заключается в том, что капли воды, находящиеся в топливе, не могут существенно повлиять на процессы, связанные с коррозией металлов, из которых изготовлены детали цилиндропоршневой группы и системы выпуска ОГ ДВС.

При коэффициенте избытка воздуха равном 1, давлении 0,1 МПа и температуре 15°C общее число капель жидкого топлива с плотностью

$\rho_{ж} = 0,8 \text{ г/см}^3$, при диаметре капель 40 мкм составляет около 3000 в 1 см^3 воздуха. При смесеобразовании в камере сгорания образуются частицы, средний диаметр которых около 0,01 мкм, а у основной части капель воды диаметр находится в диапазоне 2 – 10 мкм. Следовательно, частички ТС содержат минимум одну, а в большинстве случаев несколько капель воды (рисунок 1.4).

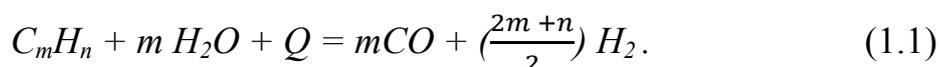


1 – зона пламени капли

а) крупных (обычного топлива) б) мелких (ТС)

Рисунок 1.4 – Схема горения группы капель

Анализ проведенных исследований водно-топливной смеси в 25 Центральном научно-исследовательском институте Министерства обороны (г. Москва) [36] показал, что при протекании химической реакции между парами воды и топлива происходят следующие реакции:



При замене 20% топлива водой, согласно результатам экспериментальных исследований [37 – 41], происходит снижение мощности ДВС на 2 – 4% от номинальной.

Водно-топливная смесь состоит из двух жидкостей, при смешивании которых одна распределена в другой в виде мельчайших капель. Согласно

источникам [34 – 42] образование ТС происходит следующим образом. Капельки диспергируемой фазы в результате воздействия внешней силы растягиваются и принимают цилиндрическую форму, а затем распадаются на более мелкие капельки. Процесс повторяется, и крупные капли вновь растягиваются в нити до определённой длины и распадаются на более мелкие. Причём, чем меньше размер капли, тем её растягивание и дальнейший распад происходят труднее. Подробно распад капель представлен в работе Кремнева и Радвеля [40]. Устойчивость ТС определяется её дисперсностью. На качество ТС влияют следующие факторы: процентное соотношение компонентов в приготавливаемой смеси; средние размеры частиц; вязкость смеси.

Топливная смесь, у которой дисперсной средой является топливо, а дисперсной фазой – вода, относится к «обратным» смесям.

Технологический процесс формирования смеси, характеризующийся отношением инерционных сил к силе поверхностного натяжения на границе раздела фаз σ_m , осуществляется в турбулентном режиме [39, 40]. В связи с этим, применяя теорию локально изотропной турбулентности, описанную в работе [42], и принимая масштаб турбулентных пульсаций пропорциональным определённому размеру капель эмульсии d_k , получим следующее выражение:

$$d_k = C_3 \sigma_m^{0,6} \xi^{0,4} \rho_c^{-0,2}, \quad (1.4)$$

где C_3 – константа; ξ – диссипация энергии, отнесённая к единице объёма ($\xi = N/V$); N – подводимая к жидкости мощность; V – объём жидкости; ρ_c – плотность сплошной фазы.

Современные исследователи процесса получения эмульсии уделяют значительное внимание проблеме, связанной с энергией, которую приходится затрачивать на преодоление молекулярных сил поверхностного натяжения в связи с увеличением поверхности растягивающейся капли. Так, например, согласно А.И. Рабинерсону [43], распределение энергии в системах, образующихся при

повышении концентрации эмульгируемой фазы из-за сближения капелек, выражается зависимостью:

$$\sigma - u = T d\sigma/dT, \quad (1.5)$$

где σ – свободная поверхностная энергия единицы поверхности; u – полная энергия единицы поверхности; T – температура, с повышением которой поверхностное натяжение уменьшается и в результате эмульгирование обычно происходит быстрее.

Анализ теоретических исследований течения жидкости через рабочие органы роторно-пульсационных аппаратов (РПА) показывает, что при течении рассматривается несжимаемая ньютоновская жидкость, а водно-дизельная смесь является ньютоновской жидкостью [44].

Следовательно, в аппаратах, при механическом воздействии двух несмешиваемых жидкостей (воды и топлива), создается распределение частиц дисперсной фазы по их размерам.

Плотность ВДС ($\rho_э$) (согласно [14]) определяется по формуле:

$$\rho_э = \rho_m - c (\rho_m - \rho_в), \quad (1.6)$$

где ρ_m – плотность топливной среды; $\rho_в$ – плотность дисперсной фазы; c – коэффициент дисперсности.

Исследования влияния температуры компонентов топливных смесей и режимных параметров обработки проводились в работах [14, 36, 37]. С изменением температуры возрастает коагуляция капель, происходящая с увеличением броуновского движения и повышением температуры кипения низкокипящего компонента.

Согласно работе [10] при использовании ТС не следует переохлаждать её до температуры кристаллизации воды или стеклования частиц углеводородного топлива. При отрицательных температурах происходит замерзание водного компонента смеси, поэтому при использовании ТС в зимний период необходимо

добавлять в воду такие компоненты, как метанол, этанол, спирт для снижения температуры её замерзания или заменять полностью. Повышение температуры ТС до 50 – 70°C влияет на вязкость жидкостей и адсорбционного слоя, флуктуацию скорости теплового движения частиц смеси. Для эффективного приготовления высокодисперсной и стабильной ТС необходимо на первом этапе приготовления смеси нагревать её до температуры не ниже 20°C, а на втором – до 50 – 60°C в зависимости от вида топливного насоса, применяющегося для подачи ТС в систему питания двигателя. [46, 47].

Из проведённого анализа следует, что применительно к дизельным двигателям АТТ необходимо использовать «обратную» ВДС, у которой дисперсной средой является топливо, а дисперсной фазой – вода. Нагрев такой смеси до температуры 50 – 60°C осуществляется путем установки в моторном отсеке технических средств (устройств) для реализации технологии приготовления ВДС и подачи ее параллельно в штатную систему питания. Для определения размеров частиц водно-дизельной смеси будет использоваться оптический способ с применением микроскопа.

1.3. Обоснование рациональных устройств для получения топливных смесей и их основные характеристики

1.3.1. Обоснование оптимальной конструкции и размеров аппаратов

В 1987 г. ученый Дэвис обобщил большое число экспериментальных данных и получил результаты, представленные на рисунке 1.5 [47], из которых следует, что в статических аппаратах перемешивание происходит при минимальных затратах энергии, а на аппаратах роторно-пульсационного типа достигается высокое качество приготавливаемой эмульсии при значительно меньших энергозатратах по сравнению с другими типами диспергаторов. Поэтому даже в типовой конструкции роторно-пульсационного аппарата (РПА) на обрабатываемую ВДС оказывается физическое воздействие, обусловленное совокупностью большого числа факторов, интенсифицирующих технологический процесс перемешивания.

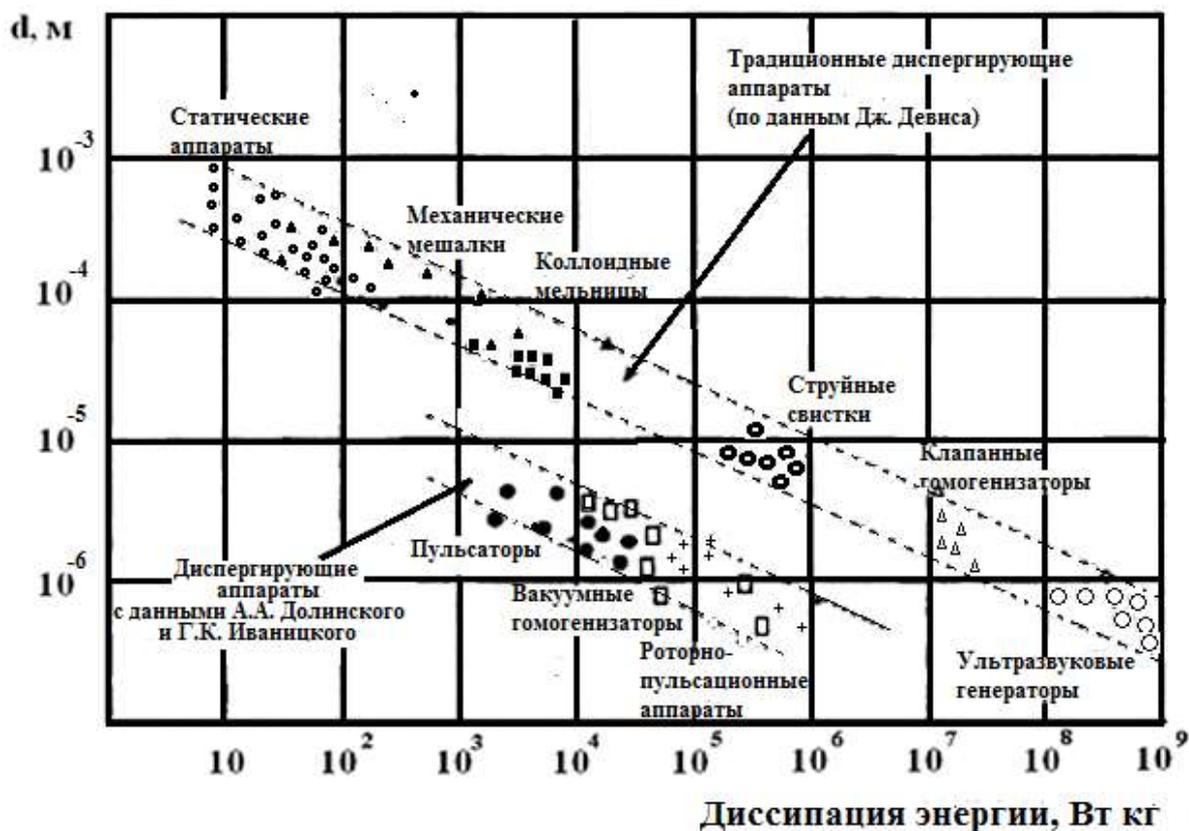


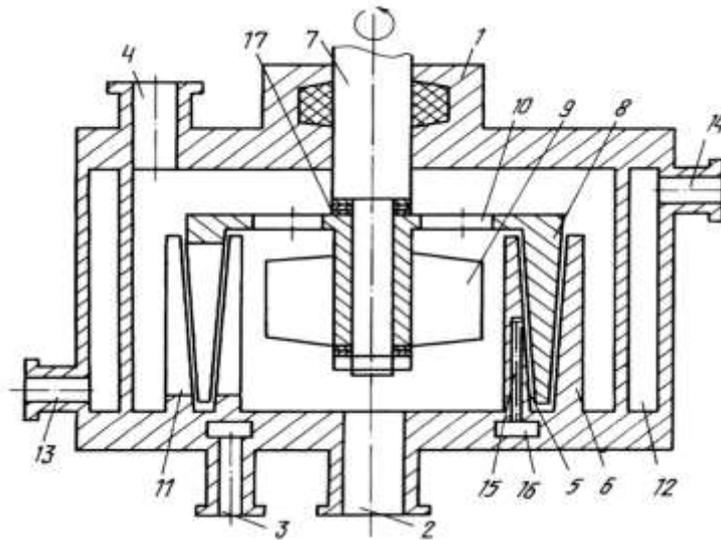
Рисунок 1.5 – Результаты сравнения различных видов диспергаторов

Исходя из вышеизложенного, для приготовления ВДС на первом этапе целесообразно использовать статический аппарат (дозатор-смеситель), который не требует дополнительного привода, а на втором этапе – роторно-пульсационный аппарат с приводом от струи топлива. Данные устройства должны иметь малые габариты и объём, а также высокую надёжность.

Далее в работе необходимо провести анализ существующих аппаратов для приготовления различных топливных композиций.

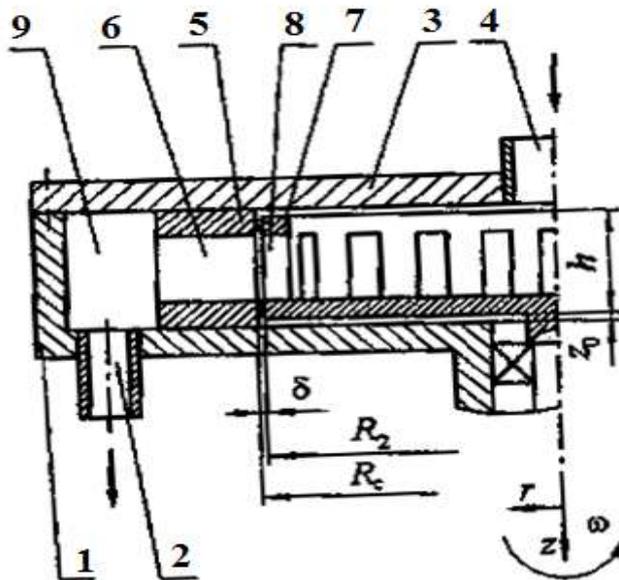
1.3.2. Анализ конструкций роторно-пульсационных аппаратов для приготовления водно-дизельной смеси

Общий вид наиболее перспективных роторно-пульсационных аппаратов показан на рисунках 1.6 – 1.9 [48 – 52].



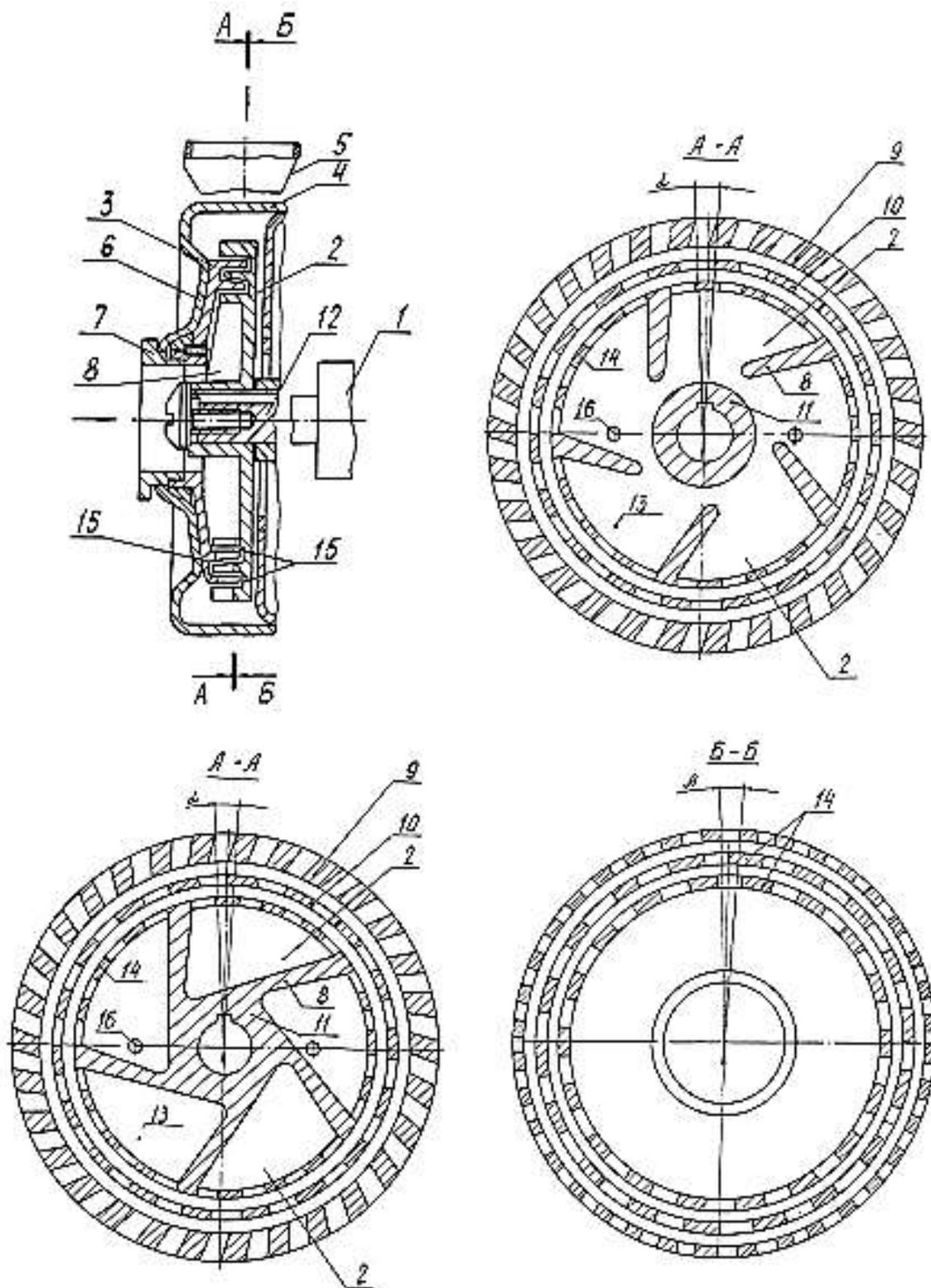
- 1 – корпус; 2, 3 – впускной патрубков; 4 – выпускной патрубков; 5, 6 – кольца статора;
 7 – вал; 8 – ротор; 9 – лопасти; 10 – отверстия; 11 – коаксиальные конусы с
 прорезями; 12 – рубашка; 13, 14 – штуцеры; 15 – каналы; 16 – камера;
 17 – регулировочная шайба

Рисунок 1.6 – Общий вид роторно-пульсационного аппарата



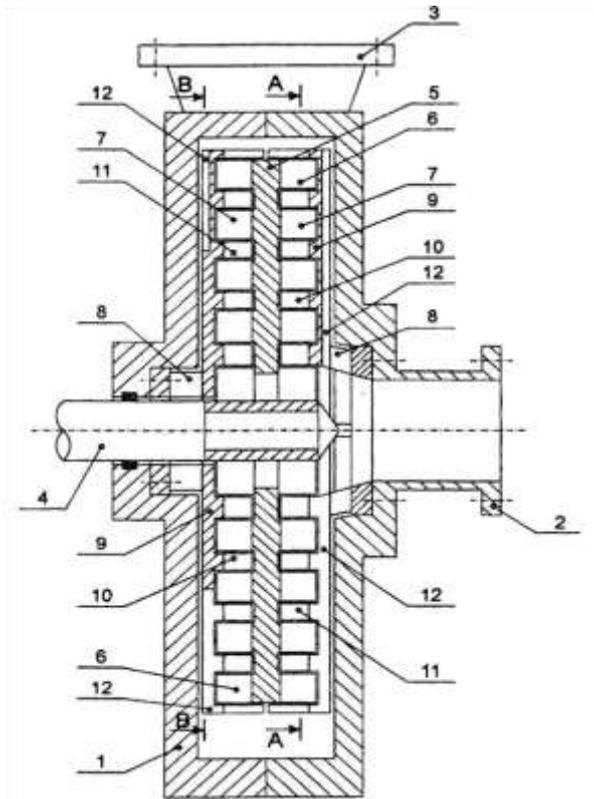
- 1 – корпус; 2 – выходной патрубков; 3 – крышка; 4 – входной патрубков;
 5 – статор; 6 – каналы в статоре; 7 – ротор; 8 – каналы в роторе;
 9 – камера озвучивания

Рисунок 1.7 – Конструктивная схема роторного аппарата



1 – привод; 2 – ротор; 3 – статор; 4 – корпус; 5 – выпускной патрубок;
 6 – крышка; 7 – впускной патрубок; 8 – входные лопатки насоса;
 9 – выходные лопатки насоса; 10, 14 – зубчатый элемент; 11 – ступица;
 12 – вал; 13 – камера; 15 – кольцевые канавки; 16 – разгрузочные отверстия

Рисунок 1.8 – Общий вид и в разрезе по сечениям РПА



1 – корпус; 2 – входной патрубок; 3 – выходной патрубок; 4 – вал; 5 – ротор;
 6 – радиальные лопатки; 7,11 – проточные каналы; 8 – стойки; 9 – статор;
 10 – лопатки; 12 – радиальные пазы

Рисунок 1.9 – Общий вид роторно-пульсационного аппарата

Проведенный анализ технических средств (устройств), применяющихся для улучшения эксплуатационных и экологических показателей ДВС АТТ показал, что наиболее рациональными являются такие устройства, которые способны воздействовать на рабочий процесс двигателя путем замены дизельного топлива на водно-дизельную смесь, позволяющие минимизировать финансовые затраты на модернизацию ДВС АТТ и организацию приготовления ВДС.

Этим требованиям в полной мере удовлетворяет способ частичной замены топлива водой, имеющей теплоту испарения почти в 8 раз выше, чем у дизельного топлива. И при рациональном составе смеси падение температуры за счет испарения воды в ВДС происходит более чем в 10 раз по сравнению с дизельно-воздушными смесями, что обеспечивает наилучшее смесеобразование в камере сгорания дизеля. Кроме того, вода, как компонент для приготовления ВДС, общедоступна и имеет невысокую цену. При приготовлении ВДС целесообразно

перемешивать воду совместно с дизельным топливом непосредственно перед подачей в цилиндры, что позволит отказаться от использования дорогостоящих эмульгаторов. Применение такой ВДС может улучшить эксплуатационные и экологические показатели ДВС АТТ.

На основании проведенного экспериментального исследования влияния концентрации воды на эксплуатационные показатели ДВС установлено, что рациональное соотношение водного компонента составило 17 – 20% по отношению к объему дизельного топлива. При этом основные характеристики двигателя существенно не изменяются. Кроме того, ввод воды интенсифицирует процесс горения дожиганием сажи за счет гидроксильного радикала (OH), который также необходим для горения окиси углерода (CO) (особенно при коэффициенте избытка воздуха $\alpha \leq 1$) и переводе его в углекислый газ (CO_2).

Содержание в ВДС 17 – 20% водного компонента не будет существенно изменять ход химических реакций, активизирующих коррозию металлов, так как при нормальной эксплуатации АТТ с относительной влажностью воздуха 40 – 60% в цилиндр ДВС и так поступает не менее 10 – 20% водяных паров от массы топлива. Получение ВДС, где компонентами являются две взаимно не смешиваемые жидкости (вода и дизельное топливо), необходимо осуществлять в два этапа: первый этап – приготовление «грубой» ВДС, в которой средний диаметр капель воды не превышает 50 мкм; второй этап – приготовление «тонкой» ВДС, в которой средний диаметр капель водной фазы составляет около 2 мкм [53 – 66].

Для приготовления «грубой» ВДС целесообразно использовать аппарат эжекционного принципа действия, который совмещает в себе функции дозатора и смесителя, так как при его использовании не требуется дополнительно привода, а процесс смешивания осуществляется в результате подачи дозируемого компонента в основной поток за счет разницы давлений, создаваемой вставкой-диффузором [67, 68].

Для приготовления «тонкой» ВДС необходимо использовать РПА с изготовлением в его статоре двух рядов отверстий, которые будут способствовать

увеличению производительности аппарата. Дополнительно нужно изготовить небольшое количество отверстий и в роторе, которых будет достаточно для модуляции потока обрабатываемой жидкости в каналах статора. Повышение производительности РПА может быть достигнуто за счет использования многорядной конструкции ротора и статора [69 – 83].

1.3.3. Анализ устройств, подающих воду в камеру сгорания непосредственно перед воспламенением топлива

Устройство для подачи воды в ДВС

Данное устройство позволяет получить стабильную водно-топливную смесь, которая приготавливается во впускном коллекторе силового агрегата. Водный компонент, через жиклер самотеком подается из дополнительной емкости в смесительную камеру. Двухлопастный винт, который вращается в потоке смеси, и установленная лепестковая прокладка способствуют улучшению качества приготавливаемой водно-топливной смеси (рисунок 1.10).

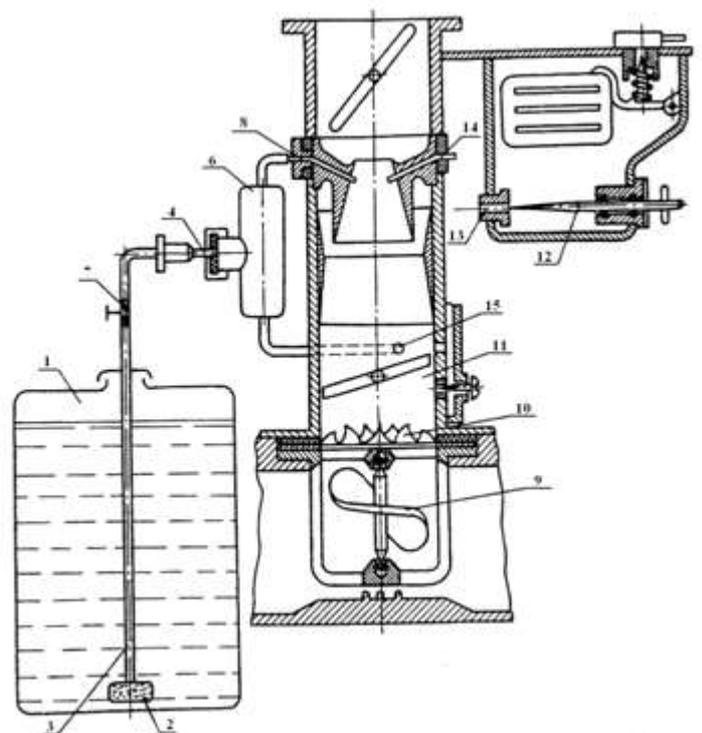
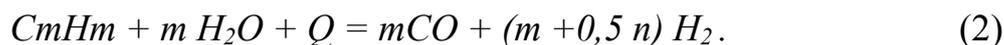


Рисунок 1.10 – Схема устройства для подачи воды в ДВС

При совершении такта «рабочий ход», при температуре более 800°C, происходит взаимодействие несгоревших остатков топлива с водяным паром:



Термохимический процесс, происходящий при температуре выше 1000°C между водяным паром и углеводородным топливом:



Термический процесс разложения воды, происходящий при температуре выше 2000°C:



При прохождении термического процесса разложения воды выделяющийся водород сжигается, как топливо. Поэтому при частичной замене (до 20%) топлива водой не происходит существенного снижения мощности силовой установки. При дальнейшем увеличении воды в ВТЭ (более 30%) происходит снижение мощности ДВС на 1 – 3% от номинальной.

На основании изученных работ можно сделать вывод, что при подаче водно-топливной смеси в систему питания двигателя в качестве топлива наблюдается четкая и бесперебойная его работа, существенное уменьшение содержания вредных веществ в отработавших газах и отсутствует необходимость применять сложные устройства для получения водно-топливной смеси. На клапанах и в камерах сгорания значительно уменьшается образование нагара.

Устройство для присадки негорючих веществ в топливо ДВС

В работе [123] представлено устройство для присадки негорючих веществ в топливо ДВС.

На рисунке 1.11 представлена схема предлагаемого устройства.

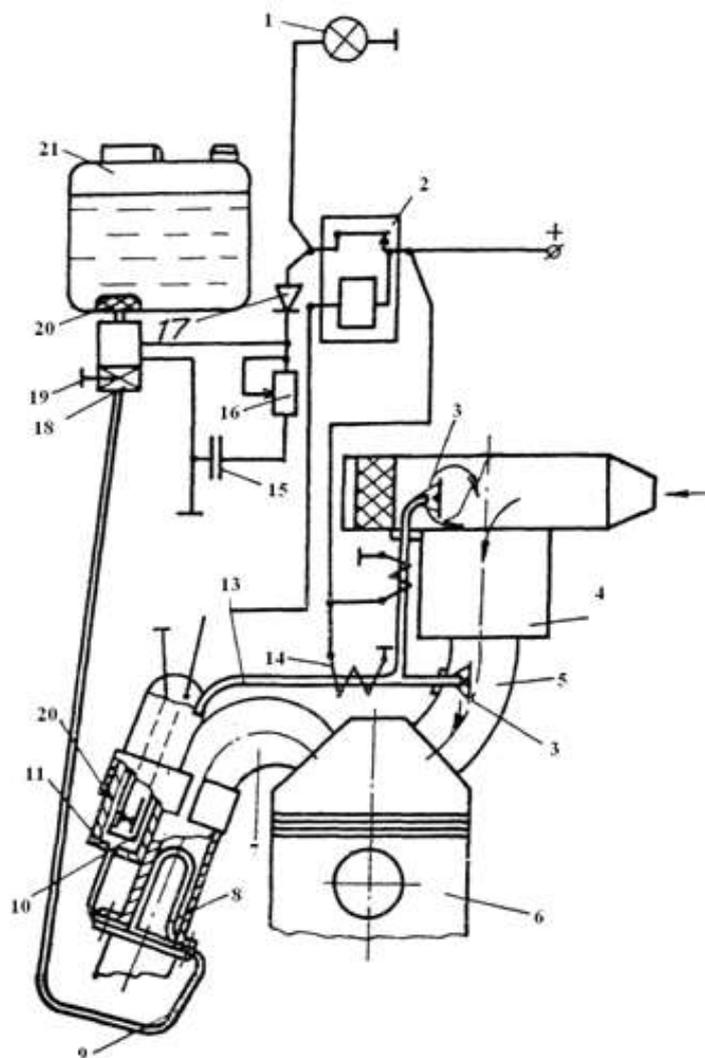


Рисунок 1.11– Схема устройства для подачи воды в карбюраторный ДВС

Работа устройства заключается в подаче напряжения на электронагреватели через выключатель зажигания. Электронагреватели прогревают основной и дополнительный патрубок, чтобы исключить попадание конденсата в цилиндры двигателя. Двигатель работает в режиме прогрева. Датчик температуры, установленный в демпфере давления пара, настроен на температуру окружающей среды 105 – 110°C. При повышении температуры окружающей среды выше заданной происходит размыкание контактов и электромагнитное реле обесточивается, напряжение подается на обмотку запорного клапана. Вода, поступающая в парообразователь, изготовленный в виде змеевика, испаряется, пар поступает в демпфер давления и далее через выходной патрубок во впускной коллектор, где происходит насыщение поступающей топливной смеси.

Устройства, приготавливающие водно-топливную эмульсию, с заранее подобранным оптимальным составом воды и топлива

Устройство приготовления водно-топливной эмульсии (ВТЭ) с элементами регулирования компонентов, входящих в ее состав, представлено в работе [1] и показано на рисунке 1.12.

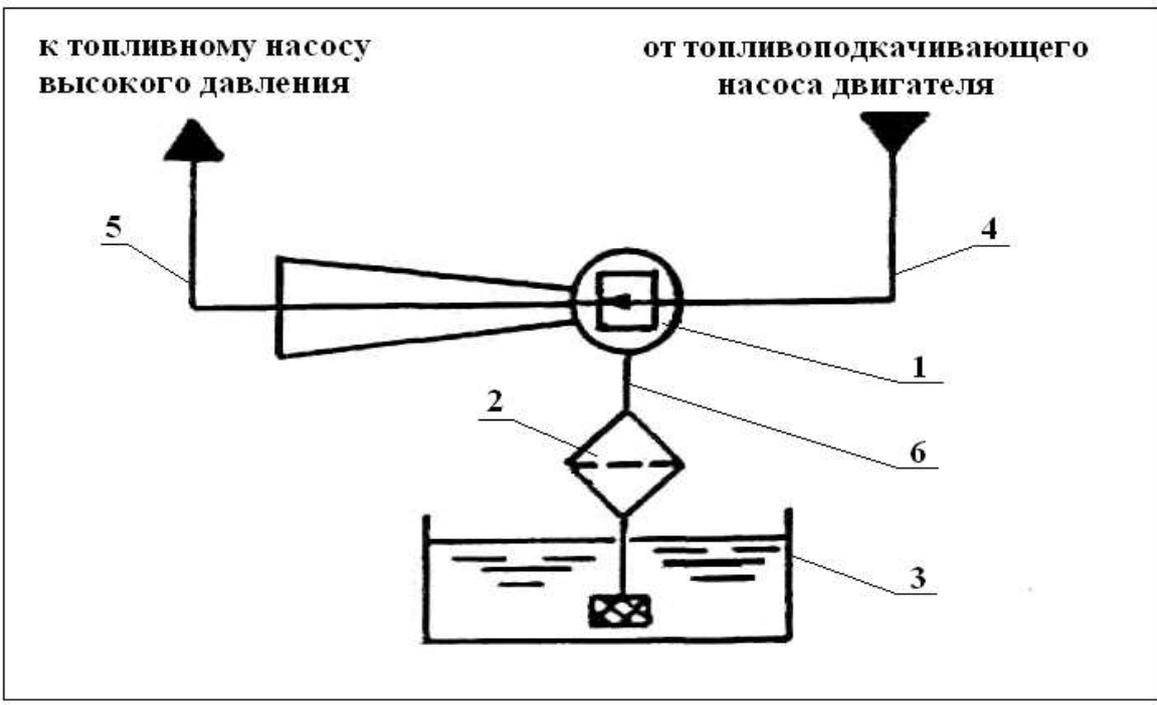


Рисунок 1.12 – Схема устройства для подачи воды в дизельный ДВС

Данное устройство приготавливает ВТЭ в системе питания дизельного ДВС и состоит из фильтра для воды, эжектора с всасывающим стаканом, соединенным с емкостью для воды.

Схема струйно-кавитационного эжектора показана на рисунке 1.13 и состоит из шестерни (10), зубчатой рейки (11), привода зубчатой рейки (12), всасывающего стакана (14). Активное сопло может перемещаться вдоль корпуса эжектора и соединено с ним резьбовым соединением. Применение такой конструкции позволяет изменять площадь контакта разнородных жидкостей в смесительной камере эжектора и управлять качеством приготавливаемой ВТЭ в зависимости от количества подаваемого водного компонента, поступающего для перемешивания в смесительную камеру.

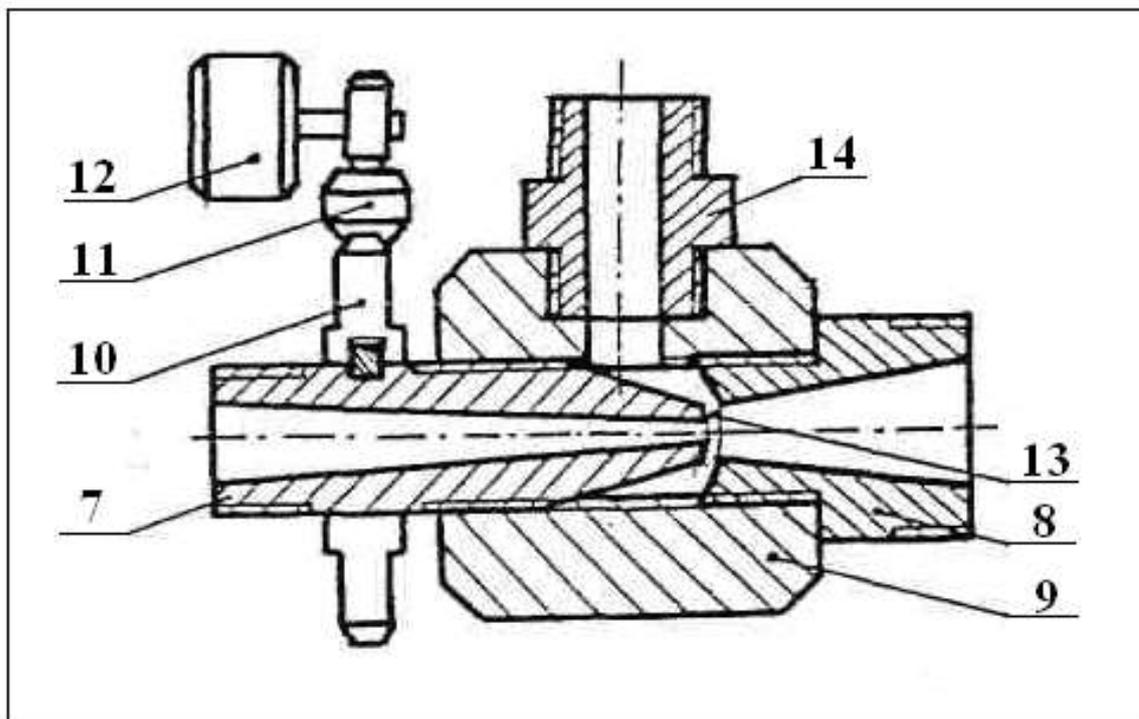


Рисунок 1.13– Схема устройства для подачи воды в дизельный ДВС

Эксплуатационные свойства ВТЭ, такие как плотность, вязкость, температура застывания, температура вспышки, устойчивость к расслоению, зависят от содержания водного компонента, а также средних размеров капель воды (дисперсности). В струйно-кавитационных эжекторах эти величины являются функцией давления нагнетания топлива в активном сопле и площади контакта воды и топлива, которые определяются площадью сечения рабочей полости диффузора.

При работе дизеля регулировка качества приготавливаемой смеси с применением данного устройства может производиться различными способами (вручную, гидроприводом, электроприводом) в зависимости от конструктивных особенностей его системы питания.

По результатам экспериментального исследования влияния процентного содержания водного компонента на работу дизельной силовой установки установлено, что с возрастанием количества водного компонента в водно-топливной смеси наблюдается линейный рост периода задержки воспламенения и происходит уменьшение вредных выбросов CO на 30 – 40% и сажи на 60%. Содержание воды составило 9 – 10% по отношению к объему топлива [123].

В университете г. Лидса (Великобритания) были проведены исследования работы на ВТЭ одноцилиндрового 4-х тактного дизеля Petter-AVL со степенью сжатия $\varepsilon = 19$, мощностью $P_e = 3,7$ кВт, при $n = 1500$ об/мин., которые показали, что воспламенение эмульгированного топлива при содержании водного компонента более 20% ко всему объему не наблюдалось, а при работе дизеля на ВТЭ с содержанием водного компонента до 20% происходило снижение вредных выбросов сажи в отработавших газах и доли растворимой органической фракции [10].

Проведенный анализ позволяет сделать вывод, что добавка 17 – 20% водного компонента по отношению к объёму топлива позволяет улучшить экономический и экологический эффект, который практически не достижим другими известными методами при равных затратах по следующим причинам:

- возможность сохранения в пределах заводских регулировок топливной аппаратуры;
- седиментационная стабильность ВТЭ, которая достигается подобранным статическим и динамическим аппаратом;
- возможность значительного уменьшения выброса сажи с отработавшими газами;
- возможность снижения теплонапряженности рабочего процесса сгорания при сохранении (до 18%) показателей экономии топлива;
- применение ВТЭ без использования дорогостоящего эмульгатора.

На основании изучения работ по тематике можно выдвинуть гипотезу, что исследования по применению ВДС для двигателей АТТ необходимо и целесообразно производить на основе дизельного топлива и воды (без применения эмульгаторов). Процесс приготовления необходимо осуществлять непосредственно на АТТ с разработкой технологии приготовления ВДС и технических средств (устройств), позволяющих приготавливать и подавать исследуемую смесь в штатную систему питания двигателя параллельно, существенно не изменяя её конструкцию.

2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВОДНО-ДИЗЕЛЬНОЙ СМЕСИ И ВЛИЯНИЕ ЕЕ СОСТАВА И КАЧЕСТВА НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДВИГАТЕЛЯ

Для приготовления ВДС рационального состава и качества вначале необходимо смоделировать процесс дробления капель дисперсной фазы в топливной среде при прохождении ее через рабочие органы РПА с целью определения средних размеров капель воды, которые позволят получить различные конструкции РПА. Средние размеры капель воды необходимы, чтобы увеличить время до начала расслоения ВДС. Затем, выбрав лучшую конструкцию РПА и определив, оптическим способом, реальные средние размеры капель воды нужно будет сравнить их с размерами, полученными с помощью разработанной математической модели, тем самым оценив ее адекватность.

На следующем этапе исследований необходимо будет оценить влияние состава (содержание количества воды в топливе) и качества (средних размеров капель воды, находящихся в топливе) ВДС на эксплуатационные показатели дизельного ДВС, которые позволят существенно не снизить мощностные характеристики АТТ при максимальном снижении расхода топлива и количества токсичных веществ, содержащихся в ОГ.

2.1. Математическое моделирование течения водно-дизельной смеси через рабочие органы роторно-пульсационного аппарата и теоретическое определение среднего диаметра капель воды в водно-дизельной смеси

Существует несколько разработанных моделей течения жидких компонентов через рабочие органы РПА. Данные математические модели рассматривают поток ньютоновской жидкости, а водно-топливная композиция, которую предполагается использовать при подаче в РПА, сама по себе не является ньютоновской жидкостью [82]. Поэтому для использования уже имеющихся

математических моделей необходимо подавать в РПА водно-топливную смесь, которая по физическим свойствам должна быть ньютоновской жидкостью, то есть дисперсную ВДС. Для этих целей необходимо разработать РПА, конструкция которого может обеспечить выполнение этого условия и позволит получить ВДС требуемого качества. Для реализации данного требования предполагается для приготовления ВДС на первом этапе использовать дозатор-смеситель, а на входе в РПА дополнительно использовать кавитатор. Для исследования такого РПА в качестве гомогенизатора ВДС необходимо использовать модель гомогенизации, учитывающую особенности течения жидкости в РПА и строение компонентов, входящих в состав ВДС. В соответствии с работами [70, 71] считается, что дробление капли происходит в результате её деформации в нестационарном потоке РПА. При достижении определённой скорости они дробятся до размеров около 0,01 диаметра исходной капли. Как следует из источника [71], они составляют от 10:1 до 2:1.

$$\frac{\rho^2 \times d_2}{T \times \eta} \ll 1, \quad (2.1)$$

где ρ_2 – плотность дисперсионной среды; d – диаметр капли смеси; T – период следования импульсов или период колебаний потока; η – коэффициент динамической вязкости дисперсионной среды.

Для малых чисел Рейнольдса соответствует неравенство:

$$Re = \frac{\rho_2 \times U \times d}{\eta} \ll 1, \quad (2.2)$$

где U – относительная скорость движения капли в дисперсионной среде.

При малых числах Рейнольдса выглядит следующим образом [71]:

$$6\pi r \nu \rho_2 (U_{отн} - V_{отн}) + \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho_1 - \rho_2) \times \frac{dV_{отн}}{dt_{отн}} = (\rho_1 + \frac{\rho_2}{2}) \times \frac{dU_{отн}}{dt_{отн}} \times \frac{4}{3} \pi r^3, \quad (2.3)$$

где ρ_1 – плотность дисперсионной фазы ($\rho_1 = 1000$ кг/м³); ρ_2 – плотность дисперсионной среды ($\rho_2 = 720–860$ кг/м³); ν – кинематическая вязкость среды ($\nu = 1,0068 \times 10^{-3}$ м²/с); r – радиус капли воды до обработки в РПА ($r = 0,00005$ м); V – скорость потока; U – относительная скорость движения капли; η – динамическая вязкость дисперсионной среды ($\eta = \nu\rho$).

Первое слагаемое левой части представляет собой силу вязкого сопротивления, второе – силу Архимеда.

Ускорение при течении ВДС в рабочих органах РПА рассчитывается по уравнению Бернулли для нестационарного потока:

$$\frac{dV_{омн}}{dt_{омн}} = H_0(1 - z_{кв}V_{омн}^2), \quad (2.4)$$

где, $V_{омн} = \frac{V}{V_0}$; $V_0 = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_2}}$; $t_{омн} = \frac{t}{t_0}$; $t_0 = \frac{a_c}{\omega R}$.

Здесь $\Delta P = 0,09$ МПа – перепад давлений на модуляторе РПА; $a_c = 0,001$ м – ширина отверстия статора; $\omega = 13,3$ рад/с – угловая скорость вращения ротора; $R = 0,025$ м – радиус ротора; $L = 0,004$ м – длина модулятора; $z_{кв} = 0,06$ – гидравлическое сопротивление модулятора (методика расчета приведена в работе [70, 71]).

Данные численные значения приведены для разработанного РПА.

В безразмерных величинах уравнение (2.3) запишется следующим образом:

$$\frac{9}{2} z \frac{\rho_2}{\rho_1} (V_{омн} - U_{омн}) + \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} - 1\right) \frac{dV_{омн}}{dt_{омн}} = \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\rho_2}{\rho_1}\right) \frac{dU_{омн}}{dt_{омн}}. \quad (2.5)$$

где $U_{омн} = \frac{U}{V_0}$; $z = \frac{\nu t_0}{r^2}$ – критерий Жуковского.

Чтобы получилась замкнутая система, уравнение (2.5) дополняется уравнением (2.4). В работе [70] данная система уравнений (2.4) и (2.5) решается численно, что позволяет получить теоретическую зависимость $U(t)$.

В данной работе решим систему уравнений (2.4) и (2.5) аналитическим путем относительно $U_{отн}(t_{отн})$, то есть найдем теоретическую зависимость $U(t)$ в безразмерных величинах.

Запишем систему из уравнений (2.4) и (2.5):

$$\begin{cases} \frac{9}{2} z \frac{\rho_2}{\rho_1} (V_{отн} - U_{отн}) + \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} - 1 \right) \frac{dV_{отн}}{dt_{отн}} = \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \frac{dU_{отн}}{dt_{отн}}, \\ \frac{dV_{отн}}{dt_{отн}} = H_0 (1 - z_{кв} V_{отн}^2) \end{cases}, \quad (2.6)$$

где $V_{отн}$ и $U_{отн}$ неизвестные величины, зависящие от $t_{отн}$.

Из второго уравнения системы (2.6) можно найти $V_{отн}$ и $\frac{dV_{отн}}{dt_{отн}}$.

Вначале находим скорость $V_{отн}$. Для этого второе уравнение представим в следующем виде:

$$\frac{dV_{отн}}{H_0(1 - z_{кв} V_{отн}^2)} = dt_{отн}. \quad (2.7)$$

Интегрируем обе части уравнения (2.7):

$$\int \frac{dV_{отн}}{H_0(1 - z_{кв} V_{отн}^2)} = \int dt_{отн}. \quad (2.8)$$

Выносим постоянную величину $\frac{1}{H_0}$ за интеграл в левой части уравнения (2.8)

$$\frac{1}{H_0} \int \frac{dV_{отн}}{(1 - z_{кв} V_{отн}^2)} = \int dt_{отн}. \quad (2.9)$$

Числитель и знаменатель левой части уравнения (2.9) делим на $z_{кв}$. Таким образом, интеграл в левой части уравнения (2.9) приводим к стандартному виду:

$$\frac{1}{H_0} \int \frac{\frac{1}{z_{кв}} dV_{отн}}{\left(\frac{1}{z_{кв}} - V_{отн}^2\right)} = \int dt_{отн} . \quad (2.10)$$

Выносим постоянную величину $\frac{1}{z_{кв}}$ за интервал в уравнении (2.10)

$$\frac{1}{H_0} \times \frac{1}{z_{кв}} \int \frac{dV_{отн}}{\left(\frac{1}{z_{кв}}\right)^2 - V_{отн}^2} = \int dt_{отн}, \quad (2.11)$$

После нахождения интеграла уравнение (2.11) примет вид:

$$\frac{1}{H_0} \times \frac{1}{z_{кв}} \times \frac{1}{2\sqrt{\frac{1}{z_{кв}}}} \ln \left| \frac{\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} + V_{отн}}{\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} - V_{отн}} \right| = t_{отн}. \quad (2.12)$$

или

$$t_{отн} = \frac{1}{H_0 2\sqrt{\frac{1}{z_{кв}}}} \times \ln \left| \frac{\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} + V_{отн}}{\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} - V_{отн}} \right| \quad (2.13)$$

В левой части уравнения оставляем только логарифм, для этого множитель $\frac{1}{H_0 2\sqrt{\frac{1}{z_{кв}}}}$ переносим в правую часть.

$$\ln \left| \frac{\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} + V_{отн}}{\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} - V_{отн}} \right| = 2H_0 \sqrt{\frac{1}{z_{кв}}} \times t_{отн}. \quad (2.14)$$

Освободившись от логарифма, получаем:

$$\frac{\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} + V_{отн}}{\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} - V_{отн}} = e^{2H_0 \sqrt{\frac{1}{z_{кв}}} \times t_{отн}}. \quad (2.15)$$

Переносим знаменатель $\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} - V_{отн}$ из левой части в правую, получаем:

$$\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} + V_{отн} = e^{2H_0\sqrt{z_{кв}} \times t_{отн}} \left(\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} - V_{отн} \right). \quad (2.16)$$

Преобразуем полученное выражение и получаем:

$$V_{отн} + V_{отн} \times e^{2H_0\sqrt{z_{кв}} \times t_{отн}} = e^{2H_0\sqrt{z_{кв}} \times t_{отн}} \times \frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} - \frac{1}{\sqrt{z_{кв}}}. \quad (2.17)$$

Из уравнения (2.17) $V_{отн}$ определяется по выражению:

$$V_{отн} = \frac{\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}}(e^{2H_0\sqrt{z_{кв}} \times t_{отн}} - 1)}{e^{2H_0\sqrt{z_{кв}} \times t_{отн}} + 1}. \quad (2.18)$$

Для удобства введем обозначение $\alpha = 2H_0\sqrt{z_{кв}}$.

Получим:

$$V_{отн} = \frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} \times \frac{(e^{\alpha t_{отн}} - 1)}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1)}, \quad (2.19)$$

Из второго уравнения системы (2.6) находим $\frac{dV_{отн}}{dt_{отн}}$, предварительно подставив в это уравнение найденное значение $V_{отн}$.

Второе уравнение системы (2.6) после подстановки примет следующий вид:

$$\frac{dV_{отн}}{dt_{отн}} = H_0 \left[1 - z_{кв} \left(\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} \times \frac{(e^{\alpha t_{отн}} - 1)}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1)} \right)^2 \right], \quad (2.20)$$

После сокращения $z_{кв}$ уравнение (2.20) примет вид:

$$\frac{dV_{отн}}{dt_{отн}} = H_0 \left[1 - \frac{(e^{\alpha t_{отн}} - 1)^2}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1)^2} \right], \quad (2.21)$$

Правую часть уравнения подводим под общий знаменатель $(e^{\alpha t_{отн}} + 1)^2$

$$\frac{dV_{отн}}{dt_{отн}} = H_0 \left[\frac{(e^{at_{отн}}+1)^2 - (e^{at_{отн}}-1)^2}{(e^{at_{отн}}+1)^2} \right], \quad (2.22)$$

В числителе раскрываем квадрат суммы и квадрат разности двух чисел:

$$\frac{dV_{отн}}{dt_{отн}} = H_0 \frac{e^{2at_{отн}} + 2e^{at_{отн}} + 1 - e^{2at_{отн}} + 2e^{at_{отн}} - 1}{(e^{at_{отн}}+1)^2}, \quad (2.23)$$

После преобразований – удаления одинаковых элементов с противоположными знаками – найдем, чему равно $\frac{dV_{отн}}{dt_{отн}}$:

$$\frac{dV_{отн}}{dt_{отн}} = 4H_0 \frac{e^{at_{отн}}}{(e^{at_{отн}}+1)^2}. \quad (2.24)$$

Подставляя найденные $V_{отн}$ и $\frac{dV_{отн}}{dt_{отн}}$ в первое уравнение системы (2.6), получим следующее выражение:

$$\frac{9}{2} z \frac{\rho_2}{\rho_1} \left(\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} \frac{(e^{at_{отн}}-1)}{(e^{at_{отн}}+1)} - U_{отн} \right) + \left(\frac{\rho_2}{\rho_1} - 1 \right) 4H_0 \frac{e^{at_{отн}}}{(e^{at_{отн}}+1)^2} = \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\rho_2}{\rho_1} \right) \frac{dU_{отн}}{dt_{отн}}. \quad (2.25)$$

Из этого уравнения необходимо найти $U_{отн}$, то есть решить уравнение (2.25) относительно $U_{отн}$.

Подводим под общий знаменатель $2\rho_1$ обе части уравнения (2.25) и сокращаем его.

$$9 z \rho_2 \left(\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} \frac{(e^{at_{отн}}-1)}{(e^{at_{отн}}+1)} - U_{отн} \right) + 8H_0(\rho_2 - \rho_1) \frac{e^{at_{отн}}}{(e^{at_{отн}}+1)^2} = (2\rho_1 + \rho_2) \frac{dU_{отн}}{dt_{отн}}. \quad (2.26)$$

Раскрываем скобки в выражении, где присутствует $U_{отн}$.

$$\frac{9 z \rho_2}{\sqrt{z_{кв}}} \frac{(e^{at_{отн}}-1)}{(e^{at_{отн}}+1)} - 9 z \rho_2 U_{отн} + 8H_0(\rho_2 - \rho_1) \frac{e^{at_{отн}}}{(e^{at_{отн}}+1)^2} = (2\rho_1 + \rho_2) \frac{dU_{отн}}{dt_{отн}}. \quad (2.27)$$

Преобразуем уравнение (2.27) в вид:

$$9 z \rho_2 \frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} \frac{(e^{\alpha t_{омн}} - 1)}{(e^{\alpha t_{омн}} + 1)} + 8H_0(\rho_2 - \rho_1) \frac{e^{\alpha t_{омн}}}{(e^{\alpha t_{омн}} + 1)^2} - 9 z \rho_2 U_{омн} =$$

$$= (2\rho_1 + \rho_2) \frac{dU_{омн}}{dt_{омн}}. \quad (2.28)$$

Уравнение (2.28) очень громоздко, поэтому для удобства его решения введем следующие обозначения:

$$a = 9 z \rho_2 \times \frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} \times \frac{(e^{\alpha t_{омн}} - 1)}{(e^{\alpha t_{омн}} + 1)}, b = 8H_0(\rho_2 - \rho_1) \times \frac{e^{\alpha t_{омн}}}{(e^{\alpha t_{омн}} + 1)^2},$$

$$g = 9 z \rho_2, f = (2\rho_1 + \rho_2).$$

С учетом обозначений уравнение (2.28) примет вид:

$$a + b - gU_{омн} = f \frac{dU_{омн}}{dt_{омн}}. \quad (2.29)$$

Полученное уравнение (2.29) – линейное неоднородное уравнение, решение которого ($U_{он}$) состоит из решения однородного уравнения ($U_{оо}$) и решения неоднородного уравнения ($U_{ин}$), то есть $U_{он} = U_{оо} + U_{ин}$.

Сначала находим решение однородного уравнения $U_{оо}$.

Преобразовываем уравнение (2.29), получается однородное уравнение, которое имеет следующий вид:

$$f \frac{dU_{омн}}{dt_{омн}} = -gU_{омн}. \quad (2.30)$$

Переносим f и $dt_{омн}$ в правую часть, а $U_{омн}$ в левую. Затем интегрируем левую и правую часть. $\frac{g}{f}$ – постоянная величина, поэтому она выносится перед знаком интеграла.

$$\int \frac{dU_{\text{отн}}}{U_{\text{отн}}} = -\frac{g}{f} \int dt_{\text{отн}}. \quad (2.31)$$

Получаем:

$$\ln|U_{\text{отн}}| = -\frac{g}{f}t_{\text{отн}} + \ln|c|. \quad (2.32)$$

Отсюда следует:

$$U_{oo} = e^{-\frac{g}{f}t_{\text{отн}}} \times c. \quad (2.33)$$

То есть решение однородного уравнения найдено.

Подставив величины g и f в уравнение (2.33), получим:

$$U_{oo} = e^{-\frac{g z \rho_2}{(2\rho_1 + \rho_2)}t_{\text{отн}}} \times c, \quad (2.34)$$

Введем обозначение $\beta = \frac{g z \rho_2}{(2\rho_1 + \rho_2)}$. Иначе $\beta = \frac{g}{f}$.

Тогда U_{oo} определяется из следующего выражения:

$$U_{oo} = e^{-\beta t_{\text{отн}}} \times c. \quad (2.35)$$

Переходим к нахождению решения неоднородного уравнения $U_{ин}$. Оно будет иметь следующий вид:

$$U_{ин} = \tilde{c}(t_{\text{отн}})e^{-\beta t_{\text{отн}}}. \quad (2.36)$$

Дифференцируя уравнение (2.36) определяется $\tilde{c}(t_{\text{отн}})$:

$$\frac{dU_{\text{отн}}}{dt_{\text{отн}}} = \tilde{c}'(t_{\text{отн}})e^{-\beta t_{\text{отн}}} + \tilde{c}(t_{\text{отн}})(-\beta t_{\text{отн}})e^{-\beta t_{\text{отн}}}. \quad (2.37)$$

Подставим в уравнении (2.29) вместо $\frac{dU_{отн}}{dt_{отн}}$ его значение из уравнения (2.37):

$$f(\tilde{c}'(t_{отн})e^{-\beta t_{отн}} - \beta\tilde{c}(t_{отн})e^{-\beta t_{отн}}) = -g\tilde{c}(t_{отн})e^{-\beta t_{отн}} + a + b, \quad (2.38)$$

где $\beta = \frac{g}{f}$.

Подставим значение β , раскроем скобки, удалим одинаковые значения в уравнении. После этих преобразований уравнение (2.38) примет вид:

$$f\tilde{c}'(t_{отн})e^{-\beta t_{отн}} = a + b. \quad (2.39)$$

Перенесем f и $e^{-\beta t_{отн}}$ в правую часть уравнения (2.39):

$$\tilde{c}'(t_{отн}) = \frac{a+b}{f} e^{\beta t_{отн}}. \quad (2.40)$$

После ввода величин a, b, f, β получаем уравнение вида:

$$\tilde{c}'(t_{отн}) = \frac{9z\rho_2 \times \frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} \times \frac{(e^{\alpha t_{отн}} - 1)}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1)} + 8H_0(\rho_2 - \rho_1) \times \frac{e^{\alpha t_{отн}}}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1)^2}}{(2\rho_1 + \rho_2)} e^{\frac{9z\rho_2}{2\rho_1 + \rho_2} t_{отн}}. \quad (2.41)$$

Преобразуем уравнение (2.41):

$$\tilde{c}'(t_{отн}) = \frac{1}{2\rho_1 + \rho_2} \left(9z\rho_2 \frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} \frac{(e^{\alpha t_{отн}} - 1)}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1)} + 8H_0(\rho_2 - \rho_1) \frac{e^{\alpha t_{отн}}}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1)^2} \right) e^{\frac{9z\rho_2}{2\rho_1 + \rho_2} t_{отн}}. \quad (2.42)$$

Для удобства решения уравнения (2.42) введем обозначения:

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{1}{2\rho_1 + \rho_2}, \quad Y = 9z\rho_2 \times \frac{1}{\sqrt{z_{кв}}}, \quad Q = 8H_0(\rho_2 - \rho_1), \\ \alpha &= 2H_0\sqrt{z_{кв}}, \end{aligned} \quad (2.43)$$

$$\beta = \frac{g}{f} = \frac{9z\rho_2}{2\rho_1 + \rho_2}. \quad (2.44)$$

Уравнение (2.42) с учетом введенных обозначений примет вид:

$$\tilde{c}'(t_{omn}) = \mu \left(Y \frac{(e^{\alpha t_{omn}} - 1)}{(e^{\alpha t_{omn}} + 1)} + Q \frac{e^{\alpha t_{omn}}}{(e^{\alpha t_{omn}} + 1)^2} \right) e^{\beta t_{omn}}. \quad (2.45)$$

Приводим дроби к общему знаменателю $(e^{\alpha t_{omn}} + 1)^2$:

$$\tilde{c}'(t_{omn}) = \mu \left(Y \frac{(e^{\alpha t_{omn}} - 1)(e^{\alpha t_{omn}} + 1)}{(e^{\alpha t_{omn}} + 1)^2} + Q \frac{e^{\alpha t_{omn}}}{(e^{\alpha t_{omn}} + 1)^2} \right) e^{\beta t_{omn}}.$$

Перемножая выражения в скобках числителя первой дроби, получим:

$$\tilde{c}'(t_{omn}) = \mu \left(Y \frac{(e^{2\alpha t_{omn}} - 1)}{(e^{\alpha t_{omn}} + 1)^2} + Q \frac{e^{\alpha t_{omn}}}{(e^{\alpha t_{omn}} + 1)^2} \right) e^{\beta t_{omn}}.$$

Добавляем элементы в числитель первой дроби до выражения квадрата суммы, получаем:

$$\tilde{c}'(t_{omn}) = \mu \left(Y \frac{e^{2\alpha t_{omn}} + 2e^{\alpha t_{omn}} + 1 - 2e^{\alpha t_{omn}} - 1 - 1}{(e^{\alpha t_{omn}} + 1)^2} + Q \frac{e^{\alpha t_{omn}}}{(e^{\alpha t_{omn}} + 1)^2} \right) e^{\beta t_{omn}}.$$

Делим первую дробь на две дроби, выделяя в числителе одной – квадрат суммы, в числителе другой – все остальное:

$$\tilde{c}'(t_{omn}) = \mu \left(Y \times \frac{(e^{2\alpha t_{omn}} + 2e^{\alpha t_{omn}} + 1)}{(e^{\alpha t_{omn}} + 1)^2} - Y \times \frac{2e^{\alpha t_{omn}} + 2}{(e^{\alpha t_{omn}} + 1)^2} + \frac{Q \times e^{\alpha t_{omn}}}{(e^{\alpha t_{omn}} + 1)^2} \right) e^{\beta t_{omn}};$$

Для наглядности перепишем предыдущее уравнение следующим образом:

$$\tilde{c}'(t_{omn}) = \mu \left(Y \times \frac{(e^{\alpha t_{omn}+1})^2}{(e^{\alpha t_{omn}+1})^2} - 2Y \times \frac{(e^{\alpha t_{omn}+1})}{(e^{\alpha t_{omn}+1})^2} + \frac{Q \times e^{\alpha t_{omn}}}{(e^{\alpha t_{omn}+1})^2} \right) e^{\beta t_{omn}}.$$

Сократив одинаковые выражения, получаем уравнение в виде:

$$\tilde{c}'(t_{omn}) = \mu Y e^{\beta t_{omn}} - \frac{2\mu Y e^{\beta t_{omn}}}{e^{\alpha t_{omn}+1}} + \frac{\mu Q e^{\alpha t_{omn}} e^{\beta t_{omn}}}{(e^{\alpha t_{omn}+1})^2}. \quad (2.46)$$

Проинтегрировав выражение, которое расположено после знака равенства, найдем $\tilde{c}(t_{omn})$.

Необходимо взять интеграл от каждого слагаемого, то есть:

$$\tilde{c}(t_{omn}) = \int \mu Y e^{\beta t_{omn}} dt - \int \frac{2\mu Y e^{\beta t_{omn}}}{e^{\alpha t_{omn}+1}} dt + \int \frac{\mu Q e^{\alpha t_{omn}} e^{\beta t_{omn}}}{(e^{\alpha t_{omn}+1})^2} dt. \quad (2.47)$$

Обозначим через c_1 , c_2 , c_3 решения, найденные посредством взятия интеграла соответственно от первого, второго и третьего слагаемых.

То есть $\tilde{c}(t_{omn}) = c_1 - c_2 + c_3$.

Находим решение по каждому слагаемому отдельно.

Взяв интеграл от первого слагаемого, найдем c_1 :

$$c_1 = \int \mu Y e^{\beta t_{omn}} dt = \mu Y \int e^{\beta t_{omn}} dt = \mu Y \frac{1}{\beta} e^{\beta t_{omn}} \quad (2.48)$$

Подставляя вместо μ , Y и β их значения, получим:

$$c_1 = \frac{1}{2\rho_1 + \rho_2} \times 9 z \rho_2 \times \frac{1}{\sqrt{Z_{KB}}} \times \frac{1}{\frac{9 z \rho_2}{2\rho_1 + \rho_2}} \times e^{\beta t_{omn}} = \frac{1}{\sqrt{Z_{KB}}} e^{\frac{9 z \rho_2}{2\rho_1 + \rho_2} \times t_{omn}}$$

В целях компактности обозначим $\frac{9 z \rho_2}{(2\rho_1 + \rho_2)}$ через β . Тогда решение по первому слагаемому c_1 примет вид:

$$c_1 = \frac{e^{\beta t_{омн}}}{\sqrt{Z_{кв}}} \quad (2.49)$$

Найдем решение c_2 , проинтегрировав второе слагаемое:

$$c_2 = 2\mu Y \int \frac{e^{\beta t_{омн}}}{(e^{\alpha t_{омн}} + 1)} dt \quad (2.50)$$

Для нахождения интеграла используем метод подстановки.

Обозначим
$$e^{\alpha t_{омн}} + 1 = x \quad (2.51)$$

Тогда $e^{\alpha t_{омн}} = x - 1 \Rightarrow \alpha t_{омн} = \ln|x - 1| \Rightarrow t_{омн} = \frac{1}{\alpha} \ln|x - 1| \quad (2.52)$

Дифференцируя это выражение, получим:

$$dt_{омн} = \frac{1}{\alpha} \frac{1}{x-1} dx \quad (2.53)$$

Проведем замену значений (2.51), (2.52) и (2.53) в выражении (2.50), упростим выражение путем преобразований.

В результате получим:

$$\begin{aligned} c_2 &= 2\mu Y \int \frac{e^{\beta t_{омн}}}{(e^{\alpha t_{омн}} + 1)} dt = 2\mu Y \int \frac{e^{\beta \frac{1}{\alpha} \ln|x-1|}}{x} \frac{1}{\alpha} \frac{1}{x-1} dx = 2\mu Y \frac{1}{\alpha} \int \frac{e^{\frac{\beta}{\alpha} \ln|x-1|}}{x(x-1)} dx = \\ &2\mu Y \frac{1}{\alpha} \int \frac{(x-1)^{\frac{\beta}{\alpha}}}{x(x-1)} dx = 2\mu Y \frac{1}{\alpha} \int \frac{(x-1)^{\frac{\beta}{\alpha}-1}}{x} dx \end{aligned} \quad (2.54)$$

Для нахождения полученного интеграла необходимо определить отношение $\frac{\beta}{\alpha}$.

Интеграл берется лишь в том случае, если β делится на α нацело.

Находим значение α , учитывая, что $H_0 = \frac{V_0 t_0}{2L}$, $V_0 = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_2}}$, $t_0 = \frac{a_c}{\omega R}$:

$$\alpha = 2H_0\sqrt{z_{кв}} = \frac{a_c}{\omega RL} \sqrt{\frac{2\Delta P \times z_{кв}}{\rho_2}} \quad (2.55)$$

Подставляя в уравнение (2.55) конкретные числовые значения величин, получим:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{1 \times 10^{-3}}{\frac{800}{60} \times 25 \times 10^{-3} \times 4 \times 10^{-3}} \times \sqrt{\frac{2 \times 0,9 \times 9,81 \times 10^4 \times z_{кв}}{720}} = \\ &= 3,75 \times \sqrt{0,589112956070533} = 3,75 \times 0,767536941176471 \\ &= 2,87826352941177 \end{aligned}$$

Имея $\alpha \approx 2,88$.

Теперь найдем значение β , учитывая, что $z = \frac{vt_0}{r^2}$, $t_0 = \frac{a_c}{\omega R}$

$$\beta = \frac{9z\rho_2}{(2\rho_1 + \rho_2)} = \frac{9va_c}{r^2\omega R} \frac{\rho_2}{(2\rho_1 + \rho_2)} \quad (2.56)$$

Подставив в уравнение (2.56) конкретные числовые значения величин, получим:

$$\beta = \frac{9 \times 1,0068 \times 10^{-6} \times 1 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-4} \times \frac{800}{60} \times 25 \times 10^{-3}} \times \frac{720}{2 \times 1000 + 720} = 2,87826352941177.$$

Или $\beta \approx 2,88$.

Получается $\alpha = \beta$ и отношение $\frac{\beta}{\alpha} = \frac{2,88}{2,88} = 1$.

Подставляя $\frac{\beta}{\alpha} = 1$ в формулу (2.54) для данного конкретного случая (для разработанного РПА и заданных для него режимов работы), получим:

$$c_2 = 2\mu Y \frac{1}{\alpha} \int \frac{(x-1)^{1-1}}{x} dx = 2\mu Y \frac{1}{\alpha} \int \frac{1}{x} dx = 2\mu Y \frac{1}{\alpha} \ln|x| = 2\mu Y \frac{1}{\alpha} \ln|e^{\alpha t_{омн}} + 1|$$

Итак, интеграл от второго слагаемого формулы (2.47) c_2 равен:

$$c_2 = 2\mu Y \frac{1}{\alpha} \ln|e^{\alpha t_{отн}} + 1| \quad (2.57)$$

Взяв интеграл от третьего слагаемого, найдем c_3 :

$$c_3 = \int \frac{\mu Q e^{\alpha t_{отн}} e^{\beta t_{отн}}}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1)^2} dt \quad (2.58)$$

Аналогично с решением интеграла (2.50) интеграл (2.58) будем находить, используя метод подстановки.

$$\text{Для этого обозначим} \quad e^{\alpha t_{отн}} + 1 = x \quad (2.59)$$

$$\text{Тогда } e^{\alpha t_{отн}} = x - 1 \Rightarrow \alpha t_{отн} = \ln|x - 1| \Rightarrow t_{отн} = \frac{1}{\alpha} \ln|x - 1| \quad (2.60)$$

Дифференцируя выражение (2.60), получим:

$$dt_{отн} = \frac{1}{\alpha} \frac{1}{x-1} dx \quad (2.61)$$

Заменим значения (2.59), (2.60) и (2.61) в интеграле (2.58), упростим интеграл путем преобразований:

$$c_3 = \mu Q \int \frac{(x-1)e^{\frac{\beta}{\alpha} \ln|x-1|}}{x^2} \frac{1}{\alpha} \frac{dx}{x-1} = \mu Q \frac{1}{\alpha} \int \frac{(x-1)e^{\frac{\beta}{\alpha} \ln|x-1|}}{x^2(x-1)} dx = \mu Q \frac{1}{\alpha} \int \frac{(x-1)^{\frac{\beta}{\alpha}}}{x^2} dx \quad (2.62)$$

Для $\frac{\beta}{\alpha} = 1$, то есть для данного конкретного случая (для разработанного РПА и заданных для него режимов работы) получим:

$$c_3 = \mu Q \frac{1}{\alpha} \int \frac{(x-1)^1}{x^2} dx = \mu Q \frac{1}{\alpha} \int \frac{x}{x^2} dx - \mu Q \frac{1}{\alpha} \int \frac{1}{x^2} dx = \mu Q \frac{1}{\alpha} \ln|x| - \mu Q \frac{1}{\alpha} \frac{1}{x}$$

Подставим в полученное выражение значение x из (2.59).

Таким образом, вычисленный интеграл от третьего слагаемого (формула 2.47) будет равен:

$$c_3 = \mu Q \frac{1}{\alpha} \ln|e^{\alpha t_{отн}} + 1| - \mu Q \frac{1}{\alpha e^{\alpha t_{отн}} + 1} \quad (2.63)$$

Подставим найденные значения всех слагаемых (c_1 , c_2 , c_3) в выражение $\tilde{c}(t_{отн}) = c_1 - c_2 + c_3$ и найдем $\tilde{c}(t_{отн})$.

$$\tilde{c}(t_{отн}) = \frac{e^{\beta t_{отн}}}{\sqrt{z_{кв}}} - 2\mu Y \frac{1}{\alpha} \ln|e^{\alpha t_{отн}} + 1| + \mu Q \frac{1}{\alpha} \ln|e^{\alpha t_{отн}} + 1| - \frac{\mu Q}{\alpha} \frac{1}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1)} \quad (2.64)$$

Определим решение неоднородного уравнения, подставив полученное значение $\tilde{c}(t_{отн})$ в уравнение (2.36):

$$\begin{aligned} U_{ин} &= \tilde{c}(t) e^{-\beta t_{отн}} = \\ &= \left[\frac{e^{\beta t_{отн}}}{\sqrt{z_{кв}}} - 2\mu Y \frac{1}{\alpha} \ln|e^{\alpha t_{отн}} + 1| + \mu Q \frac{1}{\alpha} \ln|e^{\alpha t_{отн}} + 1| - \frac{\mu Q}{\alpha} \frac{1}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1)} \right] e^{-\beta t_{отн}} \\ &= \left[\frac{e^{\beta t_{отн}} e^{-\beta t_{отн}}}{\sqrt{z_{кв}}} - \frac{2\mu Y \ln|e^{\alpha t_{отн}} + 1|}{\alpha e^{\beta t_{отн}}} + \frac{\mu Q \ln|e^{\alpha t_{отн}} + 1|}{\alpha e^{\beta t_{отн}}} - \frac{\mu Q}{\alpha} \frac{1}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1) e^{\beta t_{отн}}} \right]; \end{aligned}$$

Итак, решение неоднородного уравнения равно:

$$U_{ин} = \frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} - \frac{2\mu Y \ln|e^{\alpha t_{отн}} + 1|}{\alpha e^{\beta t_{отн}}} + \frac{\mu Q \ln|e^{\alpha t_{отн}} + 1|}{\alpha e^{\beta t_{отн}}} - \frac{\mu Q}{\alpha} \frac{1}{(e^{\alpha t_{отн}} + 1) e^{\beta t_{отн}}} \quad (2.65)$$

Зная решение однородного уравнения $U_{оо}$ и неоднородного уравнения $U_{ин}$, вычислим решение линейного неоднородного уравнения $U_{он}$.

Решение линейного неоднородного уравнения (2.29) будет равно:

$$U_{он} = U_{оо} + U_{ун} = e^{-\beta t_{омн}} c + \left[\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} - \frac{2\mu Y \ln|e^{\alpha t_{омн}} + 1|}{\alpha e^{\beta t_{омн}}} + \frac{\mu Q \ln|e^{\alpha t_{омн}} + 1|}{\alpha e^{\beta t_{омн}}} - \frac{\mu Q}{\alpha} \frac{1}{(e^{\alpha t_{омн}} + 1)e^{\beta t_{омн}}} \right], (2.66)$$

где $\alpha = 2H_0\sqrt{z_{кв}}$, $\beta = \frac{9z\rho_2}{(2\rho_1 + \rho_2)}$, $\mu = \frac{1}{2\rho_1 + \rho_2}$, $Y = 9z\rho_2 \frac{1}{\sqrt{z_{кв}}}$, $Q = 8H_0(\rho_2 - \rho_1)$. $H_0 = \frac{V_0 t_0}{2L}$, $t_0 = \frac{a_c}{\omega R}$, $V_0 = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_2}}$, $z = \frac{vt_0}{r^2}$, $U_{омн} = \frac{U}{V_0}$.

Значение $U_{он} = U_{омн}(t_{омн})$. То есть найдена теоретическая зависимость $U_{омн}(t_{омн})$. Для полного определения явной теоретической зависимости $U(t)$ в безразмерных величинах, то есть для определения $U_{омн}(t_{омн})$, необходимо в уравнении (2.66) определить значение постоянной величины интегрирования c .

Величина интегрирования c вычисляется из уравнения (2.66) при заданных начальных значениях $t_{омн}$ и $U_{омн}$ ($U_{он}$). Начальные значения $t_{омн} = 0$ и $U_{омн} = 1$. Подставляем эти значения в уравнение (2.66) и находим постоянную интегрирования c : $I = c + 4,08 - 5,66 - 1,16 + 0,84$.

Перенеся c в левую сторону, а все остальное в правую, получим:

$$c = I - 4,08 + 5,66 + 1,16 - 0,84 = 2,898, \text{ то есть } c \approx 2,9$$

Подставив это значение в уравнение (2.66), получим уравнение (2.67).

Таким образом, система дифференциальных уравнений решена аналитическим путем и явно найдена теоретическая зависимость $U_{омн}(t_{омн})$ и имеет вид:

$$U_{омн}(t_{омн}) = e^{-\beta t_{омн}} 2,898 + \left[\frac{1}{\sqrt{z_{кв}}} - \frac{2\mu Y \ln|e^{\alpha t_{омн}} + 1|}{\alpha e^{\beta t_{омн}}} + \frac{\mu Q \ln|e^{\alpha t_{омн}} + 1|}{\alpha e^{\beta t_{омн}}} - \frac{\mu Q}{\alpha} \frac{1}{(e^{\alpha t_{омн}} + 1)e^{\beta t_{омн}}} \right], (2.67)$$

где $\alpha = 2H_0\sqrt{z_{кв}}$; $\beta = \frac{9z\rho_2}{(2\rho_1 + \rho_2)}$; $\mu = \frac{1}{2\rho_1 + \rho_2}$; $Y = 9z\rho_2 \frac{1}{\sqrt{z_{кв}}}$;

$$Q = 8H_0(\rho_2 - \rho_1); \quad H_0 = \frac{V_0 t_0}{2L}; \quad t_0 = \frac{a_c}{\omega R}; \quad V_0 = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\rho_2}}; \quad z = \frac{vt_0}{r^2}.$$

С помощью разработанного программного продукта строим графическую зависимость для переменных t и U в безразмерных величинах, представленную на рисунке 2.1.

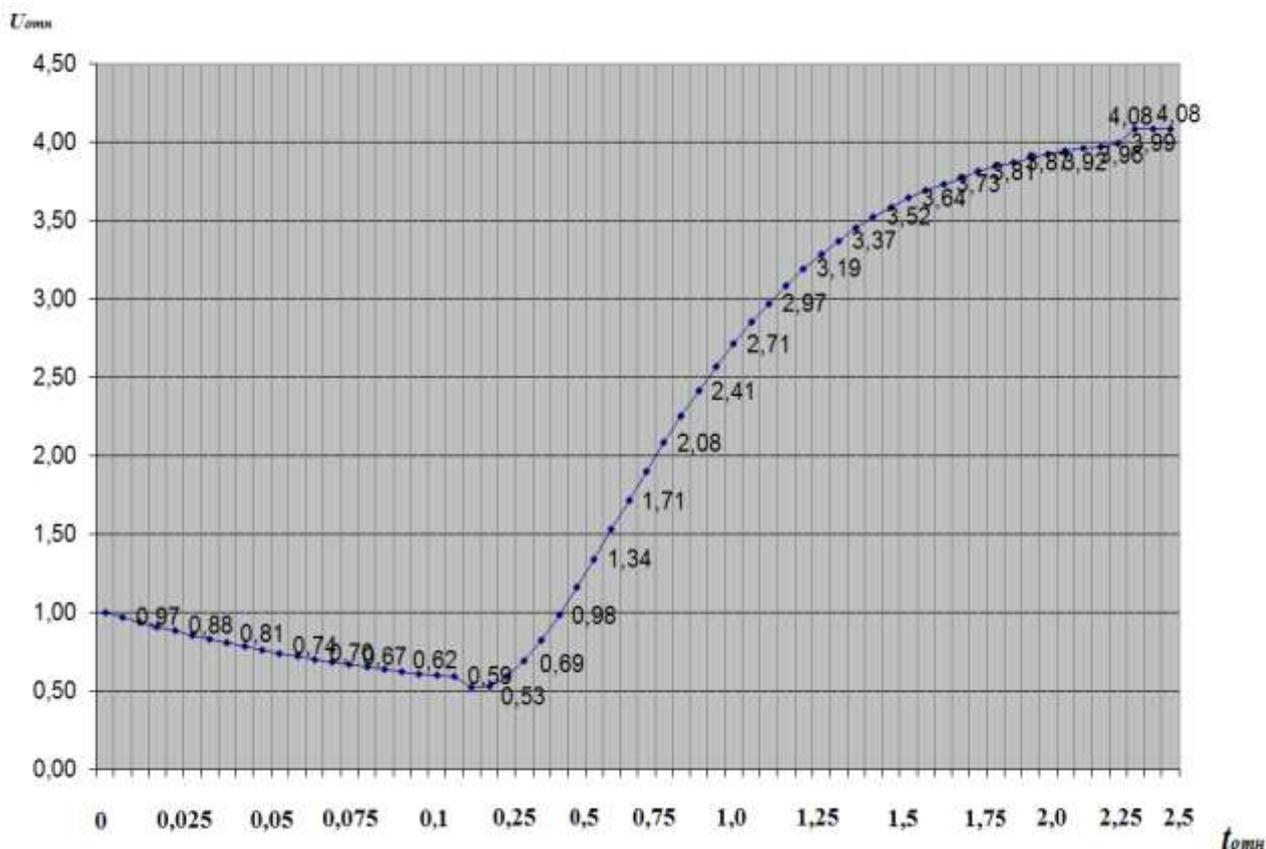


Рисунок 2.1– Зависимость $U_{отн} = f(t_{отн})$ для ВДС приготавливаемой на РПА № 7

Далее производим оценку максимального значения относительной скорости движения капли воды с точки зрения её дробления в движущемся потоке РПА. Критерием начала дробления следует считать достижение критического числа Вебера [70]:

$$We_{кр} = \frac{rU_{(отн)кр} \Delta \rho}{\sigma_{1,2}} \quad (2.68)$$

Из выражения (2.68) получим:

$$U_{(отн)кр} = \left(\frac{We_{кр} \sigma_{1,2}}{r \Delta \rho} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2.69)$$

Таким образом, началом дробления будет приниматься достижение критического числа Вебера: $We_{кр} = 0,47$ для водно-дизельной смеси.

Критическую скорость движения капель воды в РПА определим по формуле:

$$U_{кр} = U_{отн} V_o = \sqrt{\left(\frac{We_{кр} \sigma_{1,2}}{r \Delta \rho} \right) \frac{2 \Delta P}{\rho_2}}, \quad (2.70)$$

где r – радиус капли воды в ВДС; $U_{отн} = 0,4$ – критическая относительная скорость движения капли или относительная скорость, при которой становится возможным процесс дробления капли воды; $\Delta p = p_2 - p_1$ – разность плотностей дисперсной фазы и дисперсной среды, где капли воды распределены в топливе $\Delta p = 140 \dots 280$ кг/м³, $p_2 = 1000$ кг/м³ – плотность воды, $p_1 = 720 \dots 860$ кг/м³ – плотность топлива; $\sigma_{12} = 26,86 \cdot 10^{-3}$ Н/м – межфазное поверхностное натяжение биологической мембраны ВДС.

Из выражения (2.70) находим средний теоретический диаметр капли воды в ВДС, приготавливаемой на РПА:

$$\tilde{d}_{ср. теор.} = 2 \times \frac{We_{кр} \sigma_{1,2}}{U_{кр}^2 \Delta \rho} \quad (2.71)$$

Таким образом, по формуле 2.71 можно определить средний теоретический диаметр капли воды ($\tilde{d}_{(ср. теор.)}$) в ВДС, приготавливаемой на РПА с учетом конструктивных особенностей и размеров аппарата, учитываемых в формуле 2.4.

Полученная формула (2.71) позволяет определить средний теоретический диаметр капель воды в ВДС, приготавливаемой на разработанном РПА №7, в зависимости от его конструктивных параметров (ширины отверстия статора, радиуса ротора, гидравлического сопротивления модулятора) и режимов работы аппарата. Для реализации данной математической модели была разработана компьютерная программа для ЭВМ № 2021614518.

2.2. Методика по обоснованию рационального состава водно-дизельной смеси для дизельного двигателя внутреннего сгорания

Методика по обоснованию рационального состава ВДС с учетом влияния состава и дисперсности ВДС на эксплуатационные и экологические показатели ДВС будет заключаться в следующем:

- построение модели, адекватно описывающей изучаемый процесс;
- формализация и исследование моделируемого процесса с определением необходимых аппроксимаций;
- построение обобщённой схемы процесса;
- создание алгоритма и разработка программного комплекса;
- проведение расчётов на ЭВМ;
- определение математических и графических зависимостей эксплуатационных и экономических показателей двигателя от состава и дисперсности ВДС при различных режимах работы двигателя;
- разработка рекомендаций по практическому применению технологии приготовления ВДС, ее рациональному составу для дизеля с учетом различных условий эксплуатации АТТ.

2.2.1. Влияние состава и дисперсности водно-дизельной смеси на эксплуатационные и экологические показатели двигателя

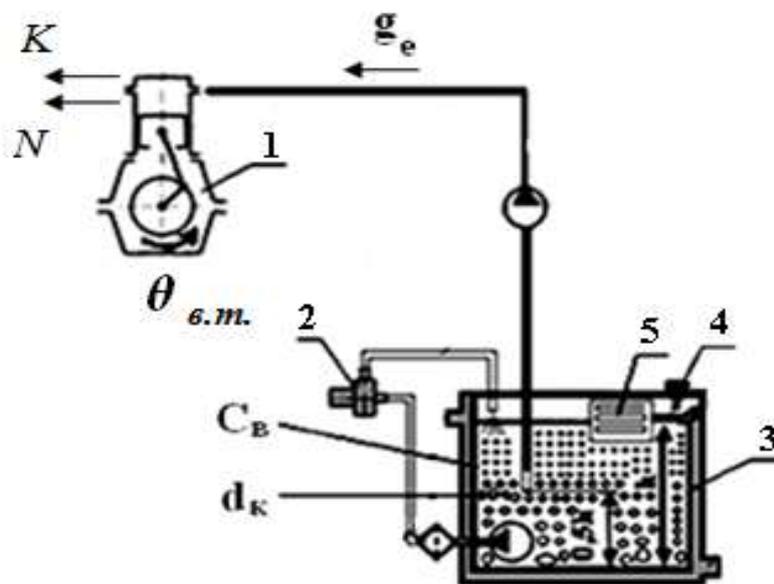
Анализ работ [84 – 86] показывает, что для изучения процессов, протекающих в ДВС и его системах, используются различные математические модели и методики. В данной работе предлагается разработать методику по обоснованию рационального состава ВДС для дизельного двигателя, в которой целесообразно применить раздел математической статистики.

Для оценки влияния состава и качества ВДС на эксплуатационные и экологические показатели дизеля был реализован полный факторный эксперимент

с целью определения удельного расхода топлива ДВС и содержания токсичных веществ в ОГ двигателя.

Исследуемая ВДС без применения дорогостоящего эмульгатора готовится разработанными устройствами, входящими в состав модернизированной системы питания ДВС (рисунок 2.2).

Задача сводится к определению рационального количества воды в ВДС и средних размеров её капель, при которых достигается максимальное улучшение эксплуатационных и экологических показателей ДВС без значительного ухудшения мощностных параметров двигателя путем изменения угла опережения впрыска топлива.



1 – ДВС; 2 – РПА; 3 – смесительная ёмкость; 4 – запорная игла ДВС; 5 – поплавок;
 g_e – удельный эффективный расход топлива ДВС; $\theta_{в.т.}$ – угол опережения впрыска топлива; K – диапазон измерения дымности в единицах коэффициента поглощения;
 N – диапазон измерения дымности в единицах коэффициента ослабления;
 d_k – диаметр капель водной фазы в ВДС; C_v – содержание водной фазы в топливе

Рисунок 2.2 – Принципиальная схема модернизированной системы питания ДВС

Основные факторы, влияющие на показатели работы ДВС, представлены на рисунке 2.3.

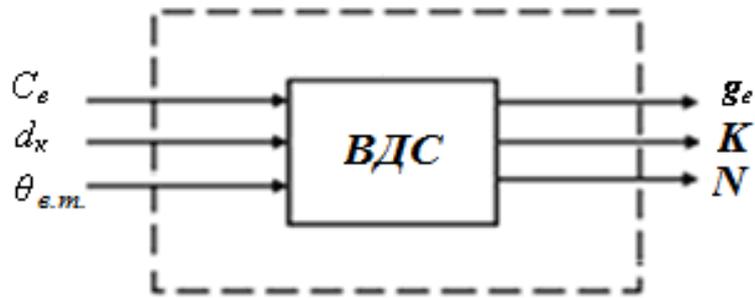


Рисунок 2.3 – Схема входных и выходных факторов

Выбираются основные входные (управляемые) факторы, определяющие рецептуру и технологические режимы приготовления ДВС: C_e – содержание воды в топливе, %; d_k – средний диаметр капель воды в ДВС, мкм; $\theta_{e.m.}$ – угол опережения впрыска топлива, градус поворота коленчатого вала (град. п.к.в.) ДВС.

За выходные факторы принимаются показатели работы ДВС: удельный расход топлива ДВС g_e , г/кВт ч; K – диапазон измерения дымности в единицах коэффициента поглощения, m^{-1} ; N – диапазон измерения дымности в единицах коэффициента ослабления, %.

За основу был принят план полного факторного эксперимента (ПФЭ) [84–86], показанного на рисунке 2.4.

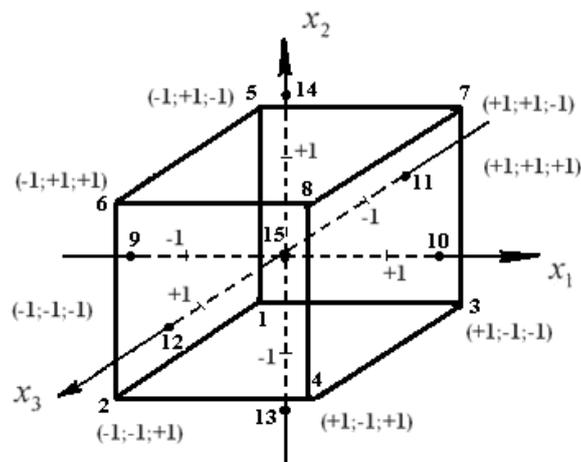


Рисунок 2.4 – Графическое изображение ПФЭ

Число повторяющихся опытов определялось по выражению:

$$N = N_I + N_{II} + N_{III}, \quad (2.72)$$

где $N_I = 2^R = 8$ – число всех возможных наблюдений; $N_{II} = 2R = 6$, где R – количество факторов; $N_{III} = 6$; тогда $N = 20$, а плечо $r = 2^{R/4} = 1,682$.

Значения управляемых факторов, представленных в таблице 2.1, выбираются на основе анализа работ, проведенных в разделе 1.

Таблица 2.1. – Предельные значения входных (управляемых) факторов

Входной (управляемый) фактор	Значение факторов	
	Нижнее x_{in}	Верхнее x_{ie}
C_v , %	5	20
d_k , мкм	2	120
$\theta_{в.т.}$, град. п. к.в. ДВС	2	10

Уровни выходных факторов и интервалы варьирования отображены в таблице 2.2.

Таблица 2.2. – Уровни входных факторов и интервалы варьирования

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

При установке уровней факторов в каждой точке, получается план ПФЭ на основе проведения экспериментальных исследований (таблица 2.3).

Таблица 2.3. – План полного факторного эксперимента ПФЭ

№ испытания	Кодированное обозначение			Натуральные величины		
	x_1	x_2	x_3	$C_v, \%$	$d_{к, мкм}$	$\theta_{в.т.},$ град. п.к.в.
1	-1	-1	-1	7	25	4
2	-1	+1	-1	7	95	4
3	+1	-1	-1	17	25	4
4	+1	+1	-1	17	95	4
5	-1	-1	+1	7	25	8
6	-1	+1	+1	7	95	8
7	+1	-1	+1	17	25	8
8	+1	+1	+1	17	95	8
9	-1,682	0	0	5	60	6
10	+1,682	0	0	20	60	6
11	0	-1,682	0	12	2	6
12	0	+1,682	0	12	115	6
13	0	0	-1,682	12	60	2
14	0	0	+1,682	12	60	10
15	0	0	0	12	60	6
16	0	0	0	12	60	6
17	0	0	0	12	60	6
18	0	0	0	12	60	6
19	0	0	0	12	60	6
20	0	0	0	12	60	6

После построения плана ПФЭ (таблица 2.3) необходимо проверить его адекватность.

Устанавливается влияние трех факторов ($R = 3$), $x_i (i = \overline{1, R})$ на некоторую реакцию y_i в определенной области факторного пространства. Тогда моделью влияния состава и дисперсности ВДС на показатели ДВС будут следующие уравнения:

$$y_{ge} = f_m(x_1, x_2, x_3); \quad y_K = f_m(x_1, x_2, x_3); \quad y_N = f_I(x_1, x_2, x_3) \quad (2.73)$$

Каждая из этих функций y_{ge}, y_{CO}, y_{CH} будет иметь вид [85]:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^3 b_i x_i + \sum_{i>j}^3 b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^3 b_{ii} x_i^2, \quad (2.74)$$

В результате проведенного эксперимента получается уравнение регрессии:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2. \quad (2.75)$$

Приведенные коэффициенты при членах зависимости (2.75) рассчитываются по формулам [84]:

$$b_0 = a_0 \sum_{u=1}^N y_u - a_4 \sum_{i=1}^R \sum_{u=1}^{N-N_{III}} x_{iu}^2 y_u; \quad b_i = a_1 \sum_{u=1}^{N-N_{III}} x_{iu} y_u;$$

$$b_{ij} = a_2 \sum_{u=1}^{N_I} x_{iu} x_{ju} y_u; \quad b_{ii} = \frac{a_2}{2} \sum_{u=1}^{N-N_{III}} x_{iu}^2 y_u + a_3 \sum_{i=1}^R \sum_{u=1}^{N-N_{III}} x_{iu}^2 y_u - a_4 \sum_{u=1}^N y_u, \quad (2.76)$$

Усредненная оценка результата u -го опыта определяется следующим выражением:

$$\bar{y}_u = \frac{1}{m_u} \sum_{k=1}^{m_u} y_{uk} \quad (2.77)$$

Оценка дисперсии осуществляется по зависимости:

$$S^2(y_{uk}) = \frac{\sum_{k=1}^m (y_{uk} - \bar{y}_u)^2}{m-1} \quad (2.78)$$

Однородность оценок дисперсий производится с помощью критерия Кохрена G :

$$G = \frac{[S^2(y_{uk})]_{\max}}{\sum_{u=1}^N S^2(y_{uk})} \quad (2.79)$$

Средняя оценка дисперсии определяется по зависимости:

$$S^2(y_k) = \frac{\sum_{u=1}^N S^2(y_{uk})}{N} = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{k=1}^m (y_{uk} - \bar{y}_u)^2}{N(m-1)} \quad (2.80)$$

Она была в m раз меньше дисперсии $S^2(y_k)$ в каждой строке, тогда получаем:

$$S^2(\bar{y}) = \frac{S^2(y_k)}{m} = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{k=1}^m (y_{uk} - \bar{y}_u)^2}{N(m-1)m} \quad (2.81)$$

Проверка адекватности модели производится по критерию Фишера – F при сравнении с табличным значением:

$$F = \frac{S_{a0}^2}{S^2(y)} \langle F_T(P; f_1; f_2) \quad (2.82)$$

Оценкой квадратичного эффекта определяется по выражению:

$$|\bar{y}_0 - b_0| = \sum_{k=1}^n b_{ii} \quad (2.83)$$

Используя закон накопления ошибок получаем следующую зависимость:

$$S^2(b_i) = \frac{\left(\sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \right)'}{\Delta} S^2(y), \quad (2.84)$$

где $\left(\sum_{u=1}^N x_{iu}^2 \right)'$ – алгебраическое дополнение диагонального элемента $\sum_{u=1}^N x_{iu}^2$ в определителе системы нормальных уравнений Δ ; $S^2(y)$ – оценка дисперсии воспроизводимости результатов опыта.

Средняя оценка дисперсии определяется выражением:

$$S^2(\bar{y}) = \frac{\sum_{u=1}^N \sum_{k=1}^m (y_{uk} - \bar{y}_u)^2}{N(m-1)} \quad (2.85)$$

с числом степеней свободы $f = N(m-1)$.

Тогда: $S^2(b_0) = a_0 S^2(y)$; $S^2(b_i) = a_1 S^2(y)$; $S^2(b_{ij}) = a_2 S^2(y)$; $S^2(b_{ii}) = a_3 S^2(y)$.

Тогда окончательно для ПФЭ 2³:

$$S^2(b_i) = 0,07322 S^2(y); S^2(b_{ij}) = 0,125 S^2(y); S^2(b_{ii}) = 0,0597 S^2(y). \quad (2.86)$$

Подводя итог можно сделать вывод, что спланированный ПФЭ позволяет выявить влияние двух факторов (при их одновременном варьировании) на выход в зависимости от уровня их нахождения.

2.3. Разработка алгоритмов описания физических процессов приготовления водно-дизельной смеси

На первом этапе моделирования влияния состава и качества ВДС на основные показатели ДВС разрабатывается алгоритм №1 и комплекс программ для ПФЭ исследуемого процесса, который предусматривает нахождение уравнений регрессии первого порядка и осуществление статистического анализа значимости полученных коэффициентов уравнений.

Схема алгоритма №1 для нахождения уравнения регрессии первого порядка состоит из следующих блоков:

1. Формирования данных с целью получения уравнений 1-го порядка.
2. Расчета коэффициентов математических зависимостей.
3. Построения математической зависимости 1-го порядка
4. Анализ значимости коэффициентов уравнений и проверка их адекватности.
5. Построения графических зависимостей по уравнениям 1-го порядка.

На второй стадии был разработан алгоритм №2 и комплекс программ для центрального композиционного ротатабельного униформплана изучаемого процесса, который предусматривает нахождение уравнений регрессии второго порядка и статистический анализ значимости полученных коэффициентов уравнения. Логическая схема или схема управления алгоритма №2 представлена на рисунке 2.5 и состоит из следующих блоков:

1. Формирования данных с целью получения уравнений 2-го порядка.

2. Расчета коэффициентов математических зависимостей.
3. Построения математической зависимости 2-го порядка
4. Анализ значимости коэффициентов уравнений и проверка их адекватности.
5. Построения графических зависимостей по уравнениям 2-го порядка.

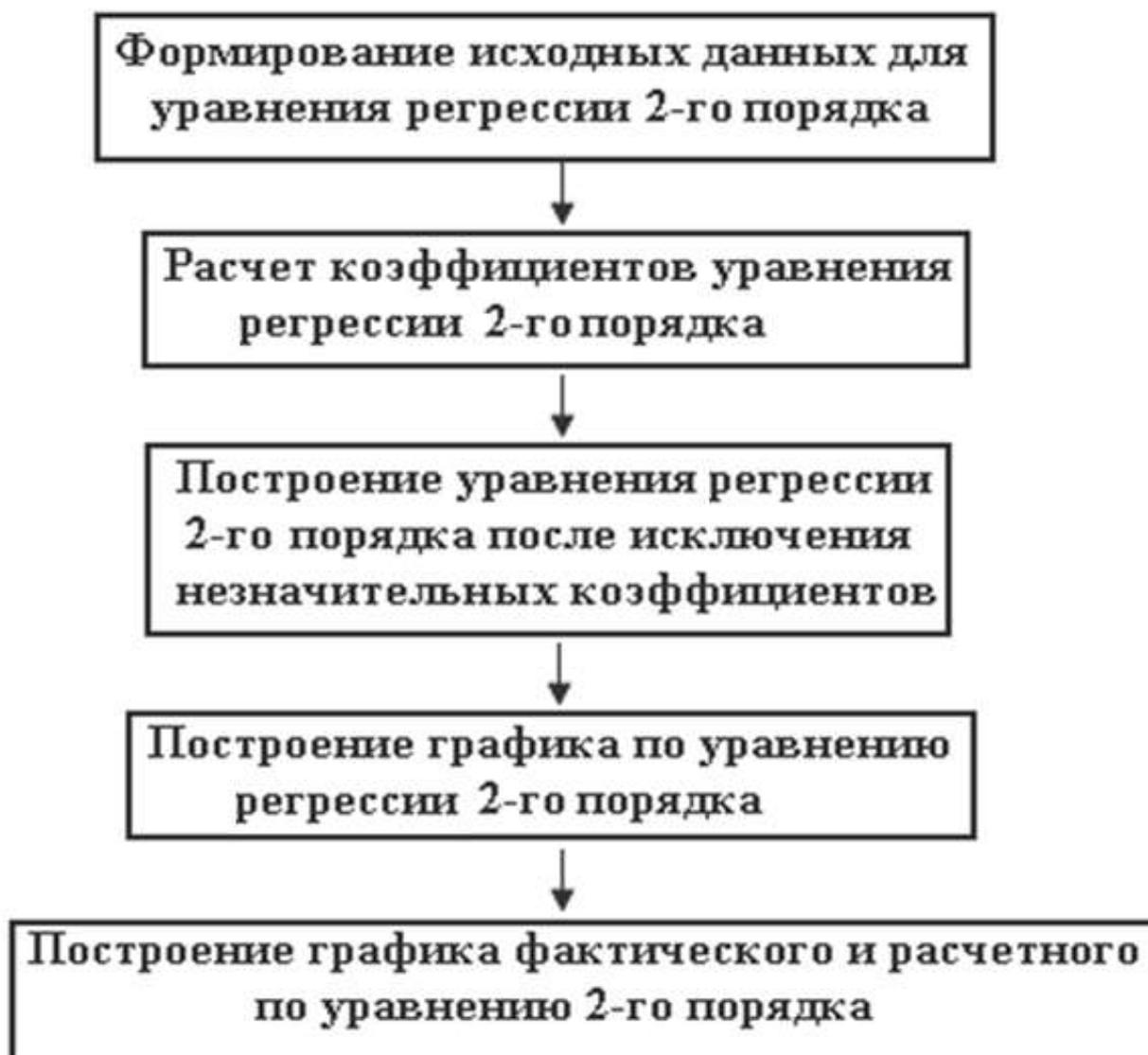


Рисунок 2.5 – Логическая схема алгоритма №2 для нахождения уравнения регрессии второго порядка

Каждый из этих блоков включает в себя программы, укрупнённые блок - схемы (рисунки 2.5 – 2.8), где в качестве примера рассмотрена логическая схема программы для ЭВМ № 2021614518 для удельного расхода топлива g_e .

Укрупненная блок-схема алгоритма «Формирование данных для получения уравнения регрессии 2-го порядка» представлена на рисунке 2.6.

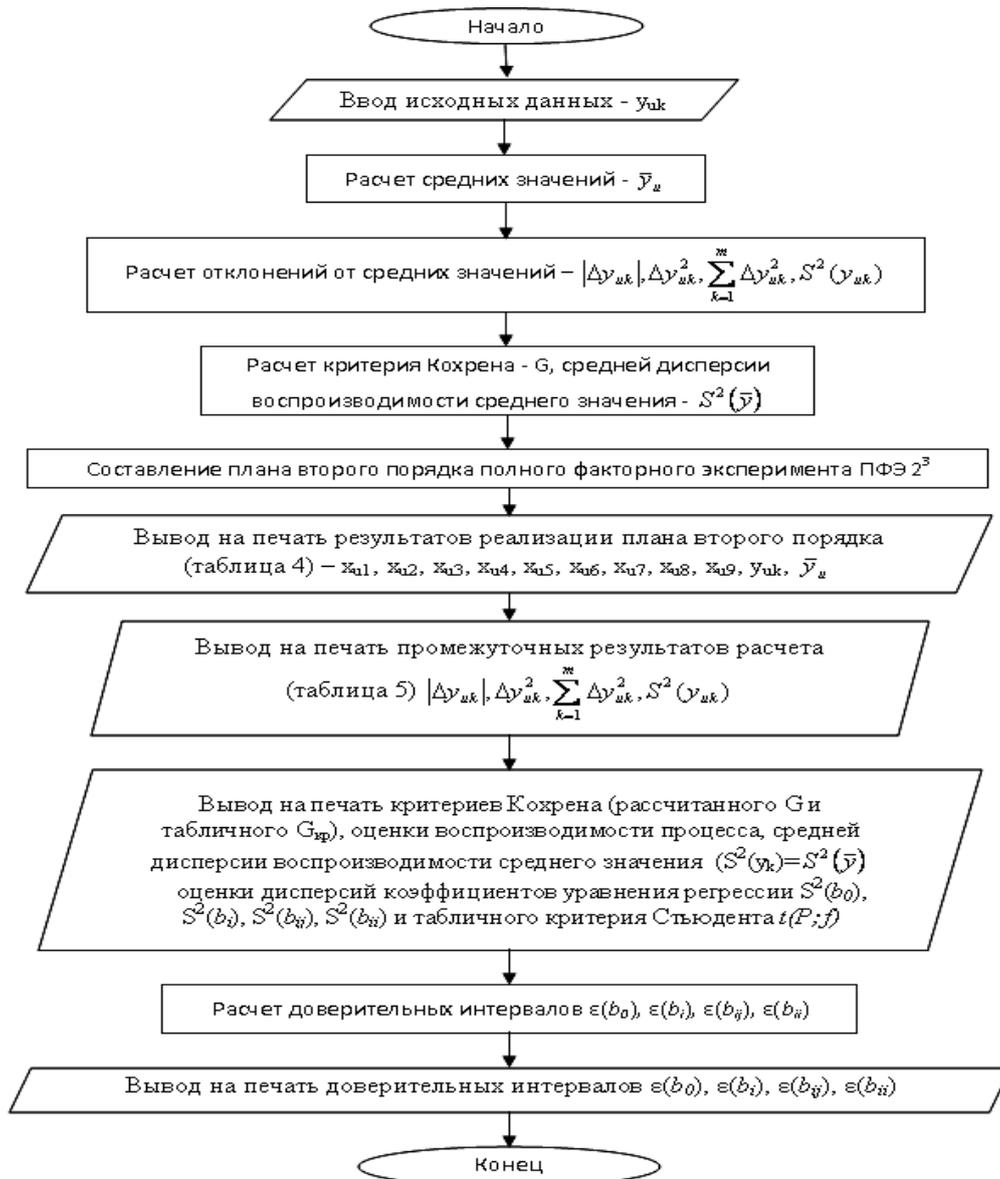


Рисунок 2.6– Укрупненная блок-схема алгоритма «Формирование данных для получения уравнения регрессии 2-го порядка»

Здесь рассчитывается количество наблюдений для уравнения регрессии 2 по формуле $N = 2^R + 2 \times R + N_{iii}$ [$n_o = 20$], количество переменных $R \times R$ [$n_x = 9$] для x и количество степеней свободы $(m-1) \times N$ [$f_l = 40$] по количеству уровней 2 [k_c], количеству факторов R [$k = 3$], некоторому числу N_{iii} повторностей в центре плана [$n_z = 6$] и количеству опытов для y_m [$n_y = 3$], которые вводятся.

Вводится экономическая характеристика ДВС – Y (удельный расход топлива g_e , г/кВт ч) [$n_y \times n_o$], находятся средние значения по трём опытам для каждого

наблюдения. Затем определяются отклонения средних значений от y по абсолютной величине, квадраты отклонений, суммы квадратов отклонений, построчные дисперсии воспроизводимости единичного результата измерения в каждом опыте $S^2(y_{uk})$. Рассчитывается критерий Кохрена [G]. Заполняется x по плану второго порядка ПФЭ.

Выводятся на печать рассчитанное [G] и выбираемое табличное критическое значение критерия Кохрена [G_{tab}]. При их сравнении, делается вывод о воспроизводимости опытов и всего процесса. Рассчитываются $S^2(b_0)$, $S^2(b_i)$, $S^2(b_{ij})$, $S^2(b_{ii})$ и выводятся на печать. Выбирается критерий Стьюдента [t] из таблицы по уровню значимости [$P = 0,05$] и числу степеней свободы [f] и выводится на печать. Рассчитываются доверительные ошибки коэффициентов уравнения регрессии $\varepsilon(b_0)$, $\varepsilon(b_i)$, $\varepsilon(b_{ij})$, $\varepsilon(b_{ii})$ и выводятся на печать.

Укрупненная блок-схема моделирующего алгоритма «Построение графической зависимости по уравнению регрессии 2-го порядка» представлена на рисунке 2.7.

На данном этапе вводятся данные основного уровня и интервалов варьирования для содержания водного компонента в топливе – C_v , %; среднего диаметра капель водного компонента в ВДС – d_k , мкм; угла опережения впрыска топлива – $\theta_{в.т.}$, град. п.к.в. Находятся пять точек (плечо варьирования, основной уровень – интервал, основной уровень, основной уровень + интервал, + плечо) для C_v , d_k , $\theta_{в.т.}$

Вводится свободный член b_0 , коэффициенты регрессии полученного уравнения регрессии b_i . Задается x – массив значений независимых переменных; для первой прямой $C_v = [-1.68, -1, 0, 1, 1.68]$, значения d_k , $\theta_{в.т.}$ нулевые; для второй прямой $d_k = [-1.68, -1, 0, 1, 1.68]$, значения C_v , $\theta_{в.т.}$ нулевые; для третьей прямой $\theta_{в.т.} = [1.68, -1, 0, 1, 1.68]$, значения C_v , d_k нулевые. Подставляя в уравнение регрессии заданные x , получаем y .

Все выводится на печать. По полученным y (три столбца) строится график. На графике выводятся три прямые – $y(C_v)$, $y(d_k)$, $y(\theta_{в.т.})$.

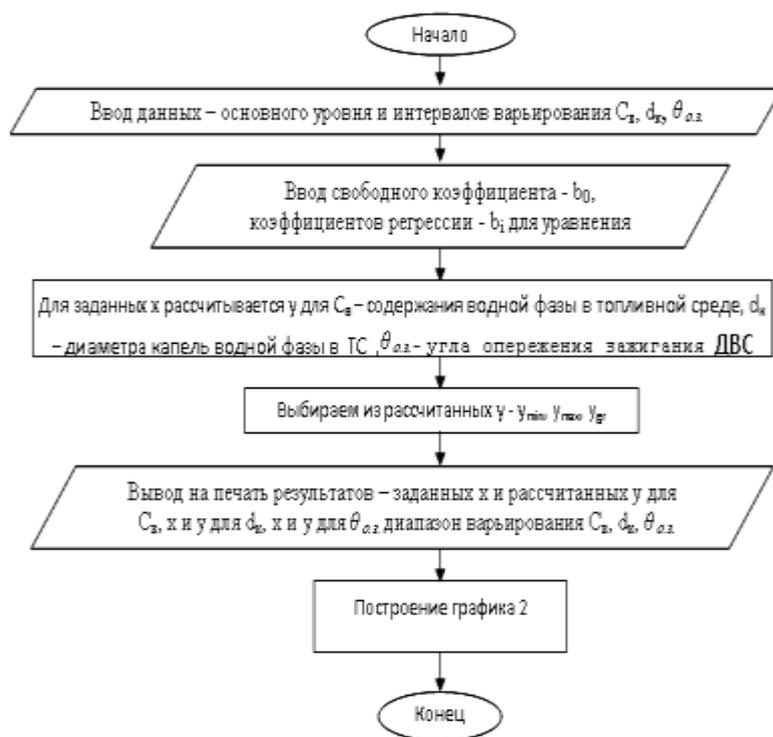


Рисунок 2.7– Укрупненная блок-схема моделирующего алгоритма «Построение графической зависимости по уравнению регрессии 2-го порядка»

Укрупненная блок-схема алгоритма «Построение графической зависимости 2» представлена на рисунке 2.8.

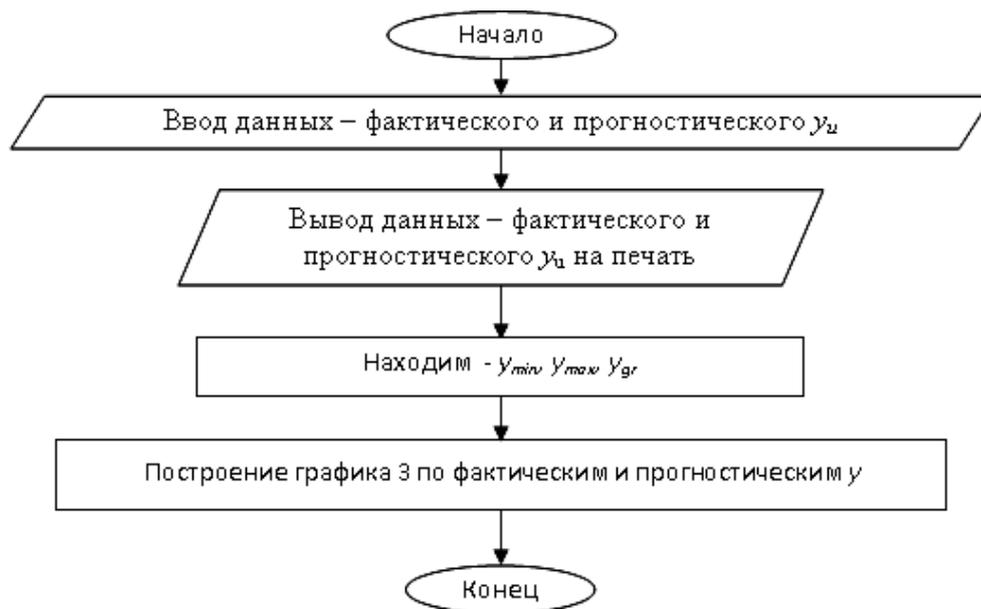


Рисунок 2.8– Укрупненная блок-схема алгоритма «Построение графической зависимости 2»

Вводятся данные (удельный расход топлива ДВС – g_e , г/кВт ч; диапазон измерения дымности в единицах коэффициента поглощения – K , м⁻¹; диапазон измерения дымности в единицах коэффициента ослабления – N , %). Находятся минимальное и максимальное значения u для оси ординат. По N значениям $u_{фак}$ и $u_{прог}$ строятся графики.

На основе разработанного алгоритма составлена программа для ЭВМ № 2021614518, реализующая этот разработанный алгоритм на компьютере.

Программа разрабатывается с использованием Microsoft Excel на языке программирования Visual Basic, который поставляется с установкой Microsoft Office в операционных системах Windows. Используется стандартный графический интерфейс Microsoft Excel, который позволяет создавать графические модели объектов и даёт наглядное представление об эксплуатации разработанных технических средств (устройств).

Таким образом, разработан алгоритм №2 для второго этапа моделирования влияния состава и качества ВДС на основные показатели ДВС и комплекс программ для центрального композиционного униформплана исследуемого процесса, которые позволяют определить уравнения регрессии второго порядка и осуществить статистический анализ значимости полученных коэффициентов уравнений регрессии.

3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Методика представляет собой совокупность последовательных этапов, заключающихся:

- в определении рациональной конструкции аппарата динамического принципа действия для приготовления ВДС и режима его работы, который позволит получать ВДС необходимого состава и дисперсности, обеспечивающую работу ДВС в соответствии с техническим паспортом завода-изготовителя;

- в разработке технологии приготовления ВДС и технических устройств для ее реализации в системе питания дизеля, позволяющих получать непосредственно на АТТ высокодисперсную ВДС необходимого состава и подавать приготовленную смесь в штатную систему питания параллельно, существенно не изменяя ее конструкцию;

- в определении эксплуатационных и экологических показателей ДВС в зависимости от состава и дисперсности ВДС без добавления эмульгатора при проведении минимального числа опытов с максимально возможным сочетанием исследуемых характеристик на основе полного факторного эксперимента.

3.1. Разработка экспериментальной установки для исследования малообъёмных аппаратов динамического принципа действия

Экспериментальные исследования на первом этапе заключаются в выборе рациональной конструкции аппаратов, которые позволят получать ВДС необходимого состава и дисперсности, пригодную для использования в ДВС, а также режимов их работы. Экспериментальные исследования на этом этапе проводятся на разработанной экспериментальной установке.

Предварительно проведенные экспериментальные исследования позволили выбрать и сконструировать технические средства (устройства) – дозатор-смеситель и динамический РПА, которые в дальнейшем используются на другой экспериментальной установке для проведения второго этапа исследований.

На втором этапе разрабатывается технология приготовления и подачи ВДС в дизель, которая позволит получать высокодисперсную ВДС необходимого состава и далее подавать такую смесь в штатную систему питания ДВС параллельно, без существенного изменения ее конструкции.

На третьем этапе определяется зависимость эксплуатационных и экологических показателей ДВС от состава и дисперсности ВДС с водным компонентом без применения эмульгаторов. Результатом данных исследований является разработка системы приготовления и подачи ВДС в ДВС. Сущность данных экспериментальных исследований заключается в проведении минимального числа экспериментов с максимально возможным сочетанием значений исследуемых факторов. Экспериментальные исследования проводятся в виде серии опытов и наблюдений с использованием экспериментальной установки с дизельным двигателем ЯМЗ-236 HE.

На четвертом этапе проводятся эксплуатационные испытания разработанной системы приготовления и подачи ВДС на дизельном двигателе АТТ.

В ходе проведенных на установке для исследований динамических аппаратов разных видов и принципов действия проводились изменения следующих входных параметров: давления на входе для аппаратов; процентного содержания водной фазы в ВДС; числа оборотов ротора РПА.

В процессе приготовления ВДС на экспериментальной установке смешиваемые компоненты (дизельное топливо и вода) дозируются в нужной пропорции и заливаются в ёмкость. Температура ВДС задается в ранее обоснованных пределах 50 – 60°С на основании работы [14, 47] путем нагрева жидкости в ёмкости с последующим ее поддержанием в указанных пределах. Изменение входного давления в РПА осуществляется переключением насосов, развивающих в исследуемом диапазоне рабочее давление. Процесс смешивания происходит по цикличному, замкнутому принципу с целью получения однородной и стабильной ВДС заданной дисперсности при установленной дозировке воды в дизельном топливе.

При проведении предварительных экспериментальных исследований решалась задача разработки и конструирования роторно-пульсационного аппарата для приготовления «тонкой» ВДС, с применением которого была создана экспериментальная установка с дизельным двигателем ЯМЗ-236 HE.

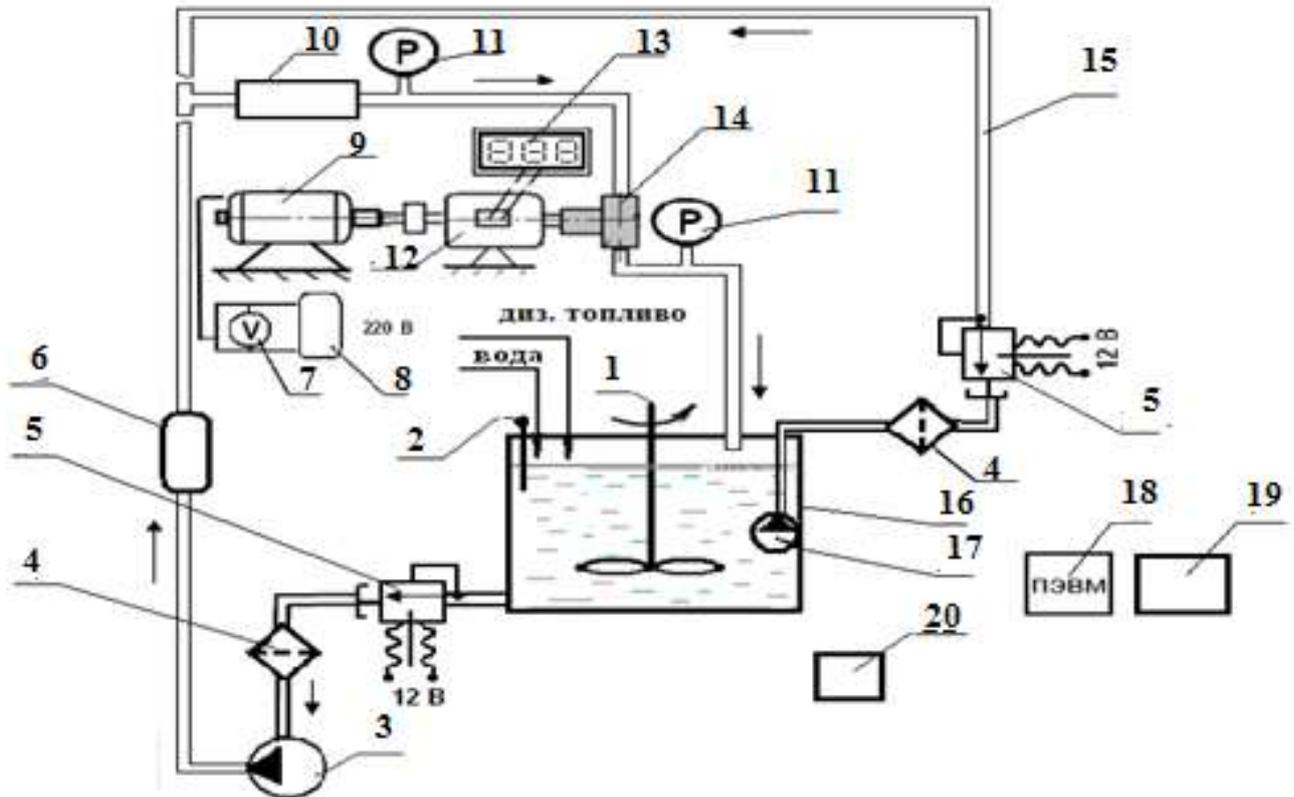
Экспериментальные исследования на этой установке при определении эксплуатационных (удельный расхода топлива) и экологических (содержание сажи) показателей ДВС проводились в строгом соответствии с требованиями ГОСТ 014846-81, ГОСТ Р 31967-2012, ГОСТ Р 33997-2016 [87, 88, 89]. Температура охлаждающей жидкости и масла в ДВС поддерживалась в пределах, указанных в технических условиях на данный двигатель.

Контроль технологических режимов приготовления ВДС и режимов работы двух экспериментальных установок осуществлялся с помощью обоснованно выбранных средств измерений (таблица 3.1) на основании требований следующих стандартов ГОСТ 14846-81, ГОСТ Р 52408-2014, ГОСТ Р 31967-2012, ГОСТ Р 54810-2011, ГОСТ 22576-1990 [87 – 95].

Таблица 3.1. – Перечень применяемых при исследовании стандартных средств измерений

№ п/п	Наименование средств измерений	Единица измерения	Диапазон измерения
1	Термометр	°С	0 ÷ 200
2	Преобразователь электрический	В	0 ÷ 300
3	Тахометр контактный(МЕГЕОН-18002)	об/мин	0 ÷ 10000
4	Вольтметр	В	0 ÷ 250
6	Механический манометр	МПа	0 ÷ 0,1
7	Секундомер	сек.	0÷~
8	Расходомер VZO 4-RE	л/ч	5÷100
9	Газоанализатор АВТОТЕСТ-01.04М	об/мин	0÷8000
		%	0÷7
		%	0÷100

Разработанная экспериментальная установка для исследования РПА представляет собой испытательный стенд, принципиальная схема которого представлена на рисунке 3.1, и предназначена для исследования малообъёмных аппаратов динамического принципа действия.



- 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 3.1 – Принципиальная схема экспериментальной установки

На данном этапе объектом исследований является ВДС, а предметом исследований – состав и дисперсность ВДС. При проведении исследований определялись следующие параметры:

- процентное содержание водной фазы в ВДС в зависимости от времени до расслоения воды в смеси при приготовлении на различных аппаратах;

- средние диаметры капель водной фазы, получаемые на каждом аппарате, в зависимости от различных параметров их работы;

- концентрации водной фазы в дизельном топливе и температуры процесса приготовления ВДС.

Также установка позволяет управлять следующими параметрами: частотой вращения ротора РПА (от 350 до 1100 об/мин); количеством подаваемых компонентов вручную и автоматически; давлением на входе в РПА (от 0,015 до 0,28 МПа). На данной установке производились исследования 7 различных конструкций аппаратов динамического принципа действия.



Рисунок 3.2 – Внешний вид экспериментальной установки

При проведении испытаний установка работает в периодическом режиме приготовления ВДС. Смешиваемые компоненты в необходимой пропорции заливаются в ёмкость (16) и подаются насосом (3) или (17) в аппарат (14) и циркулируют по кругу. Время приготовления ВДС замеряется секундомером.

Экспериментальные исследования осуществляются в следующей последовательности: предварительно дозируются компоненты (дизельное топливо и вода) и заливаются в ёмкость (16); включаются лопастная мешалка (1) в ёмкости (16), электрический (17) или механический насос (30) (в зависимости от нужного входного давления), который подает компоненты в исследуемый аппарат (14), привод которого осуществляется от электродвигателя (9); компоненты перемешиваются в аппарате (14) и в ёмкость (16) поступает уже готовая ВДС.

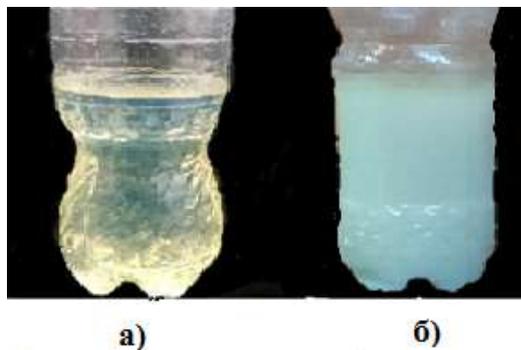
Характеристики снимаются и фиксируются в разработанных формализованных таблицах по методике, описанной в работах [1, 31].

Данная установка позволяет изменять следующие параметры:

- процентное содержание воды в ВДС, которое изменялось от 5 до 20% с интервалом 5% по отношению к объёму топлива;
- время обработки в аппаратах;
- давление на входе в аппарат путем переключения насосов;
- число оборотов электродвигателя при помощи преобразователя напряжения.

Обороты электродвигателя (16) определяются индукционным датчиком (18) и отображались на мониторе электронного тахометра (8). Давление на входе и выходе аппаратов контролировалось при помощи механических манометров (7). Температура ВДС в ёмкости (2) создается нагревательным элементом (11) и контролируется при помощи термометра (4). Отбор проб осуществляется забором приготовленной ВДС из ёмкости 2 с последующим анализом ее дисперсности (определения диаметра капель воды) с помощью цифрового микроскопа (19) до 400-кратного увеличения и ПВЭМ (13) с установленным программным продуктом «Levenuk Lite» для обработки полученных результатов.

Для приготовления ВДС используются компоненты – дизельное топливо и дистиллированная вода, которые смешиваются за один цикл обработки что соответствует реальным условиям при применении ее в системе питания ДВС АТТ. Внешний вид полученной ВДС представлен на рисунке 3.3.



а) – дизельное топливо; б) – водно-дизельная смесь

Рисунок 3.3 – Внешний вид образцов топлива и ВДС

При проведении исследований разработана экспериментальная установка для исследования РПА. В ходе экспериментальных исследований определялись следующие параметры: процентное содержание водной фазы в ВДС в зависимости от времени до расслоения воды в ней при приготовлении на различных аппаратах; средние диаметры капель водной фазы, получаемые на каждом аппарате в зависимости от различных режимов работы аппаратов, концентрации её в дизельном топливе и температуры процесса приготовления смесей. На данной установке предоставляется возможность изменять следующие параметры при исследовании 7-ми аппаратов динамического принципа действия: частоту вращения ротора РПА (от 350 до 1100 об/мин); количество подаваемых компонентов (5...20% воды); давление на входе в исследуемые аппараты (от 0,015 до 0,28 МПа).

3.2. Разработка экспериментальной установки по определению эксплуатационных и экологических показателей двигателя в зависимости от состава и дисперсности водно-дизельной смеси

Разработанная экспериментальная установка представляет собой испытательный стенд КИ-5540 и стендовый дизельный двигатель ЯМЗ-236НЕ, укомплектованный в соответствии с ГОСТ 14846-81 (рисунок 3.4).

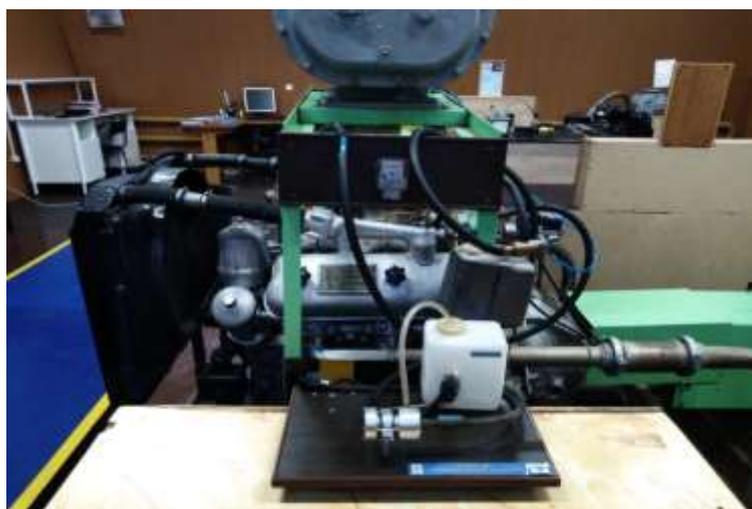
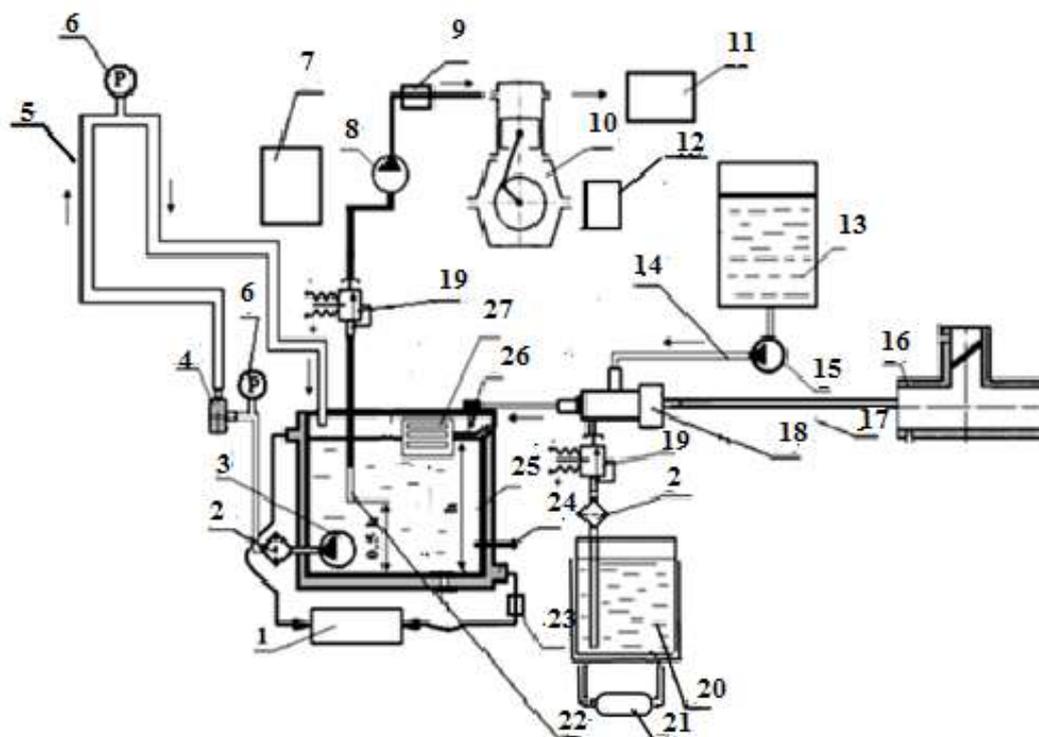


Рисунок 3.4 – Внешний вид экспериментальной установки

Исследование на этом этапе осуществлялось при работе ДВС на обычном дизельном топливе и на ВДС.

На данной установке осуществлялась регистрация изменяющихся параметров работы двигателя с использованием стандартной аппаратуры, приборов в соответствии с требованиями [87]. Принципиальная схема установки технических средств для приготовления ВДС и ее параллельной подачи в систему питания двигателя ЯМЗ-236НЕ представлена на рисунке 3.5.



- 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 – поплавков

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

В ходе проведения экспериментальных исследований выявлялось влияние состава и качества ВДС на основные показатели ДВС путем изменения следующих факторов, определяющих технологию приготовления ВДС: содержание воды в топливе C_w , %; средний диаметр капель водной фазы в ВДС d_k , мкм; угол опережения впрыска топлива $\theta_{в.т.}$, град. п.к.в. На установке определялись следующие выходные параметры: удельный расход топлива ДВС g_e , г/кВт ч; N – диапазон измерения дымности в единицах коэффициента ослабления, %; K – диапазон измерения дымности в единицах коэффициента поглощения, m^{-1} .

Экспериментальная установка может работать в двух режимах:

- приготовление ВДС и ее подача в систему питания;
- подача обычного дизельного топлива.

В ходе эксперимента приготавливается ВДС последовательно с установленными пропорциями воды от 5 до 20% в дизельном топливе, с интервалом варьирования 5%, которая заливается в ёмкость (25) вручную либо может подаваться автоматически с помощью насоса (15) в дозатор - смеситель эжекционного принципа действия (18) из ёмкости для воды (20) и из ёмкости, содержащей топливо (13). Затем включается электрический насос (3), который подает этот состав в роторно-пульсационный аппарат (4). При этом рабочая смесь проходит через РПА, после чего в ёмкость (25) поступает уже готовая ВДС.

Частота вращения ротора задается с учетом получения рациональной дисперсности ВДС. Давление на входе и выходе в РПА контролируется механическим манометром (6). Температура в ёмкости (25) регулируется в диапазоне 50 – 60°C за счет изменения подачи краном (23) жидкости из системы охлаждения ДВС. Отбор проб осуществлялся по методике проведения эксперимента на установке для исследования РПА. Приготовленная ВДС перекачивается штатным топливным насосом (8) через трубку забора ВДС (22). Отработавшие газы ДВС (10) проходят через газоанализатор (11), при помощи которого определяется содержание сажи.

Стендовые испытания на экспериментальной установке на первом этапе последовательно включали: цикл режима работы двигателя при частоте вращения холостого хода; цикл режима работы двигателя при максимальном крутящем моменте.

Оценка эффективности применения ВДС в ДВС осуществлялась по следующим параметрам: величине часового расхода топлива; изменению токсичности отработавших газов при эксплуатации двигателя на ВДС и обычном дизельном топливе. Время работы двигателя контролировалось секундомером ПВ-53А, тепловой режим ДВС и ВДС – стандартными термометрами. Проведенные измерения по определению содержания сажи осуществлялись согласно требованиям ГОСТ 17.2.2.02-98 [93]. Определение расхода топлива осуществлялось при экспериментальных исследованиях с использованием стенда КИ-5540 и дизельного двигателя ЯМЗ-236НЕ с модернизированной топливной системой. До начала испытаний топливный бак освобождался от топлива и очищался, а также проводились работы, предусмотренные инструкцией по эксплуатации образца. Параллельно подготавливались мерные ёмкости, штрихпробер, секундомер, расходомер и весы, которые использовались в ходе эксперимента для замеров.

Для определения расхода топлива в пустые баки установки заливалось определённое его количество, замеренное с помощью счетчика-литромера, а также мерной ёмкости.

Средний расход топлива определялся по формуле:

$$g_T = \frac{Q_T}{T}, \quad (3.1)$$

где Q_m – количество израсходованного топлива (л); T – время работы ДВС АТТ (установки) (ч).

Перед началом каждого испытания температура масла в картере ДВС не превышала 95°C, а температура жидкости в системе охлаждения была не ниже 75°C.

При оценке погрешностей результатов экспериментальных исследований и определении измеряемых величин выполнялись следующие последовательные операции: проверка и установка прибора; проведение измерений и оценка погрешности. Точность и достоверность результатов экспериментальных исследований обуславливались правильным выбором контрольно-измерительной аппаратуры, а также выбором места расположения измерительной аппаратуры. Для исключения случайных ошибок производилось необходимое количество измерений и анализов ВДС.

В работах [16, 17] при проведении испытаний ДВС определяющей считается систематическая ошибка, так как ее величина значительно больше величины случайной ошибки. В связи с этим оценка абсолютной погрешности должна осуществляться по данным контрольно-измерительной аппаратуры, применяющейся при испытаниях ДВС. Используемые в процессе исследования приборы позволяют производить измерения с требуемой точностью. Для исключения данных ошибок все приборы имели государственную поверку, а при необходимости проводилась их тарировка и поверка. Однотипные эксперименты проводились при одинаковых условиях (температуре, влажности и др.) Погрешность измерений при проведении экспериментальных исследований не превышала значений, предусмотренных нормативными документами [91 – 95], а совокупная погрешность по всем производимым измерениям не превышала $\pm 5\%$.

Точность и достоверность результатов экспериментальных исследований основывались на правильности выбора контрольно-измерительной аппаратуры, используемой при проведении эксперимента, а также на выборе места расположения измерительной аппаратуры. Для исключения случайных ошибок применялся математически обоснованный пробоотбор, а также делалось необходимое количество измерений и анализов.

Расчет предельной относительной погрешности часового расхода топлива при обработке экспериментальных исследований выполнялся с использованием следующих формул:

$$G_T = \frac{3,6 \times m_T}{t} \text{ (кг/ч) } , \quad (3.5)$$

$$\delta(G_T) = \sqrt{\delta(m_T)^2 + \delta(t)^2} = \sqrt{0,67^2 + 0,17^2} = 0,69 \% \quad (3.6)$$

где m_T – масса израсходованного топлива, кг; t – время работы ДВС, с.

Следовательно, погрешность измерений при проведении экспериментальных исследований не превышала значений, обоснованных в работах [43, 44], а совокупная погрешность по всем производимым измерениям не превышает $\pm 5 - 10\%$.

Имея достоверные полученные результаты экспериментального исследования и сравнивая их с теоретическими результатами, можно сделать вывод об адекватности разработанной математической модели влияния состава и качества водно-дизельной смеси на основные показатели ДВС АТТ.

Разработанная экспериментальная установка, представляющая собой стенд КИ-5540 и дизельный двигатель ЯМЗ-236НЕ (укомплектованный в соответствии с ГОСТ 14846-81), работает в двух режимах:

- приготовление ВДС последовательно пропорциями (воды от 5 до 20% в дизельном топливе) с интервалом дозировки воды 5%;
- в режиме подачи дизельного топлива.

В ходе проведения экспериментальных исследований на данной установке выявлялось влияние состава и качества ВДС на эксплуатационные и экологические показатели дизеля на основе изменения следующих основных входных (управляемых) факторов, определяющих технологию приготовления ВДС: содержание водного компонента в топливе C_v , %; средний диаметр капель воды в ВДС d_k , мкм; угол опережения впрыска топлива в ДВС $\theta_{в.т.}$, град. п.к.в.. На установке №2 определялись следующие выходные исследуемые параметры: удельный расход топлива ДВС g_e , г/кВт ч; диапазон измерения дымности в единицах коэффициента поглощения K , m^{-1} ; диапазон измерения дымности в единицах коэффициента ослабления N , %.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ ВОДНО-ДИЗЕЛЬНОЙ СМЕСИ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ (УСТРОЙСТВ) ДЛЯ ЕЕ РЕАЛИЗАЦИИ В СИСТЕМЕ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

4.1. Экспериментальные исследования процесса получения водно-дизельной смеси на аппаратах динамического принципа действия

Процесс приготовления ВДС производился на установке №1 с использованием аппаратов динамического принципа действия (рисунок 4.1). Основные технические характеристики данных аппаратов представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Технические характеристики испытуемых РПА

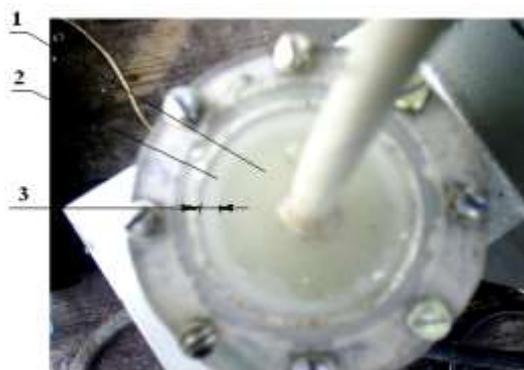
Показатель характеризующий РПА	Номер РПА							
	РПА №1	РПА №2	РПА №3	РПА №4	РПА №5	РПА №6	РПА №7	
Производительность по водно-дизельной смеси на основе ДТ и водного компонента, м ³ /ч	0,21	0,36	0,19	0,26	0,227	0,21	0,14	
Рабочее давление жидкости на входе в аппарат, МПа								
максимальное (max)	4,1	5,8	3,5	3,5	4,1	3,6	3,5	
минимальное (min)	0,1	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	
Радиус ротора, мм	65	54	37	37	65	55	25	
Ширина отверстия, мм								
ротора	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	
статора	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1	
Длина отверстия, мм								
ротора	5	5	3	3	5	5	1	
статора	5	5	3	3	5	5	1	
Привод ротора	Электродвигатель - 2 ^x -фазный асинхронный							от струи жидкости подаваемой топливным насосом 0,28 МПа
мощность, кВт	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5		
частота вращения, об./мин	2880							
Число отверстий в роторе и статоре, шт.	16	16	8	8	16	16	6	
Высота отверстий в роторе и статоре, мм	1,5	2,0	1	1	1,5	1,5	1	
Габаритные размеры, мм								
длина	128	142	85	85	128	95	54	
ширина (диаметр)	96	112	48	48	96	72	38	
Масса, кг	1,2	2,82	0,69	0,73	1,23	0,95	0,41	



а) РПА №1; б) РПА №2; в) РПА №3; г) РПА №4; д) РПА №5; е) РПА №6;
к) РПА №7

Рисунок 4.1 – Внешний вид испытуемых РПА

Для визуального исследования процессов приготовления ВДС на аппаратах динамического принципа действия их верхние крышки были изготовлены из прозрачного материала (рисунок 4.2).

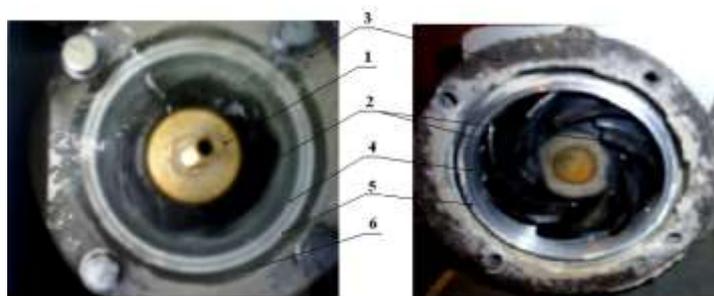


1 – внутренняя полость ротора; 2 – кольцо водной фазы; 3 – толщина кольца

Рисунок 4.2 – Вид сверху РПА №6 через прозрачное стекло

Из рисунка 4.2 следует, что при подаче в камеру ротора РПА компонентов ВДС (дизельное топливо и вода) без дополнительного перемешивания за счет

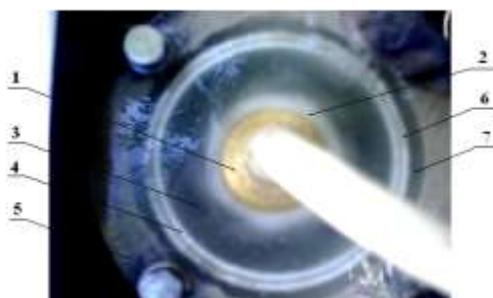
центробежной силы (при $n_{\text{ротора}} > 350$ об/мин) происходит распределение воды кольцом толщиной до 5 мм по внутренней стенке ротора, которое зависит от содержания водного компонента в ВДС. Из-за большой разницы плотностей компонентов и больших размеров их капель, существенно ухудшается процесс приготовления ВДС. При подаче компонентов смеси в РПА необходимо предварительно произвести их дробление и перемешивание. Отсутствие кольца водного компонента представляется возможным исключить путем размещения внутри полости ротора лопаток (рисунок 4.3).



1 – дополнительный кавитатор; 2 – лопатки ротора; 3 – корпус; 4 – ротор;
5 – неподвижный статор; 6 – камера озвучивания

Рисунок 4.3 – Вид сверху через прозрачное стекло РПА №5

На рисунке 4.4 представлен РПА №5 с дополнительным смесительным элементом – кавитатором и ротором во внутренней полости с лопатками.



1 – дополнительный элемент (кавитатор); 2 – зона кавитации; 3 – внутреннее пространство ротора с лопатками; 4 – ротор; 5 – корпус; 6 – неподвижный статор;
7 – камера озвучивания

Рисунок 4.4 – Вид сверху процессов, происходящих при работе РПА №5

Конструктивные изменения позволили обеспечить дополнительное дробление и перемешивание капель водно-дизельной композиции (на рисунке 4.4 зона кавитации 2 ярко выражена).

Установка лопаток во внутренней полости ротора обеспечивает равномерное распределение и перемешивание ВДС, при этом кольцо водного компонента не образуется.

На основе проведенных экспериментальных исследований были выявлены недостатки и положительные характеристики аппаратов динамического принципа действия, с учетом которых был разработан и изготовлен РПА №7 для приготовления ВДС тонкой дисперсности.

Затем были проведены натурные экспериментальные испытания семи аппаратов динамического принципа действия. В результате проведения экспериментов на динамических аппаратах (РПА №1 – РПА №7) на установке были выявлены зависимости среднего диаметра капель водной фазы в ВДС – d_k от: частоты вращения ротора РПА – n , мин^{-1} (рисунок 4.5) при условиях проведения эксперимента $P = 0,28$ МПа – давление на входе в РПА, $C_s = 20\%$ – содержание количества водной фазы в ВДС по отношению к объему топлива, $N = 1$ – количество циклов прохождения через РПА; давления на входе в РПА (рисунок 4.6) при условиях: $C_s = 40\%$, $N = 10$, $n = 700 \text{ мин}^{-1}$ – для РПА №1, 3, 4, 5, 6, 7 и $n = 900 \text{ мин}^{-1}$ для РПА №2; зависимость времени до начала расслоения водной фазы в ВДС от диаметра капель воды (рисунок 4.7). при условиях: $P = 0,04$ МПа, $N = 1$, $n = 700 \text{ мин}^{-1}$ для РПА №1,3,4,5,6,7 и $n = 650 \text{ мин}^{-1}$ для РПА №2.

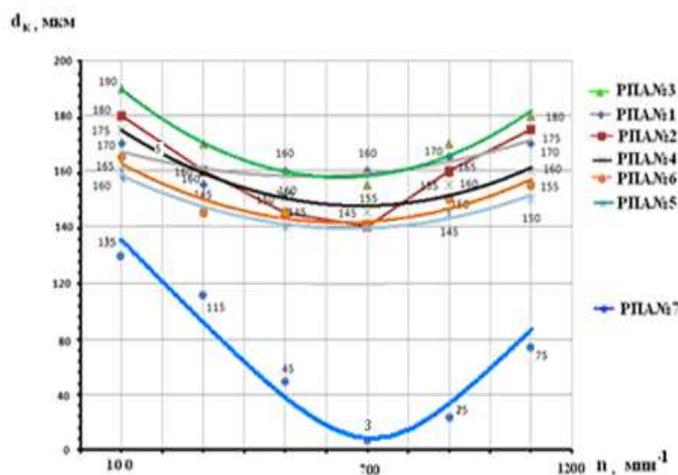


Рисунок 4.5 – Зависимость диаметра капель водной фазы в ВДС (d_k) от частоты вращения ротора РПА(n)

Из анализа графиков следует, что РПА №7 при $n = 700 \text{ мин}^{-1}$ показал наилучшие показатели по приготовлению ВДС при входном давлении в РПА $P = 0,04 \text{ МПа}$ был получен средний диаметр капель воды около 3 мкм.

На основании результатов проведенного экспериментального исследования представлена в графическом виде зависимость диаметра капель водной фазы в ВДС от давления на входе в РПА (рисунок 4.6).

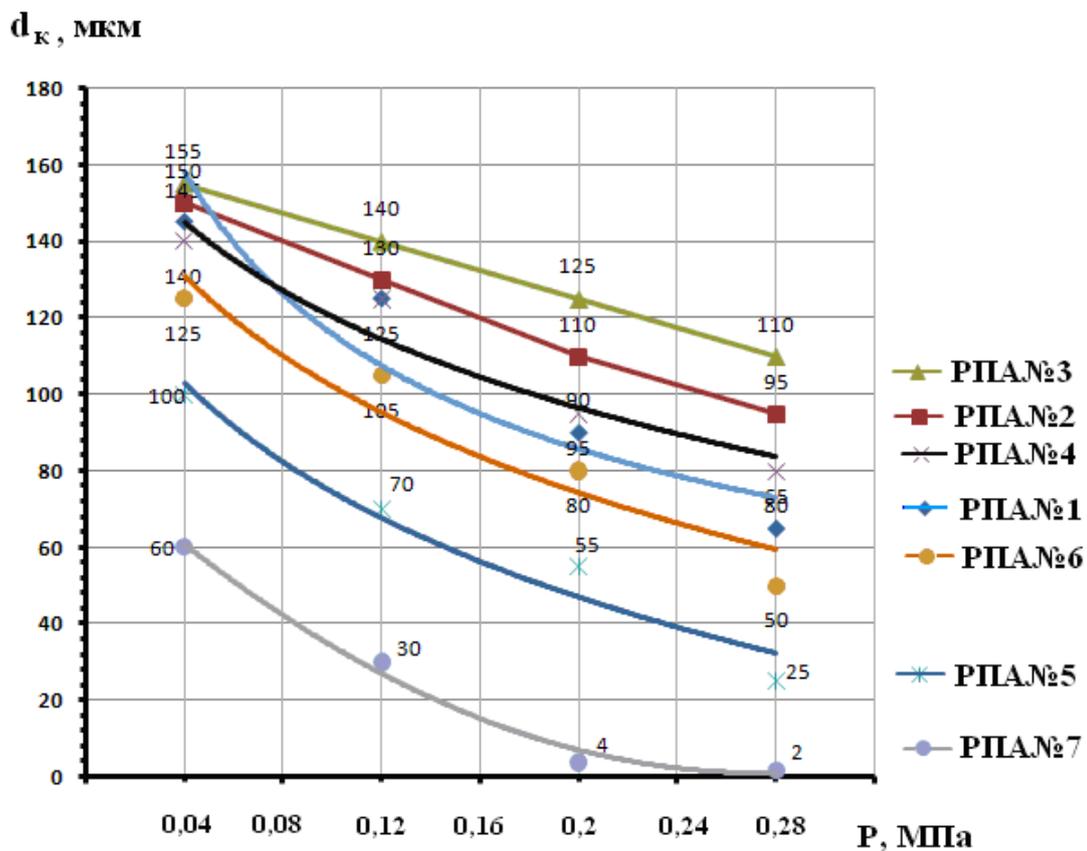


Рисунок 4.6 – Зависимость диаметра капель водной фазы в ВДС (d_k) от давления на входе в РПА (P)

Анализ построенных графиков на основании проведенных экспериментальных исследований показывает, что с увеличением перепада давления на модуляторе РПА от 0,04 до 0,28 МПа диаметр капель водной фазы в ВДС изменяется от 2 до 155 мкм в зависимости от вида испытываемого аппарата.

При этом лучшие показатели дисперсности ВДС достигнуты с использованием РПА №7. При входном давлении в РПА $P = 0,28$ МПа испытуемый аппарат обеспечивает получение наилучшей по качеству ВДС со средним диаметром капель водной фазы в смеси, равным 2 мкм.

На основе анализа зависимости времени расслоения водной фазы в ВДС от диаметра капель водной фазы в смеси (рисунок 4.7) установлено, что с уменьшением среднего размера капель водной фазы в ВДС до 2 мкм сохраняется не только мощность ДВС, но и увеличивается время до начала её расслоения и составляет более двух минут, что гарантирует нормальный режим работы двигателя на такой ВДС.

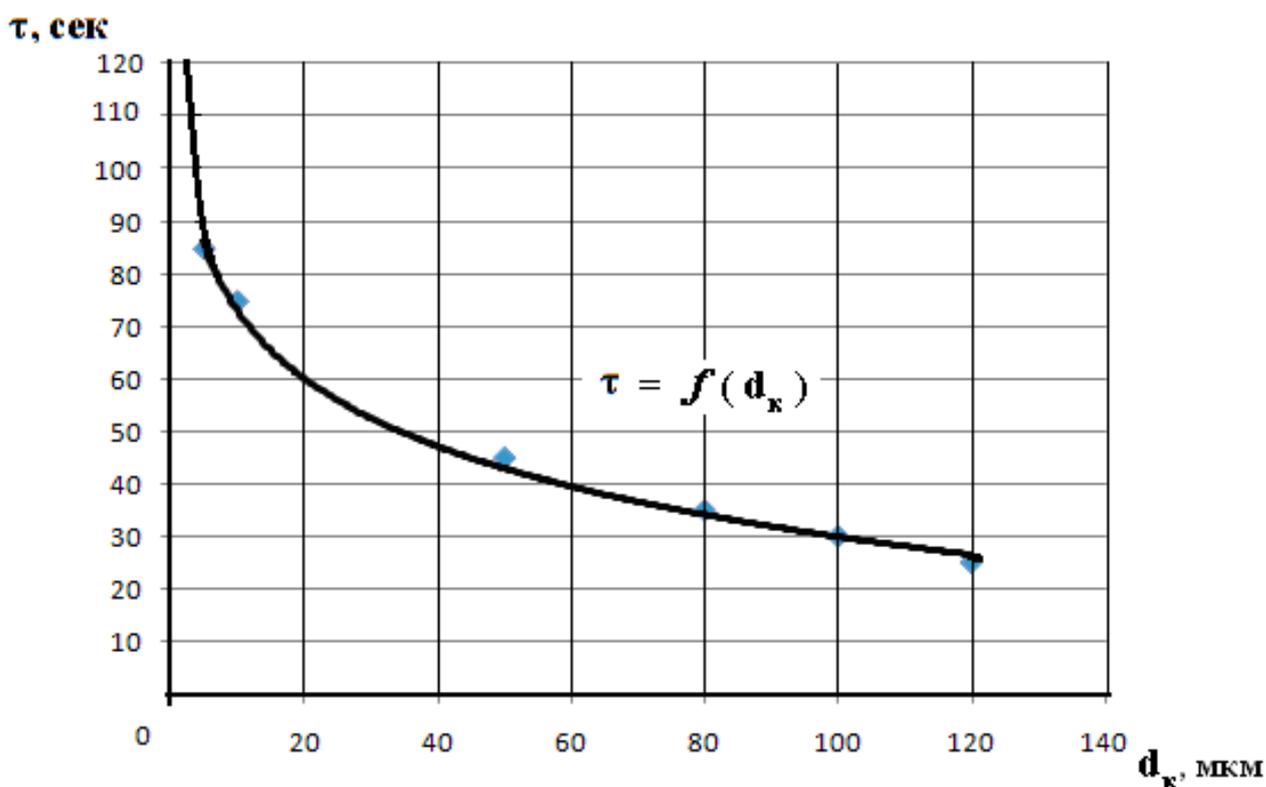


Рисунок 4.7 – Зависимость времени до начала расслоения водной фазы в ВДС (τ) от диаметра капель водной фазы в ВДС (d_k)

Проведенные исследования на малообъемных РПА подтвердили результаты, полученные в работах [58, 59, 96 – 107]. Качество приготавливаемой

разработанными аппаратами ВДС будет зависеть от числа оборотов ротора РПА и входного давления.

Анализ эффективности приготовления ВДС на испытуемых аппаратах показывает, что для приготовления и подачи ВДС в ДВС АТТ необходимо на первом этапе использовать аппарат эжекционного принципа действия, а на втором этапе – роторно-пульсационный аппарат РПА №7.

На следующем этапе экспериментального исследования с использованием установки №1 экспериментально определяем режимы работы РПА с целью получения ВДС с нужным диаметром капель водной фазы в смеси. Задаем следующие условия проведения эксперимента: содержание водной фазы в ВДС будет изменяться от 5 до 20%; входное давление в РПА №7 – от 0,04 до 0,28 МПа; частота вращения ротора РПА – от 100 до 1200 мин⁻¹; время обработки – от 20 до 80 секунд. Режим работы РПА №7 для получения среднего диаметра капель водной фазы 2мкм в ВДС представлен в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Режим работы РПА №7 для получения среднего диаметра капель водной фазы 2 мкм в ВДС

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

На основании проведенного анализа результатов экспериментального исследования режимов работы РПА при приготовлении высокодисперсной ВДС с добавлением водной фазы установлено, что при содержании воды 17 – 20% для получения среднего диаметра капель 2 мкм в ВДС необходимо соблюдать следующие режимы работы РПА: частота вращения ротора РПА 700 мин⁻¹; давление подаваемой «грубой» ВДС на входе в РПА 0,28 МПа; время 40 с.

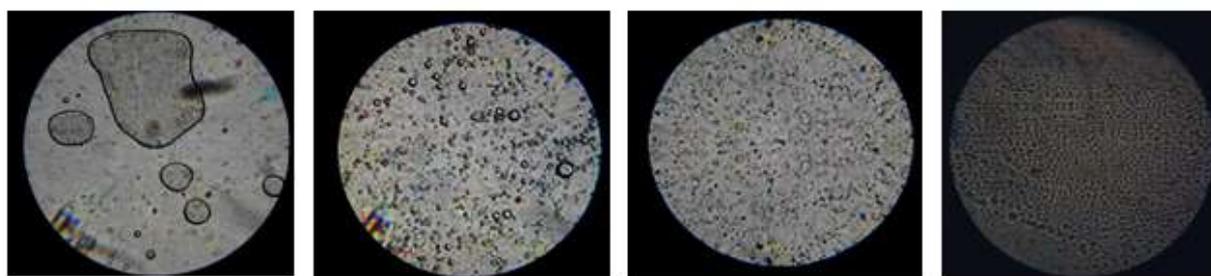
В ходе проведенных экспериментальных исследований установлено, что диаметр капель водной фазы ВДС при использовании РПА в 20 – 30 раз меньше, чем при обработке в дозаторе-смесителе. Однако рациональность предлагаемого способа заключается в двухэтапном процессе приготовления ВДС с применением последовательно дозатора-смесителя, а затем РПА.

Для определения средних размеров капель водной фазы и ВДС, а также оценки эффективности малообъёмных аппаратов использовался оптический способ с использованием цифрового микроскопа с четырёхсоткратным увеличением и ПЭВМ с установленным программным продуктом «Levenuk Lite» для обработки полученных результатов (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Внешний вид цифрового микроскопа с ПЭВМ

Данный способ позволил определить средний диаметр капель водной фазы ВДС. В результате проведенного оптического анализа были определены средние диаметры капель водной фазы и ВДС, представленные на рисунке 4.9.



а) б) в) г)

а) обычная вода; б) водный компонент, обработанный эжектором; в) водный компонент, обработанный РПА №7; г) ВДС, полученная на РПА №7

Рисунок 4.9 – Внешний вид водной фазы и ВДС под микроскопом

Средний диаметр капель водной фазы при получении ВДС «грубой» дисперсности с применением дозатора-смесителя составляет 50 мкм, а средний

диаметр капель водной фазы при получении ВДС «тонкой» дисперсности с использованием РПА №7 – 2 мкм. Такой средний диаметр капель водной фазы в ВДС был получен экспериментально на установке №1 с применением РПА №7 при рациональных режимах работы разработанных устройств (процентное содержание водной фазы в ВДС – 17%; частота вращения ротора РПА – $n = 700$ об/мин; давление на входе в РПА – 0,28 МПа).

Полученная во второй главе математическая зависимость, формула (2.71) позволяет определить теоретический средний диаметр капель воды в ВДС, приготавливаемой с использованием РПА в зависимости от его конструктивных параметров и режимов работы. Полученный по формуле средний теоретический диаметр капель воды в ВДС составил 2,18 мкм. Таким образом, сравнивая средний теоретический диаметр капель воды в ВДС с размерами капель воды, полученными оптическим способом, с помощью микроскопа, можно сделать вывод, что полученная математическая зависимость (2.71) адекватно описывает изучаемый процесс с погрешностью, не превышающей 10%.

4.2. Экспериментальные исследования эксплуатационных и экологических показателей двигателя при работе на водно-дизельной смеси

Целью проведения исследований является проведение сравнительного анализа эксплуатационных и экологических показателей базового дизельного ДВС АТТ и его усовершенствованного образца с модернизированной системой питания на основе ВДС с добавлением воды. В качестве эксплуатационного показателя ДВС устанавливается удельный расход топлива, который является показателем топливной экономичности ДВС. В качестве экологических показателей ДВС (согласно требованиям ГОСТ 17.2.2.02.-98, ГОСТ 52408-2014) устанавливаются предельно допустимые значения содержания сажи в ОГ ДВС [87–95].

Замеры производились с использованием двухкомпонентного газоанализатора «АВТОТЕСТ», представленного на рисунке 4.10, с помощью которого определялась дымность отработавших газов на режиме свободных ускорений и максимальных оборотов.



1 – газоанализатор «АВТОТЕСТ»;

2 – зонд газоанализатора в выпускном коллекторе

Рисунок 4.10 – Результаты замера дымности двигателя ЯМЗ-236НЕ

Стендовые испытания проводились на дизельном двигателе ЯМЗ-236НЕ. В ходе проведения определялись оценочные показатели двигателя при работе под нагрузкой, при различной частоте вращения коленчатого вала [103]. При проведении испытаний двигатель ЯМЗ-236НЕ находился в исправном состоянии и в комплектности соответствующей инструкции по эксплуатации завода-изготовителя. Испытания двигателя с применением модернизированной системы питания производились в диапазоне частот вращения от минимально устойчивой частоты вращения холостого хода до равной 60% от $n_{ном}$. Часовой расход топлива определялся с помощью мерной ёмкости и далее по формуле:

$$G_T = 3,6 \frac{G}{\tau}, \quad (4.1)$$

где G – масса топлива, израсходованная за время измерения (г);
 τ – временные показатели замера расхода топлива, (с).

Для оценки влияния ВДС на основные показатели ДВС проводились исследования, согласно составленного ПФЭ, которые в совокупности составляли двадцать экспериментов (таблица 2.3). Экспериментальные исследования должны устанавливать влияние трех факторов (содержания водной фазы в топливе C_v (%), диаметра капель водной фазы в ВДС d_k (мкм), угла опережения впрыска топлива $\theta_{в.м}$ (град. п.к.в.)) на удельный расход топлива и содержания токсичных веществ в ОГ дизельного двигателя. По результатам проведенных экспериментальных

исследований на установке №2 были зафиксированы значения удельного расхода топлива, содержания токсичных веществ в ОГ ДВС (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Полученные результаты экспериментов

№ испытания	Полученные экспериментальные значения								
	g_e , г/кВт ч			K , м ⁻¹			N , %		
1	4,52	5,65	7,65	3,03	3,06	3,22	75,6	73,2	72,1
2	6,64	7,76	9,62	3,22	3,28	3,57	80,5	78,7	76,9
3	4,18	5,56	7,72	3,47	3,78	4,08	61	59,1	58,1
4	6,12	7,56	9,74	3,76	3,92	3,99	63,8	62	60,2
5	5,01	5,94	8,64	3,66	3,72	3,75	75,6	74,6	73,4
6	6,46	8,06	11,52	3,82	3,92	4,05	85,5	84,2	83,4
7	4,18	5,81	8,25	2,61	2,72	2,8	56,1	56,8	53,1
8	6,13	7,91	10,52	2,56	2,62	2,66	66,1	64,3	64,1
9	5,85	7,13	9,25	4,03	4,07	4,12	81,1	80,5	79,5
10	5,84	6,67	8,32	2,74	2,85	2,89	56,1	55,5	54,9
11	6,15	6,34	6,41	3,13	3,17	3,43	73,5	72,4	71,6
12	7,22	6,9	9,35	3,76	3,92	4,04	75	74,3	73,8
13	5,61	6,42	6,03	3,55	3,62	3,67	85,3	83	81,2
14	7,64	8,43	8,02	3,39	3,41	3,45	63,4	62,9	62,6
15	5,15	6,72	9,02	3,26	3,29	3,35	74,4	73,9	73,4
16	5,22	6,74	9,07	3,46	3,49	3,56	44,5	74	73,5
17	5,11	6,66	8,97	3,43	3,49	3,57	44,4	73,8	73,3
18	5,25	6,82	9,12	3,24	3,35	3,39	74,9	74,4	73,9
19	5,05	6,61	8,92	3,39	3,46	3,51	73,9	73,4	72,9
20	5,38	6,92	9,21	3,16	3,32	3,36	44,6	74,1	73,6

На основании полученных результатов определялись зависимости критериев g_e (удельный расход топлива, г/кВт ч), K (диапазон измерения дымности в единицах коэффициента поглощения, м⁻¹), N (диапазон измерения дымности в единицах коэффициента ослабления, %) от рассматриваемых факторов: x_1 – содержания водной фазы в топливе (C_e), x_2 – среднего диаметра капель водной фазы в ВДС (d_k), x_3 – угла опережения впрыска топлива в ДВС ($\theta_{e.m.}$).

После обработки полученных результатов с помощью разработанной программы для ЭВМ №2021614518 были получены уравнения, представленные в кодированном виде:

$$Y_{g_e} = 6,99 - 0,15 x_1 + 0,8 x_2 + 0,39 x_3 - 0,02 x_1 x_2 - 0,08 x_1 x_3 + 0,02 x_2 x_3 + 0,07 x_1^2 + 0,03 x_2^2 + 0,02 x_3^2; \quad (4.2)$$

$$Y_K = 3,4 - 0,23 x_1 + 0,12 x_2 - 0,11 x_3 - 0,06 x_1 x_2 - 0,44 x_1 x_3 - 0,03 x_2 x_3 - 0,01 x_1^2 + 0,04 x_2^2 + 0,01 x_3^2; \quad (4.3)$$

$$Y_N = 69,02 - 8,16 x_1 + 2,21 x_2 - 2,1 x_3 - 0,35 x_1 x_2 - 0,98 x_1 x_3 + 1,46 x_2 x_3 - 0,89 x_1^2 + 1,05 x_2^2 + 0,93 x_3^2. \quad (4.4)$$

При анализе уравнений следует учитывать, что знак «+», «-» и значение коэффициента, определяют соответственно увеличение или уменьшение значения фактора (Y_{g_e} , Y_K , Y_N).

Отрицательные значения коэффициентов уравнений при факторе x_1 свидетельствуют о том, что с увеличением содержания воды в дизельном топливе происходит снижение удельного расхода топлива ДВС, содержания сажи в ОГ ДВС, а при факторе x_3 в уравнениях (4.3, 4.4) – что с увеличением угла опережения впрыска топлива в дизель в изучаемом диапазоне происходит снижение количества сажи в ОГ ДВС.

Положительные значения коэффициентов уравнений регрессии при факторе x_2 свидетельствуют о том, что с увеличением среднего диаметра капли воды в ВДС повышается удельный расход топлива, содержание сажи в ОГ ДВС, а при факторе x_3 в уравнении (4.2) – что с увеличением угла опережения впрыска топлива в дизель в изучаемом диапазоне происходит увеличение удельного расхода дизельного топлива.

Существенное влияние на значения g_e оказывает фактор x_2 , то есть дисперсность ВДС или средние размеры капель воды. Существенное влияние на значения N и K оказывает фактор x_1 , то есть количество водной фазы, содержащейся в ВДС.

Значимость коэффициентов уравнений (4.2 и 4.4) проверялась по критерию Стьюдента, а адекватность уравнения в целом – с помощью критерия Фишера.

В ходе обработки и сравнения полученных результатов с табличными было установлено, что данные уравнения адекватно описывают процесс влияния состава и дисперсности ВДС на основные показатели дизеля.

Для проверки совпадения теоретических данных и числовых значений, полученных в результате проведения эксперимента, в уравнения (4.2 – 4.4) подставляются значения x_1 , x_2 , x_3 в условном масштабе для каждого эксперимента, представленные в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Сравнение экспериментальных и теоретических результатов

№ испытания	Значения факторов в натуральных величинах			Экспериментальные значения			Расчетные (теоретические) значения			Отклонение, %		
	$C_{в}$, %	d_k , МКМ	$\theta_{в.т.}$, град. п.к.в.	g_e , г/кВтч	K , м ⁻¹	N , %	g_e , г/кВтч	K , м ⁻¹	N , %	g_e , г/кВтч	K , м ⁻¹	N , %
1	7	25	4	5,94	3,1	73,63	6,07	3,22	78,16	2,19	3,87	6,15
2	7	95	4	8,01	3,36	78,7	7,67	3,46	82,58	4,24	2,98	4,93
3	17	25	4	5,82	3,78	59,4	5,77	3,64	61,84	0,86	3,7	4,11
4	17	95	4	7,81	3,89	62	7,37	3,88	66,26	5,63	0,26	6,87
5	7	25	8	6,53	3,71	74,53	6,85	3,88	73,96	4,9	4,58	0,76
6	7	95	8	8,68	3,93	84,37	8,45	4,12	78,38	2,65	4,83	7,1
7	17	25	8	6,08	2,71	55,33	6,55	2,54	57,64	7,73	6,27	4,17
8	17	95	8	8,19	2,61	64,83	8,15	2,78	62,06	0,49	6,51	4,27
9	5	60	6	7,41	4,07	80,37	7,44	3,76	80,23	0,4	7,62	0,17
10	20	60	6	6,94	2,83	55,5	6,94	2,98	52,78	0	5,3	4,9
11	12	2	6	6,3	3,24	72,5	5,73	3,31	68,27	9,05	2,16	5,83
12	12	115	6	7,82	3,91	74,37	8,42	3,71	75,71	7,67	5,12	1,8
13	12	60	2	6,02	3,61	83,17	6,39	3,61	75,18	6,15	0	9,61
14	12	60	10	8,03	3,42	62,97	7,7	3,24	68,12	4,11	5,26	8,18
15	12	60	6	6,96	3,3	73,9	6,99	3,4	69,02	0,43	3,03	6,6
16	12	60	6	7,01	3,5	64	6,99	3,4	69,02	0,29	2,86	7,84
17	12	60	6	6,91	3,5	63,83	6,99	3,4	69,02	1,16	2,86	8,13
18	12	60	6	7,06	3,33	74,4	6,99	3,4	69,02	0,99	2,1	7,23
19	12	60	6	6,86	3,45	73,4	6,99	3,4	69,02	1,92	1,47	5,98
20	12	60	6	7,17	3,28	64,1	6,99	3,4	69,02	2,52	3,67	7,69
Погрешность										9,05	7,62	9,61

Проведенный анализ результатов, представленных в таблице 4.4, показывает, что удельный расход топлива – g_e , содержание сажи в ОГ дизеля, полученные в результате проведенных расчетов по уравнениям (4.2 – 4.4), отличаются от результатов экспериментальных исследований, полученных на установке с погрешностью не более 10%.

Значения основных показателей ДВС (выходных факторов) определяются по полученным уравнениям (4.2 – 4.4) с помощью программы для ЭВМ № 2021614518. При этом два входных фактора остаются на нулевом уровне x_{i0} , а третий изменяется от нижнего x_{in} до верхнего уровня x_{iv} . При этих условиях получены графические зависимости удельного расхода топлива (рисунок 4.14), содержания сажи в ОГ ДВС (рисунки 4.15, 4.16) от содержания водного компонента в топливе – C_v , %, диаметра капель воды в ВДС – d_k , мкм и угла опережения впрыска топлива в ДВС – $\theta_{в.т.}$ град. п.к.в. ДВС.

Для более лучшей наглядности сравнительного анализа исследуемых результатов на рисунках 4.11 – 4.13 полученные графические зависимости удельного расхода топлива и содержания сажи от содержания водного компонента в топливе – C_v , среднего диаметра капель воды в ВДС – d_k , угла опережения впрыска топлива – $\theta_{в.т.}$ представлены совместно.

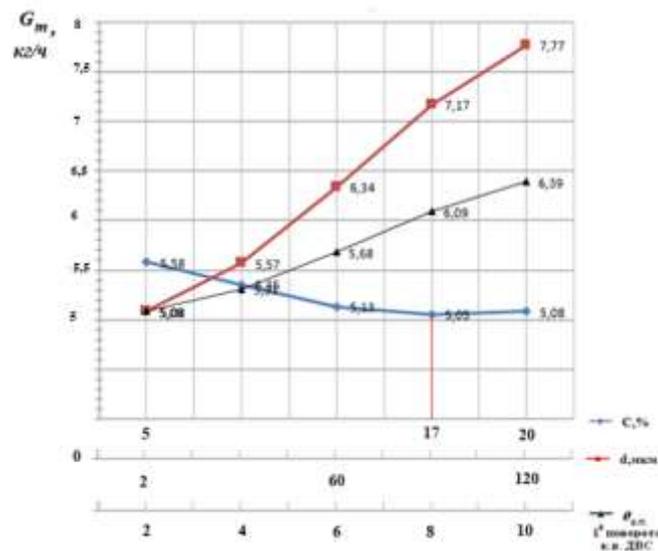


Рисунок 4.11 – Зависимости часового расхода топлива (G_m) от содержания водного компонента в дизельном топливе (C_v), среднего диаметра капель воды (d_k), угла опережения впрыска топлива ($\theta_{в.т.}$)

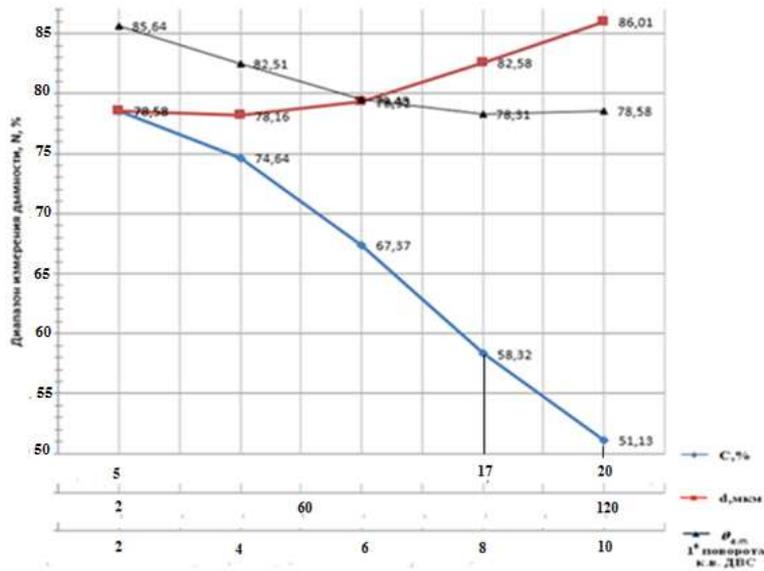


Рисунок 4.12 – Зависимости диапазона измерения дымности в единицах коэффициента ослабления, % (N) от содержания водного компонента в дизельном топливе (C_v), среднего диаметра капель воды (d_k), угла опережения впрыска топлива ($\theta_{в.т.}$)

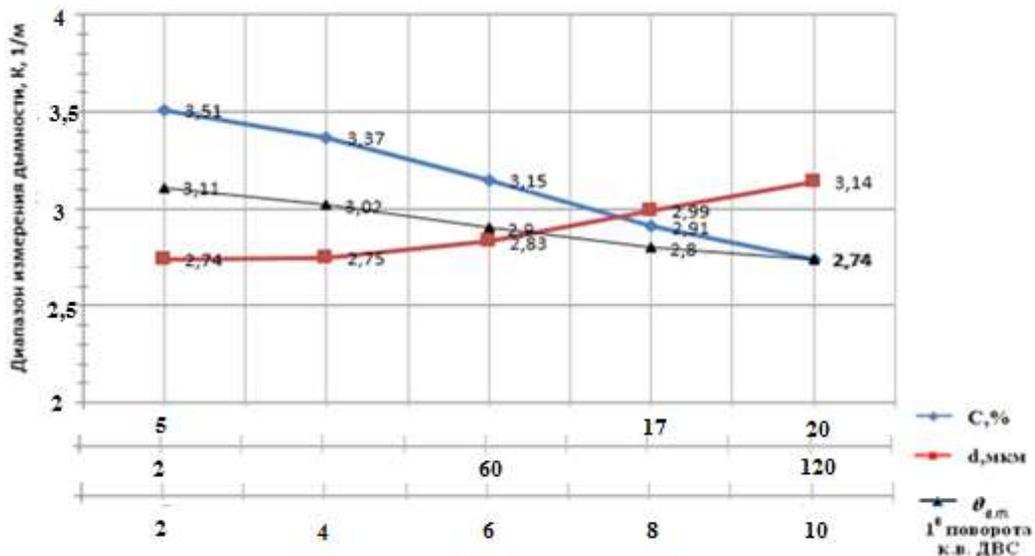


Рисунок 4.13 – Зависимости диапазон измерения дымности в единицах коэффициента поглощения, м^{-1} (K) от содержания водного компонента в дизельном топливе (C_v), диаметра капель воды (d_k), угла опережения впрыска топлива ($\theta_{в.т.}$)

Анализ полученных графических зависимостей (рисунок 4.11 – 4.13) позволяет сделать следующие выводы.

1. Значение часового расхода топлива:

- при содержании водной фазы 17% часовой расход уменьшается до 5,05 кг/ч, а в интервале от 17% до 20% водной фазы существенно не меняется;

- при увеличении среднего диаметра капель водной фазы в смеси от 2 до 120 мкм соответственно часовой расход увеличивается до 7,77 кг/ч;

- при увеличении угла опережения впрыска топлива до 10° поворота коленчатого вала двигателя увеличивается до 6,39 кг/ч.

2. Значения содержания количества сажи в ОГ ДВС:

- при увеличении содержания воды до 20% уменьшаются до 51,13% и до $2,74 \text{ м}^{-1}$ соответственно;

- при увеличении среднего диаметра капель водной фазы в ВДС до 120 мкм увеличиваются до 86,01% и до $3,14 \text{ м}^{-1}$ соответственно;

- при увеличении угла опережения зажигания ДВС до 8° поворота коленчатого вала ДВС снижаются до 78,31% и до $2,74 \text{ м}^{-1}$ соответственно, а до 10° начинают увеличиваться.

Незначительное отклонение расчетных значений от экспериментальных данных позволяет сделать вывод о том, что полученные математические зависимости адекватно описывают изучаемый процесс, а уравнения могут быть использованы для соответствующих расчетов.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили целесообразность применения ВДС для ДВС АТТ, что, в свою очередь, подтверждается следующими факторами:

1. Физической активацией парами воды топливовоздушной смеси, образующейся в камере сгорания двигателя при такте «сжатие», что повышает полноту сгорания рабочей смеси. Приготавливаемая ВДС состоит из капель воды, покрытых топливом, при высокой температуре в камере сгорания вода вскипает и разрушает наружную оболочку капли смеси, состоящей из жидкого топлива.

2. Химической активностью воды. При попадании в камеру сгорания ДВС под воздействием высоких температур образуется водород, который сгорает, как топливо. Поэтому при обоснованной в ходе исследования замене (17 – 20%) топлива водой не происходит существенного снижения мощности ДВС.

3. При горении капли ВДС образуется значительно меньше сажи, чем при горении капли дизельного топлива. Снижение содержания сажи в ОГ ДВС объясняется тем, что ввод водного компонента в топливо интенсифицирует процесс сгорания за счет гидроксильного радикала (*ОН*).

Одним из самых доступных способов повышения эксплуатационных и экологических показателей работы ДВС АТГ является применение ВДС, приготовленной с использованием разработанных устройств и подачи ее в штатную систему питания. Изменяя процентное содержание воды в ВДС и средние размеры её капель, возможно существенно влиять на эксплуатационные и экологические показатели работы ДВС на различных режимах.

Результаты проведенных расчетов показали, что при введении водной фазы 17 – 20% и при среднем диаметре капель воды в ВДС 2 мкм происходит снижение: удельного расхода топлива до 18%; содержания сажи в ОГ ДВС по значению *K* на 20 – 22%, по значению *N* на 30 – 35%.

В результате определены рациональные режимы эксплуатации разработанных технических средств (устройств), позволяющих приготовить и подать ВДС в ДВС и обеспечивающие минимальные значения удельного расхода топлива и содержания сажи, которые представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5– Режимы эксплуатации разработанных технических средств

Исследуемые факторы	Удельный расход топлива g_e , г кВт/ч		Содержание сажи по <i>K</i> в ОГ ДВС, м ¹		Содержание сажи по <i>N</i> в ОГ ДВС, %	
	Кодированные обозначения	Натуральные значения	Кодированные обозначения	Натуральные значения	Кодированные обозначения	Натуральные значения
C_v (%)	+1	17	+1,682	20	+1,682	20
d_k (мкм)	-1,682	2	-1,682	2	-1,682	2
$\theta_{в.т.}$, (град.п.к.в.)	+1	8	+1	8	+1	8

В соответствии с требованиями ГОСТ 14846-81 были проведены стендовые испытания разработанных устройств [103,107] на 6-ти цилиндровом дизельном ДВС марки ЯМЗ-236НЕ с замером часового расхода топлива, крутящего момента при изменении нагрузки, содержания сажи в ОГ.

Испытания на ВДС производились на основе дизельного топлива соответствующего требованиям ГОСТ 32511-2013 с содержанием дистиллированной воды по ГОСТ 6709 (от 5 до 20%) (таблица 4.6).

Таблица 4.6 – Показатели стендовых испытаний

Частота вращения ДВС $n_{дв}, (мин-1)$	Часовой расход топлива/ВДС $G_{г}, (кг/ч)$	Крутящий момент ДВС $M_{кр}, (Н м)$	Эффективная мощность ДВС $N_e, (кВт)$	Угол опережения впрыска топлива $\theta_{в.т.}$ (град.п.к.в.)	Удельный расход топлива $g_e,$ (г/кВт ч)
1. Дизельное топливо					
$n_{дв} 1250$	22,3	880	115,1	4°	193,8
$n_{дв} 1750$	31,3	840	156,8	4°	203,5
$n_{дв(max)}=2100$	38,8	770	169,2	4°	229,3
2. ВДС (17% воды)					
$n_{дв} 1250$	18,8	845	110,5	8°	162,8
$n_{дв} 1750$	26,3	824	153,7	8°	170,9
$n_{дв(max)}=2100$	31,8	747	164,2	8°	188

Эффективная мощность ДВС, представленная в таблице 4.6, определялась по формуле:

$$N_e = \frac{M_{кр} n_{дв}}{9554} (\text{кВт}). \quad (4.5)$$

Удельный расход топлива при проведении экспериментальных исследований определялся так:

$$g_e = \frac{G_m}{N_e} 10^3 (\text{г/кВт ч}). \quad (4.6)$$

По полученным экспериментальным данным была построена внешняя скоростная характеристика дизельного двигателя ЯМЗ-236НЕ при работе на ДТ и ВДС (рисунок 4.14)

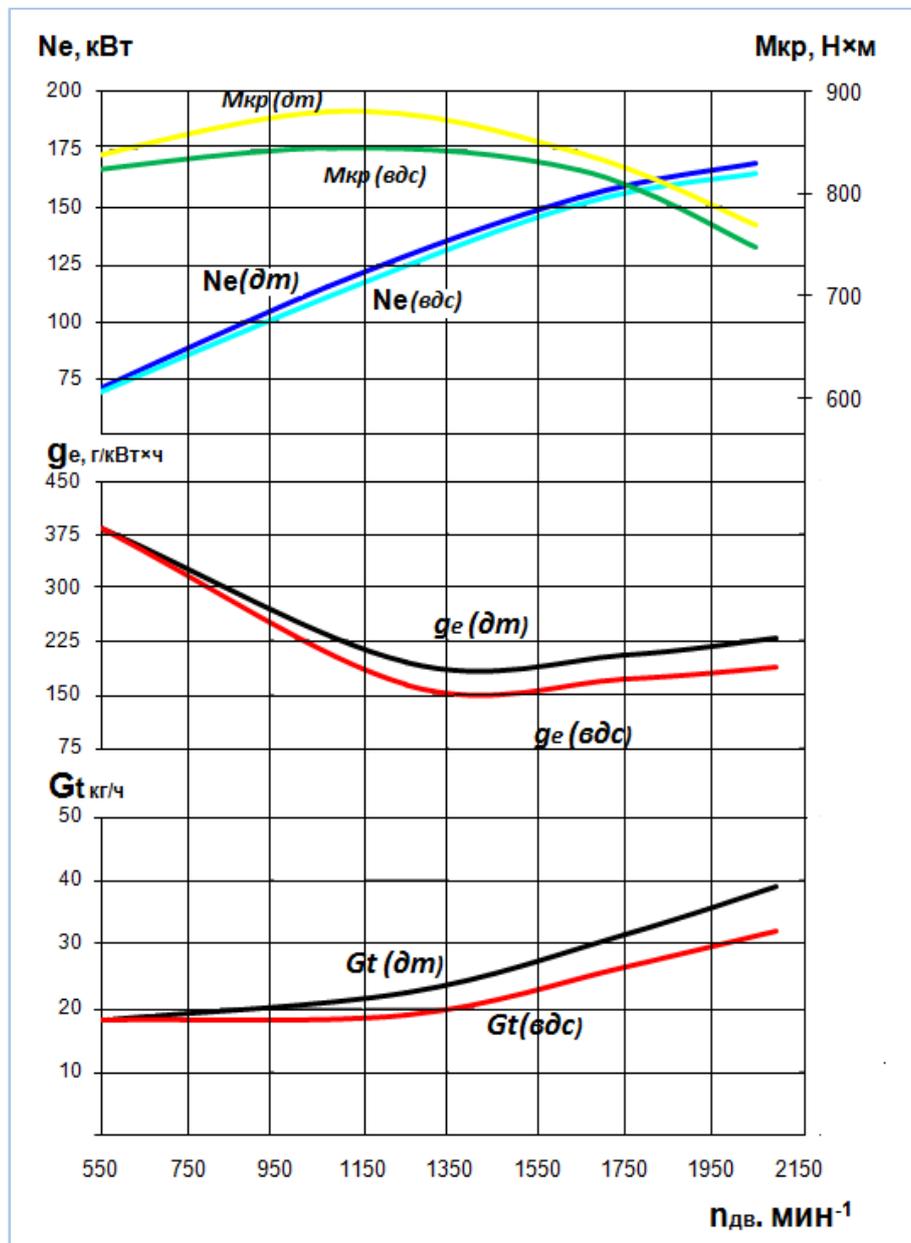


Рисунок 4.14 – Внешняя скоростная характеристика дизельного двигателя ЯМЗ-236НЕ при работе на ДТ и ВДС

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что при работе на дизельном топливе и на ВДС эффективная мощность дизеля и крутящий момент существенно не снижаются (до 2 – 4%), а расход топлива снижается до 18%.

Результаты полученных экспериментальных исследований позволяют сделать вывод, что наличие водного компонента в ВДС приводит к диффузному сгоранию горючей смеси. Пары воды, образующиеся из ВДС в камере сгорания

двигателя при такте «сжатие», воздействуют на рабочую смесь, что повышает полноту сгорания рабочей смеси. Возникающее при этом вторичное распыление дизельного топлива интенсифицирует процесс сгорания дизельного топлива и повышает полноту сгорания. [105 – 119].

Максимально улучшить характеристики дизельного ДВС возможно, используя «обратную» ВДС, то есть смесь, где основная часть капель водной фазы имеет средний размер не более 2 мкм, а содержание водной фазы в ВДС соответствует 17% к объёму топлива.

4.3. Разработка технических средств (устройств) для реализации технологии приготовления водно-дизельной смеси и ее подачи в систему питания дизельного двигателя

При проведении исследований использовался двигатель марки ЯМЗ-236НЕ – двигатель с внутренним смесеобразованием и самовоспламенением. Для таких двигателей в качестве моторного топлива применяется дизельное топливо. При использовании ВДС с добавлением компонента – воды – единственное место, где возможен расстой ВДС, – это фильтр тонкой очистки топлива. При приготовлении ВДС необходимо учитывать, что для дизельных ДВС минимальное время, в течение которого эмульсия должна сохранять свою стабильность, составляет 1 – 2 минуты, поэтому время до расслоения водной фазы в ВДС должно быть более 2 минут.

С целью получения ВДС разного состава и дисперсности предлагается модернизация системы питания дизеля при организации его рабочего процесса на ВДС. Применение предложенной технологии должно осуществляться путем установки разработанных технических средств (устройств): дозатора – смесителя эжекционного принципа действия и роторно-пульсационного аппарата, которые позволяют приготавливать и подавать ВДС в систему питания дизеля.

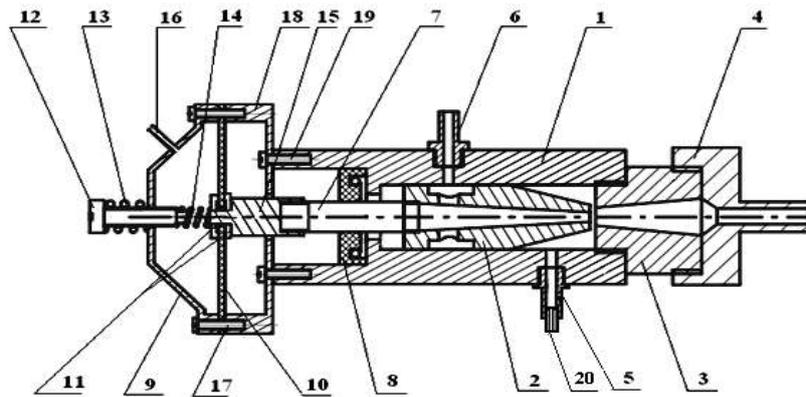
На основе результатов проведенного в первом разделе анализа разработан и запатентован способ обработки углеводородного топлива для ДВС, отличающийся тем, что дополнительно введены дозирующее устройство для автоматизации процесса подачи жидкого компонента в топливо в зависимости от режима работы двигателя, двухэтапный процесс перемешивания дозируемого компонента и топлива (вначале с использованием дозатора-смесителя, а затем – роторно-пульсационного аппарата), что позволило получать ВДС разного состава и качества и обеспечило повышение эксплуатационных и экологических показателей ДВС.

На основе результатов проведенного исследования был выбран дозатор-смеситель эжекционного принципа действия [106], предназначенный для приготовления ВДС (рисунок 4.15).



Рисунок 4.15 – Внешний вид дозатора-смесителя

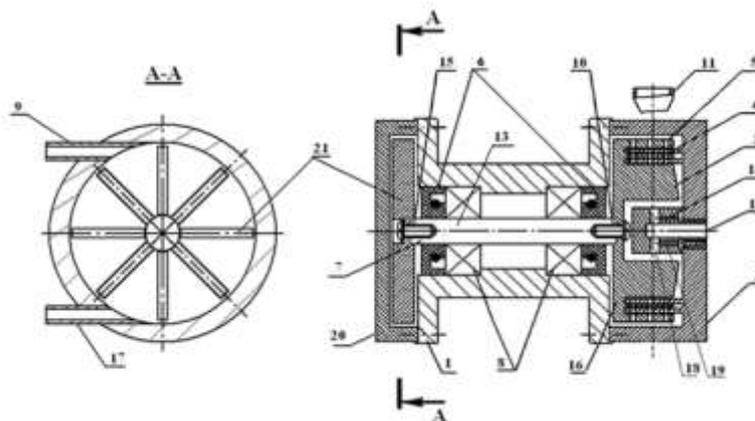
Данное устройство дозирует количество компонентов ВДС в заданной пропорции, а также при увеличении расхода топлива пропорционально увеличивает количество компонентов ВДС. Основные элементы дозатора-смесителя представлены на рисунке 4.16.



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 4.16 – Схема дозатора-смесителя

Для получения высокодисперсной и стабильной ВДС разработан роторно-пульсационный аппарат (РПА), предназначенный для приготовления ВДС на втором этапе (рисунок 4.17).

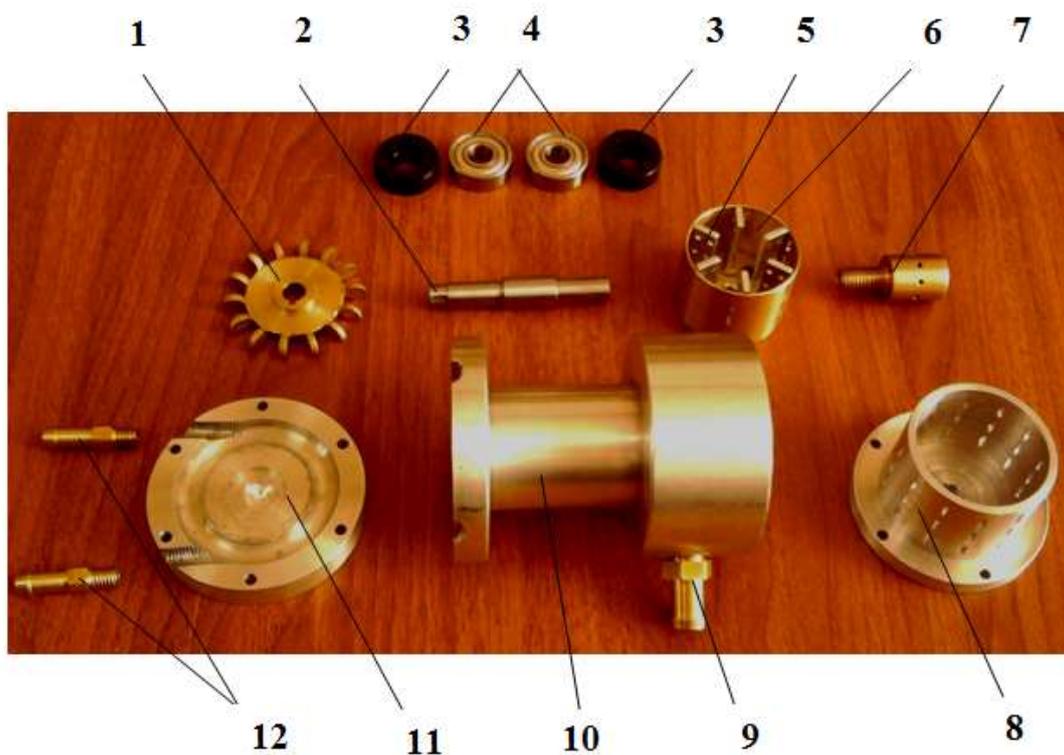


1 – корпус; 2 – статор; 3 – входные лопатки; 4 – ряд зубчатых элементов; 5 – зубчатые элементы; 6 – сальник; 7 – приводной вал ротора; 8 – подшипники; 9 – входной патрубок; 10, 15, – винты; 11 – выпускной патрубок; 12 – входной штуцер; 13 – отверстие для подачи воды; 14 – дозатор-кавитатор; 16 – ротор;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

Рисунок 4.17 – Роторно-пульсационный аппарат для приготовления ВДС

Модель разработанного РПА была выполнена в системе автоматизированного проектирования SolidWorks-2016 и Nero-2012. По полученным чертежам был изготовлен разработанный аппарат, детали которого представлены на рисунке 4.18.

На основе результатов проведенного исследования разработаны и запатентованы способ обработки углеводородного топлива (Патент на изобретение РФ № 2498094 от 10.11.2013 г) и устройство для его реализации (Патент на изобретение РФ № 2469199 от 10.12.2012 г) в системе питания ДВС [116, 117].

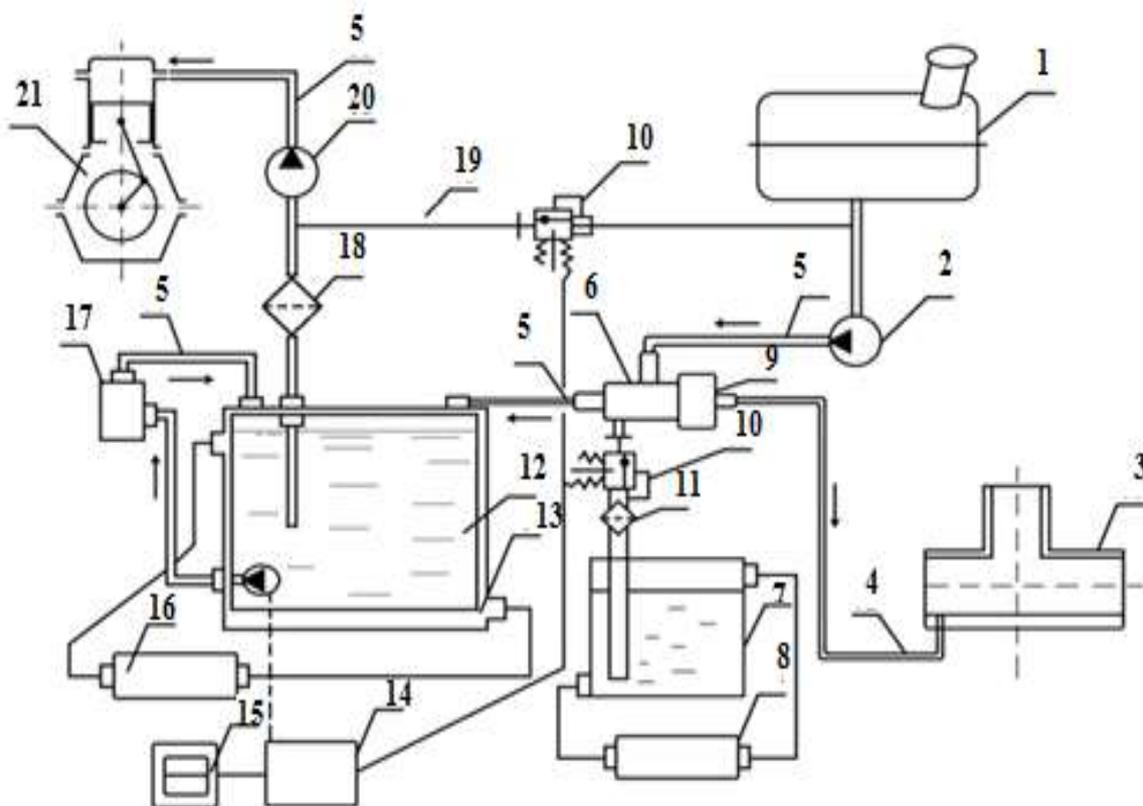


1 – крыльчатка; 2 – вал привода; 3 – сальник; 4 – подшипник; 5 – крыльчатка ротора; 6 – ротор; 7 – дополнительный кавитатор; 8 – статор; 9 – штуцер отводящий; 10 – корпус; 11 – крышка; 12 – штуцеры

Рисунок 4.18 – Детали РПА, изготовленные по разработанным чертежам

Разработанное устройство обеспечивает приготовление ВДС необходимого состава и дисперсности с одновременной подачей её в систему питания ДВС и располагается параллельно штатной системе.

С учетом того, что ВДС приготавливается без дорогостоящего эмульгатора, разработанные устройства должны устанавливаться в моторном отсеке АТТ параллельно штатной топливной системе ДВС без существенного изменения её конструкции. Основные элементы данного технического решения представлены на рисунке 4.19.



- 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

Рисунок 4.19 – Принципиальная схема установки разработанных устройств

Технический результат предлагаемого технического решения заключается в повышении качества топлива путем добавки в дизельное топливо 17 – 20% воды от его количества для улучшения экономических и экологических характеристик ДВС при работе на ВДС.

Указанный технический результат достигается тем, что смесь приготавливается в два этапа. На первом этапе приготавливается ВДС, в которой средний размер капель водного компонента составляет не более 50 мкм. На втором этапе после обработки такой смеси в РПА получается ВДС, где средние размеры капель водного компонента – d_k не более 2 мкм. Затем производится подача ВДС установленного состава и дисперсности из смесительной ёмкости (12) в штатную систему питания ДВС.

В результате проведенных экспериментальных исследований установлено:

- для устойчивой работы дизельных ДВС АТТ минимальное время до начала расслоения водной фазы в ВДС должно составлять не менее 2 минут при среднем диаметре капель водной фазы в ВДС не более 50 мкм после «грубой» обработки в дозаторе-смесителе и не более 2 мкм после обработки в РПА. Рациональность разработанной технологии приготовления и подачи ВДС в ДВС заключается в двухэтапном процессе приготовления ВДС последовательно при помощи разработанных технических устройств –дозатора-смесителя и роторно-пульсационного аппарата динамического принципа действия:

- на первом этапе необходимо осуществлять приготовление ВДС «грубой» дисперсности с добавлением водной фазы, выбранным дозатором-смесителем, предназначенным для дозировки компонента воды (5 – 20%) в топливо и приготовления из них ВДС со средним диаметром капель водной фазы не более 50 мкм при давлении на входе в аппарат 0,14 МПа (рабочее давление насоса) за один цикл обработки;

- на втором этапе необходимо осуществлять приготовление ВДС «тонкой» дисперсности разработанным роторно-пульсационным аппаратом динамического принципа действия, предназначенным для дробления капель топлива и воды и приготовления из них смеси со средним диаметром капель 2 мкм при содержании

водного компонента от 5 до 20% при следующих установленных рациональных режимах работы РПА: частота вращения ротора РПА – 700 мин⁻¹; давление подаваемой «грубой» дисперсной ВДС на входе в РПА – 0,28 МПа; время обработки – 40 секунд.

Также экспериментально обоснованы технические средства (устройства) для реализации технологии приготовления ВДС и подачи ее в систему питания дизельного ДВС АТТ в любых климатических условиях, которые включают: ёмкость для ВДС расчетным объемом не более 2,5 литров, имеющую рубашку с подогревом от системы охлаждения ДВС; ёмкость для жидкого компонента расчетным объемом не менее 4 литров и имеющую рубашку с подогревом от ОГ ДВС; дозатор-смеситель; РПА с циркуляционным перемешиванием ВДС с последующей подачей ее в систему питания двигателя.

Разработанные устройства монтируются в моторном отсеке АТТ, параллельно штатной системе питания.

На основе анализа результатов экспериментальных испытаний определена рациональная рецептура ВДС (17 – 20% водного компонента по отношению к объёму топлива без применения эмульгатора) и режимы работы модернизированной системы питания дизельного ДВС АТТ, обеспечивающие улучшение эксплуатационных и экологических показателей ДВС (снижения удельного расхода топлива двигателя до 18%, содержание сажи в ОГ ДВС) при существенно неизменяющейся (до 2 – 4%) эффективной мощности по сравнению с работой ДВС на обычном дизельном топливе.

4.4. Экспериментальные исследования по определению количественных показателей впрыска дизельного топлива и водно-дизельной смеси через отверстия в распылителе форсунки

В системе питания дизельного двигателя топливо подается в камеру сгорания через форсунки. Их функция заключается в распылении топлива, которое создаёт условия для воспламенения горючей смеси в цилиндре двигателя.

Экспериментальные исследования качества распыла и количества цикловой подачи смеси были проведены в строгом соответствии с ГОСТ 10579-2017 на стенде Т-9161-115, показанного на рисунке 4.20.



1 – ручной насос; 2 – манометр; 3 – ёмкость для топлива; 4 – соединительная муфта

Рисунок 4.20 – Внешний вид стенда Т 9161-115

Цель исследования – визуальный и сравнительный анализ числовых значений количества впрыска дизельного топлива (ДТ) и ВДС, в составе которой находится 17% воды, приготовленной с применением разработанных технических средств.

Перед началом испытаний образцы дизельного топлива и водно-дизельной смеси были исследованы в лаборатории нефтепродуктов для определения значения плотности и фракционного состава (приложение 14).

По результатам анализа плотность дизельного топлива (ρ_{DM}), составляет 819,2 кг/м³. Данный показатель не соответствует требованиям ГОСТ 32511-2013, согласно которому плотность ДТ должна быть не менее 820 кг/м³ и не более 845 кг/м³. Плотность ВДС с добавлением 17% водного компонента к объему топлива – 824 кг/м³ и соответствует требованиям ГОСТ 32511-2013. Повышение плотности ВДС объясняется тем, что вода обладает большей плотностью и в

результате обработки дизельного топлива с добавлением 17% водной фазы разработанными техническими средствами происходит увеличение плотности, вследствие чего наблюдается улучшение качества приготавливаемой смеси.

В результате проведения эксперимента с использованием стенда Т-9161-115 были получены числовые показатели цикловой подачи исследуемых образцов при проведении 100 повторений циклов впрыска, которые представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Показатели цикловой подачи исследуемых образцов ДТ и ВДС

№ эксперимента	Цикловая подача топлива		Разница цикловой подачи ДТ и ВДС, %
	ДТ, гр.	ВДС, содержащая 17% воды, гр.	
1	21,32	21,95	2,95
2	21,89	22,23	1,55
3	21,64	22,11	2,17
Среднее значение распыла	21,62	22,09	2,17

Из анализа полученных результатов видно, что при впрыске ВДС цикловая подача за 100 циклов впрыска больше на 2,17%.

На основании данных, представленных в таблице 4.7, определялась цикловая подача одного впрыска исследуемых ДТ и ВДС через форсунку по формуле:

$$q = \frac{V}{i},$$

где q – цикловая подача жидкости, г/цикл; V – количество жидкости, собранное мерной колбой, мм³/г; i – количество повторений цикла.

Цикловая подача дизельного топлива (q_{dm}):

$$q_{dm} = \frac{21,62}{100} = 0,21 \text{ г/цикл};$$

Цикловая подача водно-дизельной смеси ($q_{вдс}$):

$$q_{вдс} = \frac{22,09}{100} = 0,22 \text{ г/цикл}$$

Полученные результаты показали увеличение цикловой подачи смеси по сравнению с обычным дизельным топливом на 0,01 грамм за счет увеличения плотности ВДС на 4 кг/м³.

Для тракторов версий МТЗ-82 с двигателем Д-240 в соответствии с технической документацией параметров настройки топливной аппаратуры давление впрыска должно быть 17,5 мПа.

При проведении экспериментальных исследований для сравнения распыла ДТ и ВДС экспериментально установлено, что впрыск ВДС происходит при давлении 17,9 мПа, а дизельного топлива – 17,7 мПа.

Параметры струи распыла характеризуются ее дальностью, углом раскрытия конуса и дисперсностью распыления. На рисунке 4.21 представлена форсунка, осуществляющая распыление исследуемых образцов.



а) впрыск дизельного топлива б) впрыск водно-дизельной смеси

Рисунок 4.21 – Распыл форсунки

Согласно ГОСТ 105179–2017 [122] качество распыла при визуальном наблюдении должно быть в виде тумана без сплошных струй и каких-либо сгущений.

При проведении исследований наблюдалось, что при распыле смеси дальность струи увеличилась на 5 – 10%, угол раскрытия конуса увеличился на 3 градуса и распыл более туманообразен.

Полученные результаты показали, что физические процессы, способствующие улучшению качества распыления ВДС происходят из-за более интенсивного насыщения смеси воздухом.

Поэтому при подаче такой смеси при выходе из распылителя форсунки происходят схлопывания воздушных пузырьков, и в результате такого схлопывания в камере сгорания улучшается процесс смесеобразования, что приводит к улучшению экономических и экологических показателей работы двигателя.

4.5. Результаты проведенных исследований технических средств (устройств) для реализации технологии приготовления водно-дизельной смеси и ее подачи в систему питания дизельного двигателя при осуществлении транспортировки сельскохозяйственной продукции в период проведения посевной и уборочной деятельности

При проведении диссертационных исследований испытания, проделанные при осуществлении транспортировки сельскохозяйственной продукции в период проведения посевной и уборочной деятельности, являются одними из самых важных во всем исследовании, которые подтверждают сходимость полученных теоретических и практических расчетов улучшения эксплуатационных и экологических характеристик работы двигателя под нагрузкой и позволяют оценить предполагаемый экономический эффект, полученный в результате применения предлагаемых технических устройств для реализации технологии приготовления ВДС и ее подачи в штатную систему питания автотракторной техники.

Для проведения испытаний выбран трактор МТЗ-82 1990 года выпуска с двигателем Д-240 и с наработкой 9362 моточасов, представленный на рисунке 4.22.



Рисунок 4.22–Внешний вид испытуемого трактора МТЗ-82

Проведенный комплексный осмотр двигателя Д-240 показал, что силовой агрегат технически исправен. На дне поршней и в камерах сгорания наблюдаются следы загрязнения.

Капитальный ремонт топливной системы проводился осенью 2018 года с заменой ТНВД и форсунок. Топливный фильтр заменен, соединительные трубопроводы системы питания герметичны.

Дизельный двигатель Д-240 технически исправен и пригоден для проведения испытаний по приготовлению и подачи ВДС в систему питания с помощью разработанных технических средств. Измерения израсходованного топлива производились следующим образом. На емкость, в которую заливается топливо, наносится основная метка, которая соответствует объему 20 литров, и промежуточные метки с шагом 100 миллилитров. Емкость закрепляется на тракторе и наполняется топливом до отметки 20 литров, далее проводится прокачка топливной системы, производится запуск двигателя и его прогрев до рабочей температуры. После того как двигатель прогрелся, осуществляется его полная остановка и емкость для топлива наполняется до отметки, равной 20 литрам. Снятие показателей израсходованного топлива производится мерной колбой. Количественные показатели топлива, затраченные для наполнения

емкости до отметки, установленной на начало испытаний показывают расход топлива в ходе проведения испытаний.

Для более точного проведения испытаний с грузом в прицеп закладывается 1600 кг сахарной свеклы. Согласно паспортным данным грузоподъемность трактора МТЗ-82 должна быть не более 3650 кг. При проведении взвешивания фактическая масса составила 3400 кг.

Давление в шинах, согласно паспортным данным трактора, составляет 1,4 кгс/см², прицепа – 3,5 кгс/см².

Натурные испытания проводились по предложенной методике. Выбирается определенный отрезок дороги, не имеющий существенных нарушений дорожного покрытия, затяжных подъемов, спусков и крутых поворотов. Выбранный прямолинейный участок дороги протяженностью в одну сторону 7,5 километров, между населенными пунктами Верхняя Плавица и Малый Самовец Эртильского района Воронежской области, который соответствует по качеству дорожного покрытия ГОСТ Р 50597 – 93, пригоден для проведения испытаний.

Маршрут движения показан на рисунке 4.23.

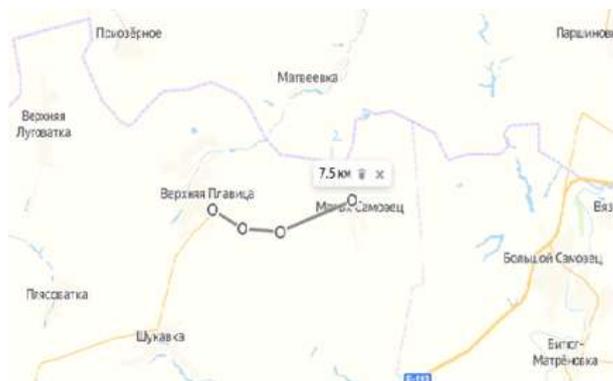


Рисунок 4.23– Маршрут движения трактора МТЗ-82

Для недопущения влияния рельефа местности и уклона асфальтированного дорожного полотна на наполнение емкости топливом начало и окончание движения испытуемого агрегата производится с одной и той же обозначенной точки на дороге.

Осуществляется прогрев двигателя трактора до рабочей температуры, после чего производится остановка двигателя. Топливная емкость, установленная на

время испытаний, наполняется до верхней отметки. Далее производится проезд по определенному участку дороги. По окончании заезда трактор останавливается на ранее обозначенном месте и производится полная остановка двигателя. При помощи мерной колбы с точностью до 5 миллилитров производится доливка дизельного топлива в емкость до уровня отметки, которая соответствует началу испытаний. При помощи вышеуказанного способа осуществляется замер израсходованного топлива на обозначенном участке дороги протяженностью 15 км.

Начало движения трактора осуществляется на 7-ой передаче, затем водитель увеличивает обороты по тахометру до 2000 оборотов в минуту и производит переключение на 9-ую передачу. Далее на оборотах двигателя, равным 1600 оборотов в минуту, осуществляется проезд всего обозначенного для испытаний участка дороги. Чтобы выполнить разворот, за 25 – 30 метров до перекрестка, водитель осуществляет переход на 7-ю передачу, далее при въезде на перекресток при оборотах равных 1000 оборотов в минуту выполняет в один прием разворот. После выполнения данного маневра дальнейшее движение транспортного средства происходит на 9-ой передаче при сохранении оборотов двигателя, равных 1600 оборотов в минуту. За 15 – 20 метров до обозначенной точки водитель выключает механизм сцепления и затем производит полную остановку трактора при помощи рабочей тормозной системы на строго обозначенном месте, с которого осуществлялось начало движения. Далее производится полная остановка двигателя и проводятся замеры израсходованного топлива мерной колбой, имеющей точность показаний, равной 5 миллилитрам. Для более точного проведения испытаний после каждого проезда также проверяется давление в шинах.

Если обнаружена неисправность испытуемого трактора или режим его движения нарушен, испытания считаются выполненными некорректно. Трактор устанавливается на исходную позицию, и проведение испытаний начинается заново.

Испытания производились в течение 6 повторений. Три – с подачей в систему питания обычного дизельного топлива и три - с подачей водно-дизельной смеси с добавлением 17% водной фазы к объему

топлива, приготовленной установленными разработанными техническими устройствами. Испытания проводились в течении одного дня при одних и тех же метеорологических условиях. Результаты измерений представлены в таблице 4.8.

Таблица 4.8 – Параметры испытуемого трактора МТЗ-82 при подаче в систему питания дизельного топлива.

№ эксперимента	Расход топлива	Пройденное расстояние, км.	Давление в шинах, МПа.	Атмосферное давление, мм. рт. ст.	Влажность, %	Температура воздуха, °С
1	9,2	15	0,2	745	58	19
2	9,4	15	0,2	745	60	19,5
3	9,3	15	0,2	743	59	20
4	20	32,6	0,2	741	60	19,5

Далее на трактор устанавливались технические устройства для приготовления и подачи ВДС в систему питания, представленные на рисунке 4.24, и испытания повторялись в полном объеме.



1 – топливный насос высокого давления, 2, 7 – топливные шланги,
 3 – РПА, 4 – электрический насос, 5 – смешительная ёмкость для ВДС,
 6 – емкость для воды, 8 – дозатор-смеситель

Рисунок 4.24– Трактор МТЗ-82 с установленными разработанными устройствами для приготовления и подачи ВДС в систему питания

По результатам проведения испытаний были получены числовые значения расхода топлива, занесенные в таблицу 4.9, которые являются подтверждением эффективности применения технических средств для приготовления и подачи ВДС в систему питания ДВС.

Таблица 4.9 – Параметры трактора МТЗ-82 при подаче в систему питания водно-дизельной смеси с содержанием 17% водной фазы.

№ эксперимента	Расход топлива, л	Пройденное расстояние, км	Давление в шинах, МПа	Атмосферное давление, мм рт. ст.	Влажность, %	Температура воздуха, °С
1	7,7	15	0,2	744	60	19
2	7,6	15	0,2	744	56	19,5
3	7,8	15	0,2	745	58	20
4	20	38,9	0,2	747	60	19,5

Полученные средние показатели расхода топлива при работе трактора МТЗ-82 с прицепом и массой перевозимого груза, равной 1600 кг, при работе на ДТ и ВДС, приготовленной с добавкой 17% воды разработанными техническими средствами без применения эмульгатора, представлены в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Средние результаты расхода ДТ и ВДС при проведении испытаний

Параметр	При работе трактора на ДТ	При работе трактора на ВДС	Разница в единицах	Разница в %
Средний расход топлива по заправке	9,2	7,70	1,6	16,4
Средний расход топлива по баку	9,2	7.68	1,62	16,5
Давление в шинах	0,2	0,2	-	-
Атмосферное давление	743,5	745	1,5	0,27

Показатели расхода дизельного двигателя представлены на рисунке 4.25.

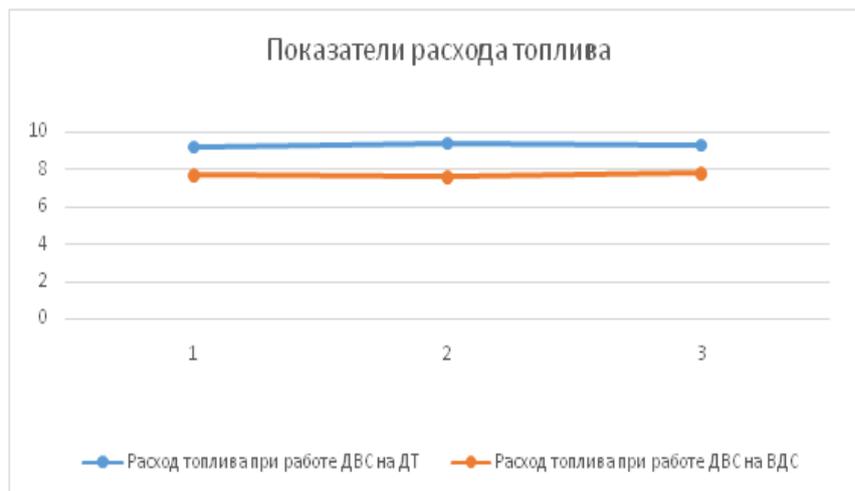


Рисунок 4.25 –Показатели расхода дизельного двигателя

В результате проведения натурных испытаний в условиях реально выполняемых работ по транспортировке сельскохозяйственной продукции в сельскохозяйственном предприятии «Виктория» при работе двигателя Д-240 на обычном дизельном топливе и на ВДС с содержанием 17% водного компонента, полученной с помощью разработанных технических устройств, установлено снижение расхода на 16,4% при работе двигателя на ВДС и снижение содержания сажи в ОГ ДВС по значению K на 20 – 22%, по значению N на 30 – 35% (приложение 15).

5. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ, РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРАКТИЧЕСКОМУ ПРИМЕНЕНИЮ РАЗРАБОТАННЫХ УСТРОЙСТВ

5.1. Оценка экономической эффективности от внедрения разработанных устройств

Технология приготовления ВДС, реализуемая с помощью технических средств для подачи в систему питания ДВС, примененная на сельскохозяйственном предприятии «Виктория», а также в ООО «ТРАНССТРОЙМЕХАНИЗАЦИЯ» г. Гагарин », АО «Раненбург – комплекс» г. Чаплыгин, ЗАО «Агро-Инвест – Касторное» п. Касторное Курской области, позволяет без существенного изменения конструкции штатной топливной аппаратуры двигателя в пределах заводских регулировок снизить: удельный расход топлива до 18%, содержание сажи в ОГ ДВС по значению K на 20 – 22%, по значению N на 30 – 35%, а также дополнительно позволила снизить: интенсивность износа (цилиндропоршневой группы на 30 – 45%, подшипников коленчатого вала на 40 – 80%, нагарообразования в камере сгорания (в зоне поршневых канавок до 80%), что обеспечило повышение давления в конце такта сжатия (компрессии) в цилиндрах двигателя на 5 – 7 %; температуру ОГ на 30 – 40°C. Проведенная дополнительно разборка двигателя показала, что на деталях ДВС отсутствует нагар и следы процесса коррозии.

Совокупность имеющихся параметров работы серийного дизельного двигателя с установленными разработанными техническими устройствами для приготовления ВДС и ее дальнейшей подачей в штатную систему питания дизеля, а также показатели финансовых затрат в рамках сельскохозяйственного предприятия, позволяет произвести оценку экономического эффекта согласно методике, обоснованной в типовых расчетах эффективности модернизации и расчета окупаемости передовых инженерно-технических разработок при внедрении в транспортные и технологические процессы в АПК [122, 125].

Экономический эффект, полученный в результате внедрения разработанной технологии и технических средств для ее применения в системе питания двигателя на сельскохозяйственном предприятии «Виктория», рассчитывался по ценам 2020 года.

На начальном этапе, чтобы обосновать разработанную технологию и технические средства для ее реализации без оценки стоимости при минимальных приведенных затратах, определяется экономическая эффективность капитальных вложений.

$$C_i + E_H \times K_i \rightarrow \min \quad (5.1)$$

где C – текущие эксплуатационные затраты, руб.; E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений; K – капитальные вложения, руб.

Капитальные вложения – это денежные средства, выделяемые для проведения модернизации действующих основных фондов.

Денежные средства, затраченные на изготовление и установку разработанных технических средств, также включены в сумму капитальных вложений. Затраты на модернизацию определялись по формуле:

$$K_B = 3u_{o.d.} + 3_{n.d.} + 3_{n.p.} + 3_{o.n.}, \quad (5.2)$$

где $3u_{o.d.}$ – денежные средства, затраченные на изготовление комплектующих разработанного устройства, руб.; $3_{n.d.}$ – цена покупных комплектующих, руб.; $3_{n.p.}$ – заработная плата персонала, задействованного на сборке разработанного устройства, руб.; $3_{o.n.}$ – общепроизводственные расходы, руб.

Денежные средства, затраченные на изготовление комплектующих разработанного устройства, рассчитываются по формуле:

$$3u_{o.d.} = C_{m.u} + D_{n.p.}, \quad (5.3)$$

где $C_{м.и}$ – стоимость материала для изготовления комплектующих разработанного устройства, руб.; $D_{н.р.}$ – заработная плата персонала, задействованного для изготовления комплектующих разработанного устройства, руб.

Стоимость материалов для изготовления комплектующих разработанного устройства:

$$C_{м.и} = C_e \times Q_m, \quad (5.4)$$

где C_e – стоимость одной единицы материала, руб.; Q_m – необходимое количество материала, см³.

Таблица 5.1 – Денежные средства, затраченные на материалы для изготовления разработанных устройств

Наименование материала	Единицы измерения	Необходимое количество	Цена за одну единицу, руб.	Общая сумма, руб.
Дюраль	см ³	60	120	7200
Пластик	см ³	10	20	200
Итого затрат, руб.				7400

Полная заработная плата персонала, осуществляющего сборку разработанных технических средств, определяется по формуле:

$$D_{н.р.} = t \times A_r \times K_d \times K_n, \quad (5.5)$$

где t – время, потраченное на сборку разработанных технических средств, час.; A_r – часовая ставка персонала, руб.; K_d – дополнительный коэффициент доплаты заработной плате, ($K_d = 1,125$); K_n – дополнительный коэффициент доплаты на социальные нужды ($K_n = 1,26$).

Таблица 5.2 – Суммарные затраты на изготовление и установку разработанных устройств

Наименование	Количество времени, на изготовление, час.	Ставка персонала, руб./час.	K_d	K_n	Всего затрат, руб.
Изготовление деталей дозатора-смесителя и РПА	34	120	1,125	1,26	5783,40

Установка разработанной системы заключается в монтаже дополнительных емкостей промышленного образца, разработанных устройств и подсоединению топливных шлангов к топливному насосу и топливному баку согласно разработанной схеме. Следовательно, $D_{n.p} = 0$, поскольку эта операция несложная и не требует финансовых затрат, $Z_{n.d.} = 0$, так как не требуется специальных знаний и навыков, а также не уделяется времени на установку разработанных технических устройств для приготовления и подачи ВДС в систему питания двигателя.

Общепроизводственные расходы рассчитываются по формуле:

$$Z_{o.n.} = D_{np} \times R_{on} \div 100, \quad (5.6)$$

где D_{np} – полная заработная плата персонала, осуществляющего сборку разработанных технических средств, руб.; R_{on} – процент общепроизводственных расходов ($R_{on}=62\%$).

$$Z_{on} = 5183,40 \times 62 = 3585,71$$

Общая сумма капитальных вложений на монтаж разработанных устройств вычисляется, исходя из формулы (5.2):

$$K_b = 13183,4 + 0 + 0 + 3585,71 = 16769,11$$

Для определения экономического эффекта от внедрения разработанной технологии приготовления ВДС и технических устройств для ее реализации в системе питания двигателя, позволяющих улучшить экономические и экологические показатели работы дизельного двигателя в таблице 5.3 представлены основные параметры трактора МТЗ-82.

Таблица 5.3 – Параметры трактора МТЗ-82

Параметры	ТракторМТЗ-82	ТракторМТЗ-82 (с установленными устройствами)
Нормативная мощность двигателя, кВт	60	60
Часовой расход топлива при максимальном крутящем моменте, кг/ч	6,4	5,4
Стоимость дизельного топлива, руб./кг	57,5	57,5
Сезонная наработка, ч	580	580
Коэффициент использования трактора	0,8	0,8

Экономический эффект от внедрения разработанной технологии приготовления ВДС и технических устройств для ее реализации в системе питания двигателя рассчитывается по формуле:

$$\Theta = \left[\Pi_1 \frac{B_2}{B_1} \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} + \frac{(I'_1 - I'_2) - E_H \times (K'_1 - K'_2)}{P_2 + E_H} - \Pi_2 \right] \times A, \quad (5.7)$$

где Π_1 – затраты в существующем варианте; Π_2 – затраты в проектном варианте; B_1 – годовой объем работ; P_1, P_2 – отчисления средств на восстановление от балансовой стоимости; I_1, I_2 – расходы на эксплуатацию разработанных технических средств; K_1, K_2 – капитальные вложения в существующем и проектном вариантах; A – количество разработанных технических средств.

Издержки в результате эксплуатации определяются по формуле:

$$I' = C_n + T + A + P + \Pi \quad (5.8)$$

где C_n – заработная плата персонала; T – затраты на горюче-смазочные материалы, включая дизельное топливо; A – амортизационные отчисления на полное восстановление основных средств; P – затраты на проведение ремонтных работ и ежедневное техническое обслуживание; Π – прочие затраты (стоимость необходимых материалов, затраты на переоборудование и др.).

Заработная плата персонала определяется по формуле:

$$C_n = \sum M \times S_q \times Y_0 \times X_2, \quad (5.9)$$

где M – общее количество персонала, чел.; S_q – часовая тарифная ставка, руб. (часовая тарифная ставка тракториста 250,03 руб./ч); Y_0 – коэффициент увеличения оплаты труда по тарифу; X_2 – годовая нормативная наработка, ч.

$$S_q = M_{om} \times K_T \times K_{Ym} / (t_{pдн} \times t_{пч}), \text{руб.}, \quad (5.10)$$

где M_{om} – минимальный размер оплаты труда; K_T – коэффициент по тарифному разряду, $K_T = 2,02$; K_{Ym} – коэффициент условий труда, $K_{Ym} = 1,8$; $t_{pдн}$ – количество рабочих дней за один месяц, $t_{pдн} = 25,2$ дня.; $t_{пч}$ – среднее количество часов в рабочем дне, $t_{пч} = 7$ ч.

Коэффициент $Y_0 = K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5$ рассчитываем при эксплуатации трактора при проведении сельскохозяйственных работ:

K_1 – дополнительная плата за исполнение работы ($K_1 = 1,25 - 1,50$); K_2 – надбавка за классную квалификацию ($K_2 = 1,1 - 1,2$); K_3 – коэффициент, учитывающий дополнительную заработную плату ($K_3 = 1,15$); K_4 – коэффициент начисления на

социальные нужды ($K_4 = 1,26$); K_5 – коэффициент, для учета оплаты отпуска ($K_5 = 1,06 - 1,1$).

Коэффициент увеличения оплаты труда рабочих равен:

$$y_0 = 1,37 \times 1,15 \times 1,15 \times 1,26 \times 1,08 = 2,47$$
$$C_n = 2 \times 250,03 \times 2,47 \times 580 = 716385,96 \text{ руб.}$$

Общие затраты на горюче-смазочные материалы определяются по формуле:

$$T = Z_{dT} + Z_M \quad (5.11)$$

Затраты на дизельное топливо определяются по формуле:

$$Z_{dT} = G_T \times K_H \times C_{dT} \times T_T, \text{ руб.} \quad (5.12)$$

где G_T – часовой расход топлива, кг/ч; K_H – коэффициент использования трактора; C_{dT} – цена за 1 кг дизельного топлива, руб; T_T – годовая наработка по нормативу, ч.

$$Z_{dT_1} = 6,4 \times 0,8 \times 57,5 \times 580 = 170752 \text{ руб.}$$

$$Z_{dT_2} = 5,4 \times 0,8 \times 57,5 \times 580 = 144072 \text{ руб.}$$

Затраты на моторное масло определяются по формуле:

$$Z_M = G_T \times T_T \times H \times C_M, \text{ руб.}, \quad (5.13)$$

где H – расход моторного масла по норме от расхода дизельного топлива (0,6%); C_M – цена моторного масла, руб.

$$z_{M_1} = 6,4 \times 0,8 \times 0,6 \times 98,3 = 301,98 \text{ руб.}$$

$$z_{M_2} = 5,4 \times 0,8 \times 0,6 \times 98,3 = 254,79 \text{ руб.}$$

Следовательно, общие затраты на горюче-смазочные материалы трактора МТЗ-82 в исходном варианте и трактора МТЗ-82 с установленными разработанными техническими устройствами составят:

$$T_1 = 170752 + 301,98 = 171053,98 \text{ руб.}$$

$$T_2 = 144072 + 257,79 = 144326,79 \text{ руб.}$$

Амортизационные отчисления, приходящиеся на работу трактора МТЗ-82:

$$A = B \times a / 100, \text{ руб.} \quad (5.14)$$

где B – остаточная балансовая стоимость трактора в исходном варианте, руб.;
 a – норма амортизационных отчислений ($a = 12,5\%$).

$$A_1 = 48000 \times 12,5 / 100 = 6000 \text{ руб.}$$

$$A_2 = 64769,11 \times 12,5 / 100 = 8096,14 \text{ руб.}$$

Затраты на ремонт и техническое обслуживание трактора:

$$P = B \times p / 100, \text{ руб.}, \quad (5.15)$$

где p – нормативы затрат денежных средств на ремонт и техническое обслуживание и трактора ($p = 10\%$).

$$P_1 = 48000 \times 10 / 100 = 4800 \text{ руб.}$$

$$P_2 = 64769,11 \times 10 / 100 = 6476,9 \text{ руб.}$$

Количество воды, необходимой для приготовления водно-дизельной смеси, рационального состава:

$$5,4 \times 580 \times 17\% = 522,44 \text{ л.}$$

Цена воды за 1л – 12 руб.

Стоимость воды составила: $522,44 \times 12 = 6389,28$ руб.

Включим в эксплуатационные издержки затраты на воду.

Эксплуатационные издержки составят:

$$I'_1 = 716385,96 + 171053,98 + 6000 + 4800 = 898239,94 \text{ руб.}$$

$$I'_2 = 716385,96 + 144326,76 + 8096,14 + 6476,9 + 6389,28 = 881675,07 \text{ руб.}$$

Годовая экономия денежных средств определяется по формуле:

$$\mathcal{E}_T = (I_1 - I_2), \quad (5.16)$$

где I_1 – эксплуатационные затраты на один трактор МТЗ-82 в исходном варианте, руб.; I_2 – эксплуатационные затраты на один трактор МТЗ-82 с установленными разработанными техническими устройствами, руб.

$$\mathcal{E}_T = (898239,94 - 881675,07) = 16564,87 \text{ руб.}$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений определяется по формуле:

$$T = \Delta K_B / \mathcal{E}_T, \quad (5.17)$$

где T – срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, лет; ΔK_B – дополнительные капитальные вложения, руб.; \mathcal{E}_T – годовая экономия, руб.

$$T = 16769,11 / 16564,87 = 1,01 \text{ сезона.}$$

Результаты расчета экономической эффективности сведены в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 – Экономическая эффективность модернизированного трактора

Показатель	МТЗ – 82 (работа на ДТ)	МТЗ -82 (работа на ВДС, содержащей 17% воды)
Балансовая стоимость трактора, руб.	48000	64769,11
Дополнительные затраты, руб.	-	16769,11
Расход топлива, кг/ч	6,4	5,4
Эксплуатационные издержки, тыс. руб.	898,2	881,7
Сезонная экономия, руб.	-	16564,87
Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений, сезон		1,01

Также необходимо учесть экономический эффект, получаемый от уменьшения выбросов в окружающую среду вредных веществ, находящихся в ОГ ДВС АТТ при работе двигателей на ВДС по сравнению с работой на дизельном топливе.

Получение стоимостных оценок ущерба необходимо выполнять последовательно, в несколько этапов. Вначале производится определение количества воздействия, то есть выполняется перевод натуральных измерителей в стоимостные, где базируется сельскохозяйственное предприятие от воздействия сажи, содержащейся в ОГ ДВС.

Оценка стоимости причиненного ущерба от выбросов в окружающую среду вредных веществ за 1 час работы ДВС АТТ проводилась на сельскохозяйственном предприятии «Виктория» путем умножения стоимости выброса вредного вещества на его количество за час работы.

В данном сельскохозяйственном предприятии в 2020 году эксплуатировалось 25 дизельных ДВС автотракторной техники следующих марок МТЗ-80, МТЗ-82, Т-150К, К-700. Выражение для расчета ожидаемой величины

предотвращенного ущерба в результате их перевода на ВДС, представляется в виде формулы:

$$Y_{np} = \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m N_{ij} S_{ij} k_{Tij} y_{y\delta i} \eta_i \cdot 10^{-9}, \text{ тыс. руб} \quad (5.18)$$

где $i = 1, j = 1$; l – оцениваемые вредные вещества, содержащиеся в ОГ; m – категории оцениваемых ДВС; N_{ij} – общее количество дизелей j -той категории, ед.; S_{ij} – количество наработанных моточасов дизеля при обкатке j -той категории, кг/год; k_{Tij} – удельный выброс i -того вредного вещества j -той категорией, г/км; $y_{y\delta i}$ – удельный ущерб от i -того вредного вещества, руб./кг; η_i – эффективность применения ВДС по i -тому вредному веществу, %.

Результаты оценки ожидаемых величин ущерба от эксплуатации дизелей и предотвращенного ущерба по саже в результате перевода их на ВДС представлены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Оценка ожидаемых величин предотвращенного ущерба при эксплуатации ДВС на сельскохозяйственном предприятии «Виктория»

Вещества в ОГ	Категории ДВС	Численность изделий (N_j), ед.	Расход топлива (S_j), кг/год	Удельный ущерб ($y_{y\delta i}$) руб/т	Удельные выбросы (K_{Tij}), г/час	Эффективность применения ВДС (η_i), %	Предотвращенный ущерб (Y_{np}), тыс.руб/год
Сажа	МТЗ-80,82	15	170752	120...180	37	20...35	$0,507 \times 10$
	Т-150К,	8	94653		52		$0,710 \times 10$
	К-700	2	6590		19		$1,753 \times 10$
Итого: полный предотвращенный ущерб, тыс. руб./год							$2,97 \times 10$

Таким образом, экономический эффект на сельскохозяйственном предприятии «Виктория» от внедрения технологии приготовления ВДС с

применением разработанных технических устройств для ее подачи в систему питания дизельных ДВС АТТ за 2020 год составит:

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = \mathcal{E}_Г + Y_{\text{пр}}. \quad (5.19)$$

$$\mathcal{E}_{\text{общ}} = 414121,75 + 29700 = 443821 \text{ рубль } 75 \text{ коп.} \quad (5.20)$$

Результаты диссертационных исследований внедрены в сельскохозяйственное предприятие «Виктория» Эртильского района Воронежской области, ООО «ТРАНССТРОЙМЕХАНИЗАЦИЯ» г. Гагарин; АО «Раненбург – комплекс» г. Чаплыгин, ЗАО «Агро-Инвест – Касторное» п. Касторное Курской области, в учебный процесс Мичуринского государственного аграрного университета, Липецкого института повышения квалификации и переподготовки кадров в АПК.

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

5.2. Рекомендации по практическому применению разработанных устройств

Разработанные технические средства (устройства) для приготовления и подачи ВДС в систему питания двигателя устанавливаются в моторном отсеке дизельной АТТ.

Установка технических средств производится параллельно штатной системе питания между топливным баком и топливным насосом.

На основании проведенных исследований разработаны следующие рекомендации по практическому их применению на ДВС АТТ:

1. В состав модернизированной системы для приготовления и подачи ВДС в ДВС должны входить следующие элементы: топливный бак; ёмкость для жидкости; смесительная ёмкость; топливные насосы; дозатор-смеситель, (представляет собой статический аппарат эжекционного принципа действия,

установленный на бачке с жидкостью, имеющий вакуумную камеру); фильтр; роторно-пульсационный аппарат (установлен непосредственно у смесительной ёмкости); топливный шланг; вакуумная трубка; электромагнитные клапаны, включающие и выключающие подачу жидкости; запорная игла и поплавков, регулирующий уровень ВДС в ёмкости; блок управления; тумблер питания, установленный в кабине водителя на панели приборов. Общая стоимость комплектующих элементов системы в средних ценах на 2020 год составляет 16769 рублей.

2. Основные элементы должны монтироваться в моторном отсеке АТТ с выносом тумблера питания в кабину водителя на панель приборов. Монтаж может осуществляться специалистом предприятий АПК или самостоятельно водителем АТТ. В качестве бака для жидкости может использоваться стандартный бачок омывателя, который устанавливается в моторном отсеке АТТ с обеспечением подогрева при отрицательной температуре окружающего воздуха. Ориентировочная расчётная ёмкость бака – не менее 4 литров при расходе воды – от 1 до 3,4 литров на 10 – 20 литров топлива. На смесительной ёмкости устанавливается дозатор-смеситель для автоматической подачи дозируемой жидкости. Смесительную ёмкость, из которой поступает ВДС в ДВС, следует установить в районе топливopодкачивающего насоса или топливного насоса высокого давления, чтобы сохранить высокую однородность и дисперсность полученной ВДС. Рубашку смесительной ёмкости для ВДС необходимо соединять с системой охлаждения двигателя с целью подогрева, находящейся в ней смеси. Размещение остальных элементов следует осуществлять, исходя из возможностей их крепления в моторном отсеке.

3. Перед монтажом разработанных устройств следует произвести тщательную регулировку штатной топливной аппаратуры. При настройке разработанных устройств системы следует ориентироваться на показания тахометра или другого счётчика количества оборотов коленчатого вала ДВС. Далее необходимо с помощью регулировочного винта отрегулировать устанавливаемый дозатор на нужное количество подаваемой жидкости в ВДС. Данная регулировка производится поэтапно. Отрегулировав винтом, находящимся

на дозаторе, количество компонентов ВДС, система запускается и работает не менее 10 минут. По истечении этого времени производится замер количества компонентов ВДС в смесительной ёмкости. Рациональное содержание водного компонента в смесительной ёмкости должно соответствовать не более 17 – 20%.

Подача дозируемых в топливо компонентов производится автоматически дозирующим устройством. Регулировка данного дозирующего устройства производится при эксплуатации АТТ. При работе системы питания в режиме подачи водного компонента на холостом ходу необходимо произвести регулировку числа оборотов холостого хода и момента опережения впрыска топлива до параметров, указанных в руководстве по технической эксплуатации. При подаче ВДС в систему питания ДВС АТТ с содержанием водного компонента в ней 17 – 20% угол опережения впрыска топлива необходимо увеличивать до 8 градусов. Условием правильной регулировки состава и дисперсности ВДС является устойчивая работа прогретого ДВС на холостом ходу.

После выполнения указанных операций настройка модернизированной системы может корректироваться в соответствии с требованиями, предъявляемыми к конкретному виду АТТ, например, такими как минимизация расхода топлива при проведении транспортных работ, увеличение приемистости ДВС при культивации земель.

4. Перед пуском ДВС тумблер питания, который установлен в кабине водителя, устанавливается в положение «отключено». При этом электромагнитный клапан закрыт и подача жидкости в систему отключена. Осуществляется запуск ДВС, и происходит прогрев ДВС на дизельном топливе с улучшением его качества путем циркуляции через РПА. При этом происходит забор топлива штатным топливным насосом из смесительной ёмкости с уровня не ниже $0,5h$, где h – высота уровня топлива в смесительной ёмкости.

Когда ДВС прогреет, то подача компонентов ВДС происходит автоматически, с помощью дозатора-смесителя и контролируется блоком управления. Сигнал с датчика температуры ДВС поступает в блок управления, который открывает электромагнитный клапан, одновременно включается второй

дополнительный топливный насос, установленный в смесительной ёмкости. При этом в ДВС подается стабильная высокодисперсная ВДС.

5. Для приготовления и подачи ВДС в ДВС необходимо использовать разработанные устройства: конструкцию динамического роторно-пульсационного аппарата) и дозатора-смесителя; последовательную двухэтапную работу дозатора и РПА. Предложенные технические средства (устройства) с выбранными параметрами позволили получить наилучшие эксплуатационные и экологические показатели дизельных ДВС.

С экономической точки зрения следует увеличить угол опережения впрыска топлива до 8 градусов поворота коленчатого вала ДВС при применении технических средств (устройств) для приготовления и подачи ВДС с содержанием водной фазы в ней 17 – 20%.

В разработанной технологии необходимо использовать дистиллированную воду. Не допускается использование воды из открытых водоёмов без ее тонкой очистки от механических и химических примесей. При относительной влажности воздуха более 90% (особенно в условиях тумана) необходимо снижать количество водного компонента в ВДС до 14% по отношению к объему топлива путем регулировки дозатора.

6. В повседневной деятельности сельскохозяйственного предприятия дистиллированной водой, необходимой для эксплуатации разработанной системы, может обеспечить дистиллятор для получения дистиллированной воды.

7. Эксплуатация в зимний период предусматривает вариант использования подогрева воды в системе питания ДВС.

С учетом проведенного анализа из работ [121, 122] следует, что при эксплуатации АТТ в условиях низких температур может быть использована смесь, состоящая из 83% дизельного топлива, 8,5% этанола, 8,5% воды, которая позволит эксплуатировать систему приготовления и подачи ВДС в ДВС АТТ в зимний период без подогрева воды.

Таким образом, внедрение в повседневную деятельность сельскохозяйственного предприятия «Виктория» разработанных устройств и рекомендаций по их практическому применению в системе питания ДВС АТТ на

основе использования ВДС с водным компонентом 17 – 20% и средним диаметром капель водной фазы 2 мкм обеспечит снижение удельного расхода топлива ДВС до 18%, снижение содержания сажи в ОГ ДВС по значению K на 20 – 22%, по значению N на 30 – 35%.

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 водно-дизельной смеси через рабочие органы роторно-пульсационного аппарата 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, представляющая собой испытательный стенд, состоящий из двух блоков, предназначенная для исследования процесса приготовления ВДС на аппаратах динамического принципа действия, и 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, что обеспечивает получение стабильной и

высокодисперсной ВДС требуемого качества ($d_{\text{кр.эксп}} = 2 \text{ мкм}$); частота вращения ротора РПА должна составлять 700 мин^{-1} .

5. Разработана экспериментальная установка, представляющая собой испытательный 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 – 20% по отношению к объему топлива, так как при этом основные характеристики двигателя существенно не изменяются; водно-дизельная смесь, содержащая до 20% воды, подвижна и 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, полученной с применением разработанных устройств, 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. Разработан способ и устройство для обработки моторного топлива позволяющие дозировать жидкий компонент в дизельное топливо на различных режимах работы двигателя и обеспечивающие перемешивание двух взаимно нерастворимых жидкостей (дизельного топлива и воды) с получением из них ВДС «грубой» дисперсности. Затем осуществляется подача полученной смеси в роторно-пульсационный аппарат динамического принципа действия, позволяющий из ВДС «грубой» дисперсности ($d_{\text{к}} \leq 50 \text{ мкм}$) приготовить стабильную и высокодисперсную ВДС с получением среднего диаметра капель дробления водной фазы ($d_{\text{к}}$) не более 2 мкм.

7. Предложены технология приготовления ВДС и технические средства (устройства) для ее реализации в системе питания ДВС, обеспечивающие автоматизацию процесса подачи жидкого компонента в топливо в зависимости от режима работы двигателя на основе двухэтапного процесса перемешивания подаваемого 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.

8. Разработаны рекомендации по практическому применению технологии приготовления ВДС без использования эмульгаторов 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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бирюков А. Л. Улучшение эксплуатационных и экологических показателей бензиновых двигателей путем применения топливно-водных смесей. Санкт-Петербург, 2011. 177 с.
2. Кузьмин В.М. Нетрадиционные направления развития техники будущего. М., 2006. 104 с.
3. Орлина А.С., Круглова М.Г. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей. М.: Машиностроение, 1999. 432 с.
4. Картошкин А.П., Бузиков Ш.В., Плотников С.А., Бирюков А.Л., Сергеев Д.Г. Определение оптимального состава водо-топливной смеси для работы двигателя с искровым зажиганием и электронным управлением. ECS.IOPConf. Series: Materials Science and Engineering \ 1086 (2021) DOI: 10.1088/1757-899X/1086/1/0120135.
5. Лиханов В.А., Сайкин А.М. Снижение токсичности автотракторных дизелей». М.: Колос, 1994. 56 с.
6. Новичков М. Ю. Совершенствование рабочего процесса газодизеля. Санкт-Петербург, 2004. 145 с.
7. Лапытов К.М. Исследование динамических характеристик газодизельного двигателя. Казань, 2008. 118 с.
8. Волков А.И., Семин В.П. Теория водородных двигателей. М.: Высшая школа, 2001. 398 с.
9. Ложкин В.Н., Пименов Ю.А., Сафиуллин Р.Н., Акодес А.А. Улучшение экологических показателей автомобильных дизелей путем применения водно-топливных эмульсий // Материалы научно практической конференции, 2005. 67-76 с.
10. Гавкалюк Б.В., Ложкин В.Н. Повышение безопасности эксплуатации транспортных средств путем изменения состава и структуры водно-топливных эмульсий. Санкт-Петербург: Наука, 2007. 180 с.

11. Сафиуллин Р.Н., Ложкин В.Н., Гавкалюк Б.В. Мероприятия по совершенствованию рабочих процессов дизелей с целью выполнения требований по ограничению дымности и токсичности отработавших газов. Санкт-Петербург: Транспорт, 2007. 8 с.
12. Гладков О.А., Бернштейн Е.В., Виноградов В.П. Характер действия водно-топливной эмульсии на процессы сгорания топлива в дизелях / Двигателестроение. 1989. № 10. С. 10 – 12.
13. Иванов И.А. Исследование работы транспортных дизелей на топливно-водяных эмульсиях, полученных с помощью акустического излучателя: автореферат диссертации кандидата технических наук. Ростов: НУД, 1967. 24 с.
14. Акулов Н.И. Разработка процессов получения эмульсий водно-спиртовых растворов в бензине в роторных аппаратах с модуляцией потока и их коагуляция. М.: Наука, 2005. 202 с.
15. Абдо Халед Мохамед Ахмед, Колесников И.М. Получение эмульсий типа вода-мазут и закономерности изменения их свойств с изменением состава. М.: Наука, 2007. 139 с.
16. Кухленко А.А., Василишин М.С. Совершенствование методов расчета технологических параметров аппарата роторно-пульсационного типа для приготовления эмульсий. Бийск: Наука, 2007. 124 с.
17. Никишина Ю.Г. Разработка аппаратов для улучшения экологической обстановки при использовании жидкого углеводородного топлива. Казань: Наука, 2004. 154 с.
18. Жолобов Л.А., Шелякин И.Н., Абросимова М.В., Фролов С.А. Теоретическое обоснование улучшения эксплуатационных показателей АТС за счет применения бинарного газобензинового топлива. Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 3 (3). – С. 68-73.
19. Пузанков А.Г. Автомобили конструкция, теория и расчет. М.: Изд-во центр «Академия», 2007. 544 с.
20. Воинов А.Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях. М.: Машиностроение, 1977. 275 с.

21. Гейдон А.Г., Вольфгард Х.Г. Пламя, его структура, излучение и температура. [Пер. с англ. Н.С. Чернецкого. Под ред. С.А. Гольдберга]. М.: Металлургиздат, 1959. 333 с.
22. Лернер М.О. Горение и экология. М.: МГП «Конспект», 1992. 234 с.
23. Гуреев А.А., Иванова Р.Я., Щеголев Н.В. Автомобильные и эксплуатационные материалы. Изд-во «Транспорт», 1974. 280 с.
24. Справочник по ГСМ, виды дизельного топлива, технические характеристики, классификация. Режим доступа <http://www.petroltrade.ru/ndizeltopl.html> (дата обращения 3.12.2019).
25. Чулков П.В., Чулков И.П. Топлива и смазочные материалы: ассортимент, качество, примеси, экономия, экология. М.: Политехника, 1996. 304 с.
26. Сигал И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. М., 1988. 234 с.
27. Ложкин В. Н., Шапошников Ю.А. Методология проектирования и безопасной эксплуатации автотранспортных средств по критериям техногенного воздействия на окружающую среду и человека // сб. докладов Международной научно-практической конференции «КОНСТРУКЦИЯ – САНКТ - ПЕТЕРБУРГ – 2005», часть 2. (Санкт-Петербург, 19-21 октября 2005). СПб., 2005.
28. Данилов А.М., Селягина А.А. Противоизносные свойства водно-топливных эмульсий для судовых дизельных двигателей / Хим. и технол. топлив и масел № 7, 1987. С. 18–20.
29. Батулин С.А., Лебедев О.И. Исследование процессов смесеобразования и тепловыделения в судовом дизеле при работе на эмульгированном топливе / Труды НИИВТ. Новосибирск, Вып. 100, 1975. с. 40–46.
30. Азев В.С., Лебедев С.Р. Горючее, которое не горит в двигателе внутреннего сгорания. // Статья 25 ГосНИИ МО РФ «НВО» 12-18 марта 2004. 2004. 2 с.
31. Гладков О.А., Лерман Е.Ю. Создание малотоксичных дизелей речных судов. Л.: Судостроение, 1990. 106 с.

32. Фролов С.М., Посвянский В.С., Басевич В.Я., Беляев А.А. Горение капли эмульгированного топлива. ИХФ им. Н.Н. Семенова РАН, 2004 с. 58.

33. Фролов С.М., Басевич В.Я., Посвянский В.С., Сметанюк В.А. Испарение и горение капли углеводородного топлива. Испарение капли с учетом коллективных эффектов. Химическая физика, Т. 23. №7. 2004. С. 49–58.

34. Клейтон В.Н. Эмульсии. Их теория и технические применения. [Перевод с англ. под ред. ак. П.А. Ребиндера]. М.: Изд. Ин. литературы, 1950. 679с.

35. Шерман Ф. И. Эмульсии. [Пер. с англ. под ред. А.А. Абрамзона]. Л.: Химия, 1972. 448 с.

36. Ломовских А.Е., Каберов С.Р., Капустин Д.Е. Приготовление и подача ВТЭ в ДВС СНО ОП как способ улучшения экономических и экологических характеристик ДВС // Статьи и тезисы докладов Российской НТК, ВГТУ, Воронеж: ВГТУ, 2010. С. 140–142.

37. Ломовских А.Е., Иванов В.П., Илларионов В.В., Капустин Д.Е., Сысоев И.П. Роторно-пульсационный аппарат для приготовления БС с дисперсной фазой на основе воды и математическое моделирование дробления капли воды в эмульсии // Сборник материалов докладов по итогам Всероссийской НПК, ч.3. Воронеж: ВАИУ, 2011. С.115.

38. Ребиндер П.А. К теории эмульсий. Коллоидн. Журнал, Т.18. №4: С. 157–160.

39. Иванов В.М. Топливные эмульсии. М.: АН СССР, 1962. 305с.

40. Кремнев Л.Я., Радвель А.А. О механизме эмульгирования. Коллоидн. Журнал, Т.16. № 1. 1954. С. 17–28.

41. Балабудкин М.А. О закономерностях гидромеханических явлений в РПА. Теор. основы хим. технол., Т.9. № 5. 1975. С.783–788.

42. Балабудкин М.А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности. М.: Медицина, 1983. 159 с.

43. Рабинарсон А.И. Проблемы коллоидной химии. Л.: ОНТИ – Химтеорет, 1937. 380 с.

44. Балабудкин М.А., Борисов Г.Н. О путях повышения эффективности акустических и гидродинамических явлений в РПА. В кн.: Новые физические

методы интенсификации технологических процессов. М.: Metallurgy (MISiC, Научн. тр. № 92), 1977. С.98–102.

45. Баширов Р.М., Инсафуддинов С.З., Сафин Ф.Р. Неравномерность топливоподачи в дизелях. // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2019. № 1 (75) С.78–82.

46. Семенов Н.В. Эксплуатация автомобилей в условиях низких температур. М.: Транспорт, 1993. 190 с.

47. Долинский А.А., Иваницкий Г.К. Принципы разработки новых энергосберегающих технологий и оборудования на основе методов дискретно-импульсного ввода энергии. Пром. Теплотехника. Т.19. № 4 – 5. 1997. С. 13 – 25.

48. Роторно-пульсационный аппарат: пат. 2152819 Российской Федерации, МПК В01 F5/00. Хромых В.С., Ермаков С. Ю., Иванова Т.Н.; заявитель и патентообладатель Открытое акционерное общество «ЭНА». №99122639/12; заявл. 28.10.1999; опубл. 20.07.2000. 9 с.

49. Роторно-пульсационный аппарат: пат. 2190462 Российской Федерации, МПК В01 F7/28. Иванец В.Н., Иванец Г.Е., Афанасьева М.М., Сафонова Е.А., Артемасов В.В.; заявитель и патентообладатель Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. №2000128253/12; заявл. 13.11.2000; опубл. 10.10.2002. 4 с.

50. Акустический роторно-пульсационный аппарат: пат. 2146170 Российской Федерации, МПК В01 F7/12, В01 F7/28. Фомин В.М., Агачев Р.С., Аюпов Р.Ш.; заявитель и патентообладатель Фомин В.М., Агачев Р.С., Аюпов Р.Ш. №98116609/12; заявл. 01.09.1998; опубл. 10.03.2000. 10 с.

52. Роторно-пульсационный аппарат: пат. 205615 Российской Федерации, МПК В01 F7/28. Богданов В.В. [RU], Бритов В.П. [RU], Ким В.В. Артемасов В.В. [UZ], Клоцунг Б.А. [RU], Смирнов Б.Л. [RU], Шкурин К.А. [RU]; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский технологический институт. №5043511/26; заявл. 22.05.1992; опубл. 20.03.1996. 7 с.

53. Кокушкин О.А., Барам А.А., Павлушенко И.С. О расчете мощности ротационных аппаратов // Журнал прикладной химии. 1989. Т. 42. № 8. С. 193 – 198.

54. О гидромеханических закономерностях работы роторно-пульсационных аппаратов / П.П. Дерко [и др.] // Теоретические основы химической технологии. 1973. Т. 7. № 1. С. 123 – 125.

55. Иванец Г.Е., Плотников В.А., Плотников П.В. Энергетическая характеристика роторно-пульсационного аппарата // Журнал прикладной химии. 2000. Т. 73. № 9. С. 1511 – 1514.

56. Балабудкин М.А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности. М.: Медицина, 1983. 160 с.

57. Богданов В.В., Христофоров Е.И., Клоцунг Б.А. Эффективные малообъемные смесители. Л.: Химия, 1989. 224 с.

58. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. М.: Машиностроение -1, 2001. 260 с.

59. Балабудкин М.А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности. М.: Медицина, 1983. 160 с.

60. Червяков В.М., Коптев А.А. Определение энергозатрат в роторных аппаратах // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2005. № 4. С. 10 – 12.

61. Эвентов И.М., Назаров В.В. Эмульсионные машины и установки. М.: Машиностроение, 1964. с. 141.

62. Богданов В.В., Христофоров Е.И., Клоцунг Б.А. Эффективные малообъемные смесители. Л.: Химия, 1989. 224 с.

63. Червяков В.М., Коптев А.А. Течение ньютоновской жидкости в зазоре между коническими проницаемыми поверхностями // Инженерно-физический журнал. 2000. Т. 79. №2. С. 92 – 98.

64. Koptev A.A. Flüssigkeitsströmung in den zentrifugal feldernunter Wirkung der sichdrehenden Scheiben. Problem von Th. / Karman / A.A. Koptev// Transaction of TSTU. Vol. 1. № 1-2. P. 65 – 74.

65. Марков В.А., Гайворонский А.И., Грехов Л.В., Иващенко И.А. Работа дизелей на нетрадиционных топливах. М: Из-во «Легион-Автодата» 2008. – 464 с.
66. Завгородний В.К. Оборудование для переработки. Справочное пособие. М.: Машиностроение, 1976. 407 с.
67. Устройство для получения эмульсий и дисперсий: пат. № 3940115 (США). М., ЦИППЕРЕР. заявл. № 2139497; опубл. 06.08.71. в изобр. за рубежом, № 12, 1976. 36 с.
68. Роторный аппарат: пат. № 2165292 Российская Федерация МПК 7 B01F7/00. Червяков В.М., Промтов М.А., Коптев А.А.; заявитель и патентообладатель Тамбовский государственный технический университет. №99119141/12; заявл. 20.04.2001; опубл. 20.04.2001, Бюл. №12. 10 с.
69. Исакович М.А. Общая акустика. М.: Наука, 1973. 459 с.
70. Биглер В.И. Нестационарное истечение реальной жидкости через отверстия гидродинамической сирены. Акуст. Журнал 1978. Т.24. №2. С. 289–291.
71. Биглер В.И., Юдаев В.Ф., Данилычев О.И. Модель дробления капли природной эмульсии в нестационарном потоке гидродинамической сирены. М: Машиностроение, №1-2, 1997. С.7–11.
72. Law, C. K. A model for the combustion of oil/water emulsion droplets. Combustion Science Technology, 1977. Vol. 17. P. 29–38.
73. Tsue M., Yamasaki H., Kadota T., Segawa D., and Kono M. Effect of gravity on onset of microexplosion for an oil-in-water emulsion droplet. 27th Symposium (International) on Combustion Proceedings. Pittsburgh, PA: 1998. P. 2587–2593.
74. Lasheras, J.C., Fernandez-Pello A.C., and Dryer F. L. On the disruptive burning of free droplets of alcohol/n-paraffin solutions and emulsions. 18th Symposium (International) on Combustion Proceedings. Pittsburgh, PA: The Combustion Institute. 1981. P. 293–305.
75. Gollahalli, S. R., Rasmussen M. L., and Moussavi S. J. Combustion of drops and sprays of No. 2 Diesel oil and its emulsions with water. 18th Symposium (International) on Combustion Proceedings. Pittsburgh, PA: The Combustion Institute. 1981. P. 349–59.

76. Matlosz R.L., Leipziger S., Torda T.P. Investigation of liquid drop evaporation in a high temperature and high pressure environment. Int. J. Heat Mass Transfer, 1972. Vol.15. P. 831–852.

77. Ceccarelli V. Mettily emulsistemnel tu o motore // Tecnol. Serv.pubbl. 1987. Pp. 52-54, 58-59, 61.

78. Батунер Л.М., Позин М. Е. Математические методы в химической технике. Л.: Химия, 1968. 824 с.

79. Червяков В.М. Растворение твердого в жидкости и диспергировании жидкости в длинноканальном роторном аппарате с модуляцией потока: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08. М., 1982. 16 с.

80. Биглер В.И., Лавренчик В.Н., Юдаев В.Ф. Влияние величины зазора на гидроакустические характеристики гидросирены // Акустический журнал. 1977. Т. 23. № 3. С. 356-362.

81. Юдаев В.Ф. Об акустической кавитации в гидродинамических сиренах // Акустика и ультразвуковая техника. Киев: Техника, 1983. С. 13 – 18.

82. Юдаев В.Ф. Гидромеханические процессы в роторных аппаратах с модуляцией проходного сечения потока обрабатываемой среды // Теоретические основы химической технологии. 1994. Т. 28, №6. С. 581 – 590.

83. Лепендин Л.Ф. Акустика. М.: Высшая школа, 1978. 448 с.

84. Грачев Ю.П. Математические методы планирования экспериментов. М.: МТИПП, 1971. 96 с.

85. Хартман К., Лецкий Э, Шефер В. Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / Пер. с немец. Г.А. Фомина и Лецкого Н.С. М.: «Мир», 1977. 541 с.

86. Клетнев Г.С., Фомин В.М. Математическое моделирование кинетики процесса диспергирования цветных компонентов. Проблемы цветографических процессов: Сб. науч. тр. М.: Госниихимфотопроект, 1990. С. 72 – 79.

87. ГОСТ 14846–81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. М.: Изд-во стандартов, 1981. 11 с.

88. ГОСТ Р 31967–2012. Двигатели внутреннего сгорания поршневые.

Выбросы вредных веществ с ОГ. Нормы и методы определения. М.: Изд-во стандартов, 2012. Часть 2. 14 с.

89. ГОСТ Р 33997–2016. Колесные транспортные средства. Требования к безопасности в эксплуатации и методы проверки. М.: Изд-во стандартов, 2016. 19 с.

90. ГОСТ 54810–2011. Автотранспортные средства. Топливная экономичность. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 2011. 46 с.

91. ГОСТ 7057–2001 Тракторы сельскохозяйственные. Методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 2002. 20 с.

92. ГОСТ Р 52408–2014. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработавшими газами. Измерения в условиях эксплуатации М.: Изд-во стандартов, 2014. 21 с.

93. ГОСТ 17.2.2.02–98 Охрана природы (ССОП). Атмосфера. Нормы и методы определения дымности отработавших газов дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин М.: Изд-во стандартов, 1998. 14 с.

94. ГОСТ 19677–87. Тракторы сельскохозяйственные. Общие технические условия М.: Изд-во стандартов, 1987. 19 с.

95. ГОСТ 10579–2017. Форсунки дизелей. Технические требования и методы испытаний. М.: Изд-во стандартов, 2018. 7 с.

96. Сюняев З.И., Сюняев Р.З., Сафиева Р.З. Нефтяные дисперсные системы. М.: Химия: 1996. 226 с.

97. Александровский А.А., Ахмадиев Ф.Г., Александровский С.А. Теор. основы хим. технологии. Т.14. №1. 1980. С. 99 – 105.

98. Александровский А.А., Галиакберов З.К., Эмир Л.А. Кинетика смешения бинарных композиций при сопутствующем измельчении твердой фазы. Теор. основы хим. технологии. Т.15. №2. 1981. С. 227 – 232.

99. Руденко А. В. Топливо для авто и НЛЮ / Патриот. №40. 1997. 28 с.

100. Броунштейн Б.И., Фишбейн Г.А. Гидродинамика, массо- и теплообмен в дисперсных системах. Л.: Химия, 1977. 288 с.

101. Балабышко А.М., Чичева-Филатова Л.В., Алексеев В.А. Нестационарное течение вязкой сжимаемой жидкости через модулятор роторного аппарата с учетом коэффициентов усреднения // Научные сообщения ИГД им. Скочинского А.А. № 329, 2005. 177 с.
102. Липатов С.М. Физико–химия коллоидов. М.: Госхимиздат, 1948. 372 с.
103. Ломовских А.Е., Илларионов В.В., Капустин Д.Е., Сысоев И.П. Испытания ДВС с системой приготовления и подачи БС с дисперсной фазой на основе воды. / Сборник материалов докладов по итогам Всероссийской НПК (29-30 ноября 2011 года), ч.3. Воронеж: ВАИУ, 2011. С. 133–134.
104. Иванова В.М., Калинина В.Н., Нешумова Л.А., Решетникова И.О. Математическая статистика. М.: Высшая школа, 1981. 371 с.
105. Борисов С.В., Ломовских А.Е., Великанова Л.В., Фоменко Л.Н., Шаповалов А.А. Математическое моделирование течения водно-дизельной смеси через рабочие органы роторно-пульсационного аппарата и определение диаметра капель воды в смеси. Депон. 46 ЦНИИ МО РФ 16.01.14 г. Инв. № В 7530 СРДР, серия Б, вып. № 106, М.: ЦВНИ МО РФ, 2014. 13 с.
106. Борисов С.В., Томилов А.А., Свиридов А.А., Ломовских А.Е., Вигдорович В.И. Струйно-кавитационный эжектор для модернизации системы питания двигателей внутреннего сгорания. Журнал «Наукоемкие технологии» №8 2017. С. 34 – 39.
107. Борисов С.В., Аль Махли, Родионов Ю.В., Никитин Д.В., Ломовских А.Е., Муромцев Д.Ю. Способ очистки поршнево-цилиндровой части двигателя внутреннего сгорания сельскохозяйственных машин. Журнал «Test Engineering» ISSN 0193|4120 Page No 3112-3120 А.А.Х. 14 с.
108. Борисов С.В., Волокитин А.А., Князев С.И., Рачинский О.В., Ломовских А.Е. Динамический аппарат для обработки моторного топлива. Сборник материалов Международной НПК «Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в различных режимах движения». Часть I. 6 апреля 2017 г. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. С. 275 – 282.

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

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

111. Борисов С.В., Стародубцев Д.А., Ломовских А.Е., Черноиванов В.И. Смеситель-активатор моторного топлива. Материалы Международной НПК, посвященной 105-летию ФГБОУ ВО Воронежского ГАУ «Роль аграрной науки в развитии АПК РФ». 1-2 ноября 2017 г. Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. С. 41 – 47.

112. Борисов С.В., Ломовских А.Е., Афонин Д.В., Черноиванов В.И., Шаповалов А.А. Эффективный активатор моторного топлива для сельскохозяйственной техники. 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.

113. Борисов С.В., Волокитин А.А., Гусев Ю.В., Ломовских А.Е., Стародубцев Д.А. Способ безразборной очистки поверхностей деталей цилиндро-поршневой группы от нагара. 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.

114. Борисов С.В., Родионов Ю.В., Данилин С.И., Ломовских А.Е., Оробинский В.И. Устройство регулирования мощности электродвигателя на экспериментальной установке для приготовления водно-топливной эмульсии.

Материалы международной НТК «Проблемы совершенствования машин, оборудования и технологий в агропромышленном комплексе» (23-24 октября. 2019 г.) Воронеж: ФГБОУ ВО ВГАУ, 2019. С. 237 – 241.

115. Борисов С.В., Черноиванов В.И., Жулин А.Н., Солод А.Д., Гусев Ю.В. Способ модернизации системы питания двигателей автомобильной техники. Новые технологии и технические средства для эффективного развития АПК: материалы национальной научно-практической конференции, Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (Россия, Воронеж, 26 февраля 2019г.). Часть II Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. С. 187 – 193.

116. Борисов С.В., Иванов В.П., Ломовских А.Е., Капустин Д.Е., Сысоев И.П. Устройство для обработки углеводородного топлива. Патент на изобретение № 2469199 от 10.12.2012г. Заявка № 2011132517; заявл. 02.08.2011г. 14 с.

117. Борисов С.В., Иванов В.П., Ломовских А.Е., Капустин Д.Е., Сысоев И.П. Способ обработки углеводородного топлива для двигателей внутреннего сгорания. Патент на изобретение № 2498094 от 10.11.2013г. Заявка № 2011133257; заявл. 08.08.2011г. 14 с.

118. Корабельников С.К. Улучшение эксплуатационных показателей автотранспортных дизелей путем совершенствования системы питания. Санкт-Петербург, 2009. 200 с.

119. Борисов С.В., Ломовских А.Е. Программная реализация алгоритма расчета зависимостей часового расхода топлива от содержания водной фазы в топливе, диаметра капель водной фазы, угла опережения впрыска топлива для дизельного двигателя. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2021614518 от 25.03.2021 г. Заявка №2021613378/69 от 15.03.2021 г. 4 с.

120. Борисов С.В., Канищев А.С., Ломовских А.Е., Скопин И.А. Способ и устройство для улучшения экономических и экологических характеристик дизельных двигателей. 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.

121. Коршунов Д.А. Улучшение эксплуатационных показателей транспортного дизеля путем использования биотоплив на основе рапсового масла: автореф. дис. канд. техн. наук. М.: Наука, 2008. 18 с.

122. Копаев Е.В. Улучшение эффективных и экологических показателей автотракторных дизелей с наддувом путем подачи водо-метанольных смесей на впуске: автореф. дис. канд. техн. Наук. Санкт – Петербург, 2010. 20 с.

123. Устройство для подачи воды в двигатель внутреннего сгорания: пат. 2015397 Российской Федерации, МПК F02M 25/022. Бутыленко А.Ю., Джой Ф.Е., Бутыленко С.А., Джой А.Ф., Лямцева М.А.; заявитель и патентообладатель Бутыленко Альберт Юрьевич, Джой Федор Ефимович. №4387545/06; заявл. 01.02.1988; опубл. 30.06.1994. с.

124. Буклагина Г.В. Опыт модернизации тракторов МТЗ в Батыревской сельхозтехнике Чувашской Республики [Текст] / Буклагина Г.В. // Инженерно-техническое обеспечение АПК: реферативный журнал, 2002. № 2. С. 391.

125. Иванов А.А. Экономическая эффективность использования метанола-рапсовой эмульсии как альтернативного топлива для дизеля Д-242 с точки зрения экологической безопасности / А.А. Иванов, В.С. Андрощук // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. - СПб. : Изд-во СПбГАУ, 2017. С. 160 – 162.

ПРИЛОЖЕНИЯ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2498094

**СПОСОБ ОБРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА
ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Военный авиационный инженерный университет" (г. Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2011133257

Приоритет изобретения 08 августа 2011 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 10 ноября 2013 г.

Срок действия патента истекает 08 августа 2031 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 498 094** ⁽¹³⁾ **C2**

(51) МПК
F02B 47/02 (2006.01)
F02M 43/00 (2006.01)
F02M 25/025 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011133257/06, 08.08.2011

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
08.08.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 08.08.2011

(43) Дата публикации заявки: 20.02.2013 Бюл. № 5

(45) Опубликовано: 10.11.2013 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2196902 C1, 20.01.2003, RU 2390649 C2,
27.05.2010, RU 2015397 C1, 30.06.1994, RU
2306447 C2, 20.09.2006, RU 2099575 C1,
20.12.1997, RU 2202406 C2, 12.01.2001, RU
2245898 C1, 10.02.2005, SU 1250686 A1,
15.08.1980, GB 2109457 A, 02.06.1983, US
5542379 A, 06.08.1996, DE 4341038 A1,
08.06.1995.

Адрес для переписки:

394064, г. Воронеж, ул. Старых
Большевиков, 54А, ФГОУ ВПО ВАИУ,
научно-исследовательский отдел

(72) Автор(ы):

Ломовских Александр Егорович (RU),
Иванов Владимир Петрович (RU),
Борисов Сергей Владимирович (RU),
Капустин Дмитрий Егорович (RU),
Сысоев Игорь Петрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное военное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Военный
авиационный инженерный университет" (г.
Воронеж) Министерства обороны
Российской Федерации (RU)

RU 2 498 094 C2

RU 2 498 094 C2

(54) СПОСОБ ОБРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА ДЛЯ ДВИГАТЕЛЯ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к
двигателестроению, в частности к системам
производства, распределения и очистки
углеводородного топлива, и может быть
использовано для повышения качества как
стандартного, так и некондиционного топлива.
Техническим результатом предлагаемого
изобретения является расширение класса
обрабатываемого углеводородного топлива, а
также повышение экологических показателей
топлива. Способ обработки углеводородного
топлива для двигателей внутреннего сгорания
включает подачу топлива из емкости,
перемешивание топлива с водой,

диспергирование и гомогенизацию водно-
топливной смеси, перекачивание полученной
смеси в бак-отстойник, разделение ее и
последующую подачу очищенного топлива в
двигатель внутреннего сгорания. Подачу
очищенного топлива потребителю
осуществляют из бака-отстойника с
уровня $0,85h$, когда температура потребителя -
 $t_{пот}$ меньше его оптимальной температуры -
 $t_{онт}$, т.е. $t_{пот} < t_{онт}$, и с уровня $0,5h$ при
условии, когда $t_{пот} \geq t_{онт}$, где h - высота
уровня топлива в баке-отстойнике, при этом же
условии продукты очистки, образующиеся на
дне бака-отстойника, утилизируют путем
сжигания в камере сгорания потребителя, и т.д.

RUSSIAN FEDERATION



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 498 094** ⁽¹³⁾ **C2**

(51) Int. Cl.
F02B 47/02 (2006.01)
F02M 43/00 (2006.01)
F02M 25/025 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2011133257/06, 08.08.2011

(24) Effective date for property rights:
08.08.2011

Priority:
(22) Date of filing: 08.08.2011

(43) Application published: 20.02.2013 Bull. 5

(45) Date of publication: 10.11.2013 Bull. 31

Mail address:
394064, g.Voronezh, ul. Starykh Bol'shevikov,
54A, FGOU VPO VAIU, nauchno-issledovatel'skij
otdel

(72) Inventor(s):
Lomovskikh Aleksandr Egorovich (RU),
Ivanov Vladimir Petrovich (RU),
Borisov Sergej Vladimirovich (RU),
Kapustin Dmitrij Egorovich (RU),
Sysoev Igor' Petrovich (RU)

(73) Proprietor(s):
Federal'noe gosudarstvennoe voennoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Voennyj
aviatsionnyj inzhenernyj universitet" (g.
Voronezh) Ministerstva oborony Rossijskoj
Federatsii (RU)

(54) **METHOD TO TREAT HYDROCARBON FUEL FOR INTERNAL COMBUSTION ENGINE**

(57) Abstract:

FIELD: engines and pumps.

SUBSTANCE: method to treat hydrocarbon fuel for internal combustion engines, includes supply of fuel from a reservoir, mixing of fuel with water, dispersion and homogenisation of a water and fuel mixture, pumping of the produced mixture into a settling tank, its separation and subsequent supply of the cleaned fuel into the internal combustion engine. Treated fuel is supplied to a consumer from the settling tank from the level of 0.85h, when

consumer temperature $t_{cons.}$ is less than its optimal temperature $t_{opt.}$, $t_{cons.} < t_{opt.}$ and from the level of 0.5h under the condition, when $t_{cons.} \geq t_{opt.}$, where h - height of fuel level in the settling tank, at the same condition treatment products produced at the bottom of the settling tank are recycled by means of combustion in the consumer combustion chamber.

EFFECT: expanded class of treated hydrocarbon fuel, improved environmental indices of fuel.

1 dwg

RU 2 498 094 C 2

RU 2 498 094 C 2

Изобретение относится к двигателестроению, в частности к системам производства, распределения и может быть использовано для обработки стандартного углеводородного топлива с целью его очистки, путем перемешивания с водой, с дальнейшей утилизацией продуктов очистки топлива в камере сгорания потребителя, а также позволяет обработать углеводородное топливо любого вида. Данный способ был применен на транспортном средстве. После пробега 25000 километров производилась разборка двигателя внутреннего сгорания, которая показала, что на основных деталях образующих камеру сгорания отсутствует нагар. Это показывает, что при утилизации продуктов очистки топлива (смеси избыточной воды и тяжелых фракций углеводородного топлива) путем сжигания в камере сгорания двигателя внутреннего сгорания не происходит образование смолянистых отложений в виде нагара. Применение этого способа позволяет очистить топливо, в результате чего продлевается срок службы топливной аппаратуры. Добавка воды в камеру сгорания позволяет очистить уже имеющийся нагар на деталях, а также улучшить экономические и экологические характеристики двигателя внутреннего сгорания. Вода влияет на процесс горения, а разрушение капель эмульсии в камере сгорания происходит за счет "микровзрывов", образующихся при высокой температуре. Это приводит к значительному сокращению времени горения, при котором происходит более полное перемешивание топлива с воздухом, снижается количество токсичных веществ (угарного газа CO до 30%, углеводородов до 7%) в выхлопных газах двигателя, а также снижается расход углеводородного топлива до 10...15%.

Наиболее близким к заявляемому изобретению по совокупности признаков является способ обработки дизельного топлива и установка для его осуществления (см. патент RU №2196902 C1 МПК 7 F02B 47/02, F02M 443/00), включающий подачу топлива из емкости, перемешивание топлива с водой, диспергирование и гомогенизацию водно-топливной смеси, ее разделение и последующую подачу очищенного топлива к потребителю, где ввод расчетного количества воды в топливо осуществляют из расходной емкости непрерывно в пропорции от 4 до 20% от расхода, прокачиваемого через роторный аппарат топлива, полученную смесь подвергают диспергированию одновременно с гомогенизацией в режиме акустической импульсной кавитации в роторном аппарате с модуляцией потока, а затем проводят многократную циркуляцию топливной смеси по контуру "роторный аппарат - емкость с топливной смесью - насос - роторный аппарат".

Основным недостатком известного способа обработки топлива является его неэффективность, так как после очистки топлива на этапе разделения отделившуюся смесь избыточной воды и тяжелых фракции углеводородного топлива утилизируют. То есть часть самого топлива утилизируют в окружающую среду, что нецелесообразно с экологической точки зрения. Данный способ имеет узкую направленность, то есть не применим к другим видам топлива, например к бензину.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является расширение класса обрабатываемого углеводородного топлива, а также улучшение экологических показателей способа.

Указанный технический результат достигается тем, что способ включает: подачу топлива из емкости; перемешивание топлива с водой; диспергирование и гомогенизацию водно-топливной смеси; перекачивание полученной смеси в бак-отстойник; разделение смеси и последующую подачу очищенного топлива к потребителю. Подачу к потребителю осуществляют из бака-отстойника с уровня 0,85h, когда температура потребителя меньше оптимальной ($t_{\text{пот.}} < t_{\text{опт}}$) и с

уровня $0,5h$ при условии, когда температура потребителя равняется или больше оптимальной ($t_{\text{пот}} \geq t_{\text{опт}}$)» где h - высота уровня топлива в баке-отстойнике. Смесь избыточной воды и тяжелых фракций углеводородного топлива, образующихся на дне бака-отстойника, утилизируется путем сжигания в камере сгорания потребителя. Поэтому предложенный способ уменьшает загрязнение окружающей среды продуктами очистки.

Сущность способа состоит в том, что из бака-отстойника с верхней части с уровня $0,85h$, к потребителю подается очищенное топливо, если температура потребителя ниже оптимальной. Как только температура потребителя стала равной оптимальной, то из бака-отстойника уже подается водно-топливная смесь с уровня $0,5h$, что регулируется с помощью соответствующих вентилях. При оптимальной температуре со дна бака-отстойника происходит утилизация продуктов очистки (смеси избыточной воды и тяжелых фракций топлива) путем сброса их в камеру сгорания потребителя и дальнейшего сжигания.

Способ может быть реализован, например, с помощью устройства показанного на фиг. 1, где показано: 1 - емкость с обрабатываемым топливом; 2 - емкость для воды; 3 - предварительный смеситель; 4 - насос; 5 - фильтр; 6 - роторный аппарат с модуляцией потока; 7 - бак-отстойник; 8, 9, 10, 11, 12, 14, 20, 21 - вентили; 13 - трубопровод; 15 - манометры; 16 - патрубок в виде трубы с радиальными отверстиями в стенках; 17 - камера сгорания потребителя; 18, 19 - заборные трубки; 22 - потребитель; 23 - топливный насос.

Назначение элементов: заборные трубки 18, 19 предназначены для забора из бака-отстойника топлива разного качества и с разных уровней (с уровня $0,85h$ - очищенное топливо, с уровня $0,5h$ - водно-топливная смесь, а со дна - смесь избыточной воды и тяжелых фракций углеводородного топлива); вентили 20, 21 предназначены для ручного регулирования забора топлива из бака-отстойника; топливный насос 23 предназначен для забора топлива из бака-отстойника и подачи его к потребителю через трубопровод 13.

В качестве потребителя можно использовать бензиновые и дизельные двигатели внутреннего сгорания, отопительные котлы и т.д.

Устройство работает следующим образом, исходное углеводородное топливо из емкости 1 через перфорированный патрубок 16 при открытом вентиле 8 поступает на вход предварительного смесителя 3, где смешивается с водой, подводимой к смесителю из расходной емкости 2 через вентиль 9. Смесь воды и топлива с помощью насоса 4 подается в фильтр 5 далее в роторный аппарат с модуляцией потока 6, где грубодисперсная водно-топливная эмульсия проходит через периодически совмещающиеся и перекрывающиеся отверстия ротора и статора. При этом расход жидкости изменяется от максимального до минимального (модулируется) с частотой, определяемой числом отверстий и скоростью вращения ротора. Из роторного аппарата с модуляцией потока мелкодисперсная гомогенизированная эмульсия через вентиль 10 возвращается в емкость 1 для повторной обработки. После опорожнения водяной емкости 2 вентиль 9 закрывают и продолжают циркуляционную гидроакустическую обработку топливной смеси, пока весь объем топливной смеси не пройдет через роторный аппарат несколько раз. Затем вентили 8 и 10 закрывают, открывают вентили 11 и 14 и перекачивают обработанную водно-топливную смесь в бак-отстойник 7, в котором под действием силы тяжести эмульсия разделяется на три фракции: легкую - углеводородное топливо, среднюю - концентрированную водно-топливную эмульсию, и тяжелую - избыточную воду с тяжелыми фракциями

углеводородов, выделяющуюся из средней фракции. После разделения смеси в баке-отстойнике 7 и температуре потребителя 22 ниже оптимальной открывают вентиль 21 и топливный насос 23 забирает через заборную трубку 19 очищенное топливо с уровня $0,85h$ и подает его к потребителю 22. После того как температура
 5 потребителя 22 станет равной оптимальной, вентиль 21 закрывают и открывают вентиль 20 при этом топливный насос 23 забирает уже водно-топливную смесь, через заборную трубку 18, с уровня $0,5h$ бака-отстойника 7. Сброс продуктов очистки (смеси избыточной воды с тяжелыми фракциями углеводородов) осуществляется через
 10 вентиль 12 в камеру сгорания потребителя 22 с последующим сжиганием.

Предлагаемый способ является новым, поскольку из общедоступных сведений неизвестен способ, позволяющий учитывать физико-химические свойства двух не смешиваемых жидкостей.

Предлагаемый способ имеет изобретательский уровень, так как сочетает в себе
 15 совокупность несложных и технически подобранных этапов, которые позволяют реализовать предложенный способ для получения необходимого эффекта.

Предлагаемый способ промышленно применим, так как для его реализации могут быть использованы промышленно выпускаемые и общедоступные элементы.

20

Формула изобретения

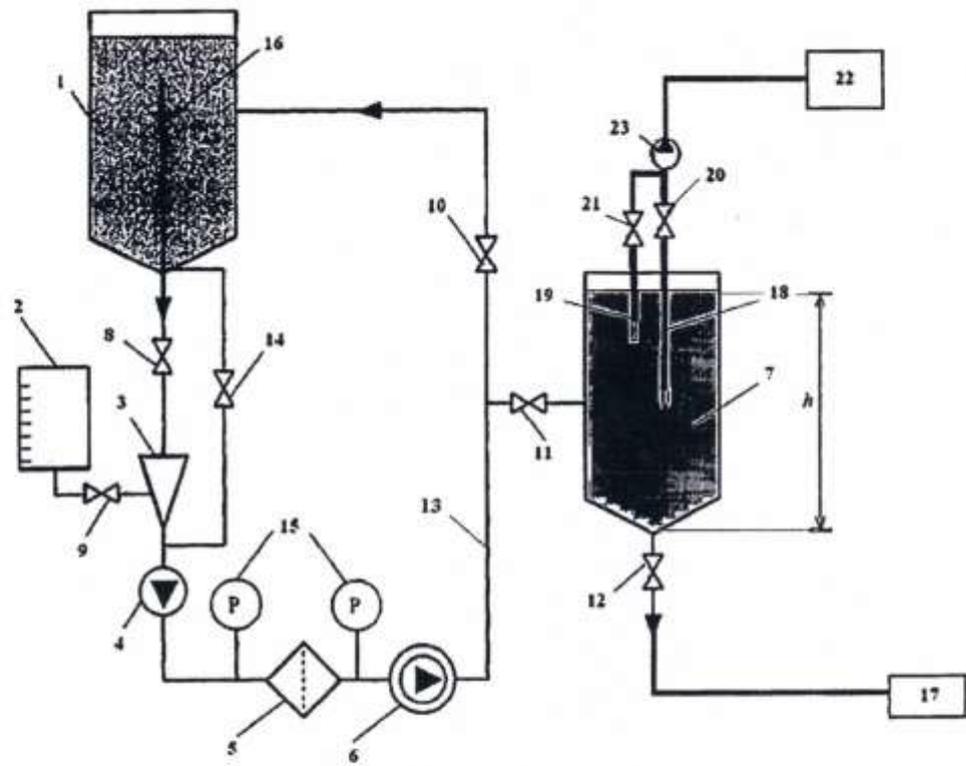
Способ обработки углеводородного топлива для двигателей внутреннего сгорания, включающий подачу топлива из емкости, перемешивание топлива с водой, диспергирование и гомогенизацию водно-топливной смеси, перекачивание полученной
 25 смеси в бак-отстойник, разделение ее и последующую подачу очищенного топлива в двигатель внутреннего сгорания, отличающийся тем, что подачу очищенного топлива потребителю осуществляют из бака-отстойника с уровня $0,85h$, когда температура потребителя - $t_{пот}$, меньше его оптимальной температуры - $t_{опт}$, $t_{пот} < t_{опт}$, и с
 30 уровня $0,5h$ при условии, когда $t_{пот} \geq t_{опт}$, где h - высота уровня топлива в баке-отстойнике, при этом же условии продукты очистки, образующиеся на дне бака-отстойника, утилизируют путем сжигания в камере сгорания потребителя.

35

40

45

50



Фиг. 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2469199

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО
ТОПЛИВА**

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Военный авиационный инженерный университет" (г.Воронеж) Министерства обороны Российской Федерации (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2011132517

Приоритет изобретения **02 августа 2011 г.**

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **10 декабря 2012 г.**

Срок действия патента истекает **02 августа 2031 г.**

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

Б.Л. Симонов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 469 199** (13) **C1**

(51) МПК
F02B 47/02 (2006.01)
F02M 43/00 (2006.01)
F02M 25/025 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2011132517/06, 02.08.2011

(24) Дата начала отчета срока действия патента:
02.08.2011

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 02.08.2011

(45) Опубликовано: 10.12.2012 Бюл. № 34

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2196902 C1, 20.01.2003. RU 2390649 C2,
27.05.2010. RU 2015397 C1, 30.06.1994. RU
2306447 C2, 20.09.2006. RU 2099575 C1,
20.12.1997. RU 2202406 C2, 12.01.2001. RU
2245898 C1, 10.02.2005. SU 1193282 A,
23.11.1985. SU 1250686 A1, 15.08.1986. US
2002/0060950 A1, 23.05.2002. GB 2109457 A,
02.06.1983. US 5542379 A, 06.08.1996. DE
4341038 A1, 08.06.1995.

Адрес для переписки:

394064, г. Воронеж, ул. Старых
Большевиков, 54А, ФГОУ ВПО ВАИУ,
научно-исследовательский отдел

(72) Автор(ы):

Ломовских Александр Егорович (RU),
Иванов Владимир Петрович (RU),
Борисов Сергей Владимирович (RU),
Капустин Дмитрий Егорович (RU),
Сысоев Игорь Петрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное военное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования "Военный
авиационный инженерный университет" (г.
Воронеж) Министерства обороны
Российской Федерации (RU)

RU 2 469 199 C 1

RU 2 469 199 C 1

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБРАБОТКИ УГЛЕВОДОРОДНОГО ТОПЛИВА

(57) Реферат:

Изобретение относится к двигателестроению, в частности к системам производства, распределения и очистки углеводородного топлива, и может быть использовано для повышения качества как стандартного, так и некондиционного топлива. Техническим результатом предлагаемого изобретения является повышение качества как стандартного, так и некондиционного топлива, а также повышение экологической безопасности при утилизации продуктов очистки топлива. Указанный технический результат достигается тем, что устройство для обработки углеводородного топлива содержит емкость для топливной смеси, расходную емкость для воды, предварительный смеситель, входные патрубки которого сообщены с емкостями для воды и топлива, насос, вход

которого сообщен с выходным патрубком смесителя, бак-отстойник, роторный аппарат с модуляцией потока, вход которого сообщен через фильтр грубой очистки с выходом насоса, а выход трубопроводом сообщен с емкостью для топливной смеси и с баком-отстойником. Входной патрубок для забора топливной смеси размещен в емкости с топливной смесью и выполнен в виде вертикально либо наклонно расположенной трубы, на боковой поверхности которой выполнены радиальные отверстия на разных расстояниях от дна емкости. В бак-отстойник установлены на высоте $0,85h$ и $0,5h$, где h - высота уровня топлива от дна бака-отстойника, заборные трубки, соединенные через вентили с топливным насосом и далее с потребителем. Дно бака-отстойника через вентиль соединено с камерой сгорания

Стр. 1

потребителя. 1 ил.

RU 2469199 C1

RU 2469199 C1

Стр: 2

RUSSIAN FEDERATION



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 469 199** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) Int. Cl.
F02B 47/02 (2006.01)
F02M 43/00 (2006.01)
F02M 25/025 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: 2011132517/06, 02.08.2011

(24) Effective date for property rights:
02.08.2011

Priority:

(22) Date of filing: 02.08.2011

(45) Date of publication: 10.12.2012 Bull. 34

Mail address:

394064, g.Voronezh, ul. Starykh Bol'shevikov,
54A, FGOU VPO VAIU, nauchno-issledovatel'skij
otdel

(72) Inventor(s):

Lomovskikh Aleksandr Egorovich (RU),
Ivanov Vladimir Petrovich (RU),
Borisov Sergej Vladimirovich (RU),
Kapustin Dmitrij Egorovich (RU),
Sysoev Igor' Petrovich (RU)

(73) Proprietor(s):

Federal'noe gosudarstvennoe voennoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Voennyj
aviatsionnyj inzhenernyj universitet" (g.
Voronezh) Ministerstva oborony Rossijskoj
Federatsii (RU)

(54) HYDROCARBON FUEL PROCESSING DEVICE

(57) Abstract:

FIELD: engines and pumps.

SUBSTANCE: proposed device comprises fuel mix tank, service water tank, premixer with inlet branch pipes connected with said fuel and water tanks, pump with inlet communicated with premixer outlet branch pipe, settling tank, flow modulation rotor apparatus with inlet connected via coarse filter with pump outlet connected via pipeline with fuel tank and settling tank. Fuel intake branch pipe is arranged fuel tank and represents vertical or inclined tube with side surface provided with radial

holes arranged at different distances from tank bottom. Intake tubes connected via valves with pump and using hardware are arranged settling tank at height $0.85h$ and $0.5h$ where h is fuel level height above settling tank level. Settling tank bottom is connected via valve with combustion chamber of using hardware.

EFFECT: higher quality of standard and off-grade fuel, higher safety in recovery of fuel cleaning products.

1 dwg

RU 2 4 6 9 1 9 9 C 1

RU 2 4 6 9 1 9 9 C 1

Изобретение относится к двигателестроению, в частности к системам производства, распределения и очистки углеводородного топлива, и может быть использовано для повышения качества как стандартного, так и некондиционного топлива путем очистки его от смол.

Наиболее близким к заявляемому изобретению по совокупности признаков является способ обработки дизельного топлива и установка для его осуществления (см. патент RU №2196902 C1, МПК 7 F02B 47/02, F02M 443/00), содержащая емкость для топливной смеси, емкость для воды, предварительный смеситель, входные патрубки которого сообщены с емкостями для воды и топлива, насос, вход которого сообщен с выходным патрубком смесителя, и бак-отстойник, которая снабжена роторным аппаратом с модуляцией потока, вход его сообщен через фильтр грубой очистки с выходом насоса, а выход трубопроводом сообщен с емкостью для топливной смеси и с отстойником, входной патрубок для забора топливной смеси размещен в емкости с топливной смесью и выполнен в виде вертикально либо наклонно расположенной трубы с общей площадью проходного сечения, равной или большей площади поперечного сечения трубы.

Основным недостатком известной установки для обработки топлива является ее неэффективность, так как после очистки топлива на этапе разделения отделившуюся смесь избыточной воды и тяжелых фракций углеводородного топлива, то есть часть самого топлива, утилизируют в окружающую среду, что нецелесообразно с экологической точки зрения.

Техническим результатом предлагаемого изобретения является повышение качества как стандартного, так и некондиционного топлива, а также повышение экологической безопасности при утилизации продуктов очистки топлива.

Указанный технический результат достигается тем, что устройство для обработки углеводородного топлива содержит емкость для топливной смеси, расходную емкость для воды, предварительный смеситель, входные патрубки которого сообщены с емкостями для воды и топлива, насос, вход которого сообщен с выходным патрубком смесителя, бак-отстойник, роторный аппарат с модуляцией потока, вход которого сообщен через фильтр грубой очистки с выходом насоса, а выход трубопроводом сообщен с емкостью для топливной смеси и с баком-отстойником, входной патрубок для забора топливной смеси размещен в емкости с топливной смесью и выполнен в виде вертикально либо наклонно расположенной трубы, на боковой поверхности которой выполнены радиальные отверстия на разных расстояниях от дна емкости. В бак-отстойник установлены на высоте $0,85h$ и $0,5h$, где h - высота уровня топлива от дна бака-отстойника, заборные трубки, соединенные через вентили с топливным насосом и далее с потребителем. Дно бака-отстойника через вентиль соединено с камерой сгорания потребителя. Такой забор топлива из бака-отстойника выполнен, потому что на разном уровне располагается топливо разного качества и состава.

Сущность предлагаемого устройства состоит в том, что утилизация продуктов очистки топлива происходит путем сброса продуктов очистки топлива (смеси избыточной воды и тяжелых фракций топлива) в камеру сгорания потребителя через соответствующий вентиль. Забор топлива из бака-отстойника применен с разных уровней, что позволяет подавать топливо разного качества. С уровня $0,85h$, то есть с верхней части бака, к потребителю подается очищенное топливо, с уровня $0,5h$ уже забирается водно-топливная смесь, что зависит от температуры потребителя. Забор осуществляется через заборные трубки и регулируется с помощью соответствующих вентилях.

Схема устройства для обработки углеводородного топлива представлена на фиг. 1, где обозначено: 1 - емкость с обрабатываемым топливом; 2 - расходная емкость для воды; 3 - предварительный смеситель; 4 - насос; 5 - фильтр; 6 - роторный аппарат с модуляцией потока; 7 - бак-отстойник (для обработанной водно-топливной смеси); 8, 9, 10, 11, 12, 14, 20, 21 - вентили; 13 - трубопровод; 15 - манометры; 16 - входной перфорированный патрубок для забора топливной смеси; 17 - камера сгорания потребителя; 18, 19 - заборные трубки; 22 - потребитель; 23 - топливный насос.

Назначение элементов: заборные трубки 18, 19 предназначены для забора из бака-отстойника топлива разного качества и с разных уровней (с уровня 0,85h - очищенное топливо, с уровня 0,5h - водно-топливная смесь, а со дна - смесь избыточной воды и тяжелых фракций углеводородного топлива); вентили 20, 21 предназначены для ручного регулирования забора топлива из бака-отстойника; топливный насос 23 предназначен для забора топлива из бака-отстойника и подачи его к потребителю через трубопровод 13.

В качестве потребителя можно использовать бензиновые и дизельные двигатели внутреннего сгорания, отопительные котлы и т.д.

Устройство работает следующим образом. Исходное углеводородное топливо из емкости 1 через перфорированный патрубок 16 при открытом вентиле 8 поступает на вход предварительного смесителя 3, где смешивается с водой, подводимой к смесителю из расходной емкости 2 через вентиль 9. Смесь воды и топлива с помощью насоса 4 подается в фильтр 5, далее в роторный аппарат с модуляцией потока 6, где грубодисперсная водно-топливная эмульсия проходит через периодически совмещающиеся и перекрывающиеся отверстия ротора и статора. При этом расход жидкости изменяется от максимального до минимального (модулируется) с частотой, определяемой числом отверстий и скоростью вращения ротора. Из роторного аппарата с модуляцией потока мелкодисперсная гомогенизированная эмульсия через вентиль 10 возвращается в емкость 1 для повторной обработки. После опорожнения водяной емкости 2 вентиль 9 закрывают и продолжают циркуляционную гидроакустическую обработку топливной смеси, пока весь объем топливной смеси не пройдет через роторный аппарат несколько раз. Затем вентили 8 и 10 закрывают, открывают вентили 11 и 14 и перекачивают обработанную водно-топливную смесь в бак-отстойник 7, в котором под действием силы тяжести эмульсия разделяется на три фракции: легкую - углеводородное топливо, среднюю - концентрированную водно-топливную эмульсию и тяжелую - избыточную воду с тяжелыми фракциями углеводородов, выделяющуюся из средней фракции. После разделения смеси в баке-отстойнике 7 в зависимости от температуры потребителя 22 открывают вентиль 21 и топливный насос 23 забирает через заборную трубку 19 очищенное топливо с уровня 0,85h и подает его к потребителю 22. В противном случае вентиль 21 закрывают и открывают вентиль 20, при этом топливный насос 23 забирает уже водно-топливную смесь через заборную трубку 18 с уровня 0,5h бака-отстойника 7. Сброс продуктов очистки (смеси избыточной воды с тяжелыми фракциями углеводородов) осуществляется через вентиль 12 в камеру сгорания 17 потребителя 22 с последующим сжиганием в последней.

Предлагаемое устройство для обработки углеводородного топлива является новым, поскольку из общедоступных сведений неизвестны устройства, учитывающие при перемешивании физико-химические свойства двух несмешиваемых жидкостей, примененные с целью забора топлива с разной высоты.

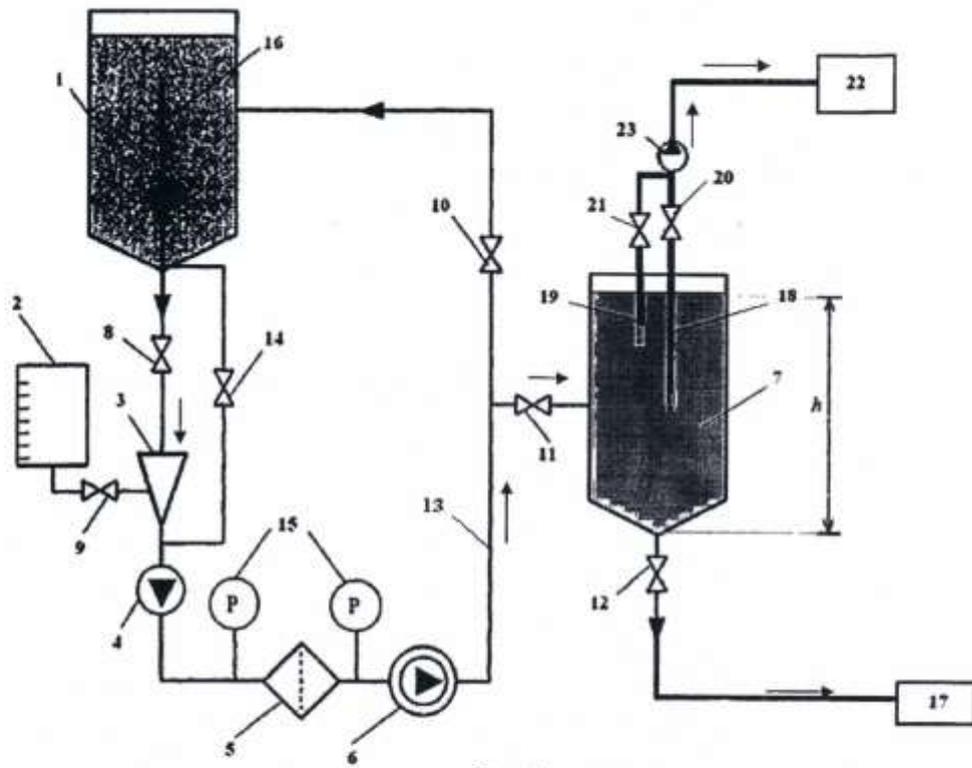
Предлагаемое устройство имеет изобретательский уровень, так как сочетает в себе

совокупность несложных и технически подобранных элементов, которые реализуются в нем с целью получения необходимого эффекта.

Предлагаемое устройство для обработки углеводородного топлива промышленно применимо, так как для его реализации могут быть использованы промышленно выпускаемые и общедоступные детали.

Формула изобретения

Устройство для обработки углеводородного топлива, содержащее емкость для топливной смеси, расходную емкость для воды, предварительный смеситель, входные патрубки которого сообщены с емкостями для воды и топлива, насос, вход которого сообщен с выходным патрубком смесителя, бак-отстойник, роторный аппарат с модуляцией потока, вход которого сообщен через фильтр грубой очистки с выходом насоса, а выход трубопроводом сообщен с емкостью для топливной смеси и с баком-отстойником, входной перфорированный патрубок для забора топливной смеси, отличающееся тем, что дополнительно в бак-отстойник установлены на высоте $0,85h$ и $0,5h$, где h - высота уровня топлива от дна бака-отстойника, заборные трубки, соединенные через вентили с топливным насосом и далее с потребителем, а дно бака-отстойника через вентиль соединено с камерой сгорания потребителя.



Фиг. 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2021614518

**«ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА
РАСЧЕТА ЗАВИСИМОСТЕЙ ЧАСОВОГО РАСХОДА
ТОПЛИВА ОТ СОДЕРЖАНИЯ ВОДНОЙ ФАЗЫ В
ТОПЛИВЕ, ДИАМЕТРА КАПЕЛЬ ВОДНОЙ ФАЗЫ,
УГЛА ОПЕРЕЖЕНИЯ ВПРЫСКА ТОПЛИВА ДЛЯ
ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ»**

Правообладатели: *Борисов Сергей Владимирович (RU), Ломовских
Александр Егорович (RU)*

Авторы: *Борисов Сергей Владимирович (RU), Ломовских
Александр Егорович (RU)*

Заявка № 2021613378

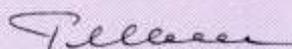
Дата поступления 15 марта 2021 г.

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ 25 марта 2021 г.



Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности



Г.П. Ильев

УТВЕРЖДАЮ

Директор сельскохозяйственного предприятия



П. Незнамов

20/11

Акт

**реализации результатов научной работы Борисова Сергея Владимировича
на тему: «Совершенствование технологии и технических средств
приготовления водно-дизельной смеси для двигателей автотракторной техники»
в сельскохозяйственном предприятии «Виктория»**

Комиссия в составе: председателя главного агронома сельскохозяйственного предприятия Чуйкова Ивана Павловича, членов комиссии: главного механика Дорохина Василия Евгеньевича, инженера Мишина Ивана Геннадьевича, установила, что в сельхозпредприятии «Виктория» реализованы:

1) Технология приготовления водно-дизельной смеси и технические устройства для ее подачи в систему питания двигателей внутреннего сгорания, примененная на тракторах МТЗ-82, Т-150, К-700 на базе дизельных двигателей Д-240, Д-243, ЯМЗ-236 позволила без существенного изменения конструкции топливной аппаратуры двигателя в пределах заводских регулировок цикловой подачи топлива, снизить:

- удельный расход дизельного топлива, тракторов МТЗ-82 на 16,4 %, тракторов Т-150 на 18 %, что привело к снижению затрат на топливо в 1,2 раза;
- содержание сажи в выхлопных газах: в диапазоне по коэффициенту поглощения - на 20...22 %; в диапазоне по коэффициенту ослабления - на 30...35%.

2) При проведении разборки двигателя трактора МТЗ-82, работавшего 580 часов на водно-дизельной смеси и двигателя с такой же наработкой, работавшего на обычном дизельном топливе выявлено, что у дизеля работавшего на водно-дизельной смеси наблюдалось:

- уменьшение толщины нагара на поршне до 80 % (в зоне поршневых канавок до 65 %), что обеспечило повышение компрессии в цилиндрах дизельных двигателей на 7...10%;
- снижение интенсивности износа цилиндропоршневой группы на 40...50 %, подшипников коленчатого вала на 50...60%.

Влияние этих факторов позволит повысить срок службы дизельных двигателей на 18...20% и соответственно сократить финансовые расходы на приобретение запасных частей.

Годовая экономия предприятия за 2020 год при работе 20 тракторов указанных марок при работе каждого 580 часов составила 443821 рубль 75 копеек.

Председатель комиссии:

 И. Чуйков

Члены комиссии:

 В. Дорохин

 И. Мишин

УТВЕРЖДАЮ
 Главный инженер ЗАО «Касторное АРГО-ИНВЕСТ»



А. Плеходанов
 2020г.

Акт
о реализации результатов диссертационной работы
Борисова С.В. на предприятии ЗАО «АГРО-ИНВЕСТ»

Комиссия в составе: председателя - старшего агронома Головина Олега Анатольевича, членов комиссии: главного механика Степанова Николая Ивановича, инженера Митрохина Андрея Сергеевича, установила, что на предприятии Касторное - «АГРО-ИНВЕСТ» реализованы:

Технология приготовления водно-дизельной смеси и технические устройства для ее подачи в систему питания двигателей внутреннего сгорания, установленные на тракторах МТЗ-80, Т-150 с дизельными двигателями Д-240, ЯМЗ-236, что позволило без изменения конструкции топливной аппаратуры двигателя в пределах заводских регулировок снизить:

- удельный расход дизельного топлива, тракторов МТЗ-80 на 15,5 %, тракторов Т-150 на 17,2 %. Применение водно-дизельной смеси приготовленной разработанными автором устройствами позволило снизить расходы на закупку дизельного топлива на 21%;
- содержание сажи в выхлопных газах: в диапазоне по коэффициенту поглощения - на 22 %; в диапазоне по коэффициенту ослабления - на 31%.

Сезонная экономия предприятия ЗАО «АГРО-ИНВЕСТ» за 2020 год при работе 16 тракторов указанных марок составила 36,4 тыс. руб., с учетом оценки воздействия сажи содержащейся в выхлопных газах на окружающую среду.

Председатель комиссии:

старший агроном
 Члены комиссии:
 главный механик
 инженер



О. Головин
 Н. Степанов
 А. Митрохин



Министерство сельского хозяйства РФ

АО "РАНЕНБУРГ-КОМПЛЕКС"



Адрес: 399921, Липецкая область, Чаплыгинский район, пос. Рошинский, ул. Школьная, д.17.
 Tel / (47475) 35-723 Faks (47475) 35-709 E-mail : roshinsk@yandex.ru
 ИНН 4818004299/481801001



Акт

**о реализации результатов научной работы на тему:
 «Совершенствование технологии и технических средств, приготавливающих водно
 – дизельную смесь для двигателей автотракторной техники» на
 предприятии АО «Раненбург – комплекс»**

Комиссия в составе председателя – главного инженера Фетисова Алексея Алексеевича, членов комиссии: старшего агронома Коноплёва Антона Сергеевича, механика Сапронова Романа Александровича, что на предприятии АО «Раненбург – комплекс» реализованы:

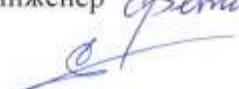
1. Технология приготовления водно – дизельной смеси и технические устройства для ее подачи в систему питания двигателей внутреннего сгорания, применения на тракторах МТЗ – 80, МТЗ – 82, Т – 150 на базе дизельных двигателей Д – 240, Д – 243, ЯМЗ – 236 позволила без изменения конструкции топливной аппаратуры двигателя в пределах заводских регулировок цикловой подачи топлива, снизить:

– удельный расход дизельного топлива, тракторов МТЗ – 80 на 16 %, тракторов Т – 150 на 18,3 %, что привело к снижению затрат на топливо в 1,18 раза;

– содержание сажи в выхлопных газах: в диапазоне по коэффициенту поглощения – на 21%; в диапазоне по коэффициенту ослабления – на 35%.

2. Методика экономической эффективности от внедрения данной технологии приготовления и подачи водно – дизельной смеси для двигателей внутреннего сгорания, позволила произвести стоимостную оценку экономии от ее применения по сравнению с обычным топливом с учетом оценки воздействия сажи содержащейся в выхлопных газах на окружающую среду. Годовая экономия предприятия АО «Раненбург – комплекс» за 2020 год при работе 16 тракторов указанных марок при работе каждого 48 часов составила 42,5 тыс. руб.

Председатель комиссии: главный инженер  А. А. Фетисов

Члены комиссии: механик  Р. А. Сапронов

старший агроном  А. С. Коноплёв

«УТВЕРЖДАЮ»

Руководитель центральной ремонтной базы

ООО «Трансстроймеханизация»



В. И. Воробьев

2021г.

Акт

о реализации результатов диссертационной работы

Борисова Сергея Владимировича на тему:

«Совершенствование технологии и технических средств приготовления водно-дизельной смеси» в ООО «Трансстроймеханизация»

Комиссия в составе: председателя заместителя руководителя центральной ремонтной базы - Макеева Андрея Геннадьевича, членов комиссии: начальника цеха по ремонту дорожно-строительных машин Плужникова Виктора Николаевича, старшего мастера участка по ремонту дорожно-строительных машин Рахматуллина Асхата Муллахметовича установила, что в центральной ремонтной базе ООО «Трансстроймеханизация» реализованы:

1. Технология приготовления водно-дизельной смеси и технические устройства для ее подачи в систему питания двигателей внутреннего сгорания, примененные на тракторах Беларус МТЗ-82, МТЗ-82.1, на базе дизельного двигателя Д-243. В результате применения технических устройств для подачи водно-дизельной смеси в систему питания двигателя установлено:

- удельный расход топлива, тракторов МТЗ-82 снизился на 16,6 %, что привело к снижению затрат на топливо в 1,26 раза;

- уменьшение содержания сажи в выхлопных газах: в диапазоне по коэффициенту поглощения - на 22 %; в диапазоне по коэффициенту ослабления - на 34%.

2) Экономия ООО Трансстроймеханизация за 1 квартал 2021 год при работе 18 тракторов на водно-дизельной смеси составила 84900 рублей.

Председатель комиссии: _____ А.Г. Макеев

Члены комиссии: _____ В.Н. Плужников

_____ А.М. Рахматуллин



Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
 федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
 высшего образования
«МИЧУРИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ)

Проректор по учебно-воспитательной
 работе ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ
 доктор экономических наук, профессор

Жидков С.А.

«12» 06 2021 г.

А К Т

реализации результатов диссертационной работы
 Борисова Сергея Владимировича

Комиссия инженерного института Мичуринского ГАУ в составе председателя – директора инженерного института, доктора технических наук, профессора Манаенкова К.А. и членов: заведующего кафедрой «транспортно-технологических машин и основ конструирования» доктора технических наук, профессора Ланцева В. Ю., доктора технических наук, профессора Соловьев С.В. составила настоящий акт о следующем.

Комиссия рассмотрела материалы научно-исследовательской работы аспиранта ания Борисова С.В. на тему: «Совершенствование технологии и технических средств, приготавливающих водно-дизельную смесь для двигателей автотракторной техники», включающая обоснование конструктивно – режимных параметров приготовления водно-дизельной смеси, а также результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Комиссия отмечает, что рассмотренные материалы имеют существенное практическое значение и приняты для внедрения в учебном процессии на кафедре «транспортно-технологических машин и основ конструирования»

Аналитические и экспериментальные результаты включены в курс лекций по дисциплинам «основы расчета двигателей внутреннего сгорания», «ресурсосберегающие технологии в АПК», «топливо и смазочные материалы» для обучающихся по направлению 35.03.06 «Агроинженерия»

Председатель комиссии

Манаенков К.А.

Члены комиссии

Ланцев В.Ю.

Соловьев С.В.



Проректор по учебно - методической работе
 ФГБОУ «Липецкий институт переподготовки и
 повышения квалификации кадров АПК»
 кандидат педагогических наук, доцент
 К.А. Ротобильский
 «05» июля 2021 г.

А К Т

реализации результатов диссертационной работы
 Борисова Сергея Владимировича

Комиссия в составе:

председатель – проректор по учебно - методической работе ФГБОУ «Липецкий институт переподготовки и повышения квалификации кадров АПК» кандидат педагогических наук, доцент К.А. Ротобильский;

члены комиссии – проректор по административно – производственной работе, кандидат экономических наук А.М. Грешонков, преподаватель И.А. Климов. составила настоящий акт о том, что результаты диссертационного исследования Борисова С.В. «Совершенствование технологии и технических средств, приготавливающих водно-дизельную смесь для двигателей автотракторной техники» реализованы в учебном процессе при проведении занятий по дополнительной профессиональной образовательной программе профессиональной переподготовки «Инженерное обеспечение технологических процессов предприятий агропромышленного комплекса» по дисциплине «Автомобили и тракторы» в теме № 8 «Система питания четырёхтактного дизеля»:

группового занятия №5 «Периодичность и порядок выполнения работ по техническому обслуживанию механизмов и систем двигателей машин», а именно способ модернизации системы питания двигателя для работы на водно-дизельной смеси;

практического занятия №10 «Выполнение работ по видам технического обслуживания двигателей Д-240, КамАЗ-740, ЯМЗ-236», а именно устройство для приготовления стабильной и высокодисперсной дизельной смеси;

лабораторной работы №3 «Исследования технического состояния двигателей с помощью диагностического оборудования», а именно математическая модель влияния состава и дисперсности водно-дизельной смеси на эксплуатационные и экологические показатели ДВС сельскохозяйственной техники.

Председатель
 комиссии:

Проректор по учебно - методической работе
 ФГБОУ «ЛИППКК-АПК» кандидат педагогических наук
 К.А. Ротобильский
 (должность, подпись, фамилия)

Члены комиссии:

проректор по административно – производственной работе,
 кандидат экономических наук А.М. Грешонков
 (должность, подпись, фамилия)

Преподаватель И.А. Климов
 (должность, подпись, фамилия)

«05» июля 2021 года

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ
СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ
ЗНАКАМ

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL
PROPERTY, PATENTS
AND TRADEMARKS



НАГРАЖДАЕТСЯ

*ФГБОУ ВПО «Военный авиационный
инженерный университет» МО РФ
за разработку «Роторно-пульсационный аппарат
для обработки углеводородного топлива»*



Руководитель

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'B.P. Simonov'.

Б.П. СИМОНОВ

**XV Юбилейный международный Салон
изобретений и инновационных технологий**



«АРХИМЕД-2012»

ДИПЛОМ

*Решением Международного Жюри
награждается*

ЗОЛОТОЙ МЕДАЛЬЮ

**ФГБОУ ВПО «Военный авиационный
инженерный университет» МО РФ**
*за разработку «Роторно-пульсационный аппарат
для обработки углеводородного топлива»*

**Председатель
Международного Жюри,
Президент Евразийской
патентной организации**

А.Н. Григорьев

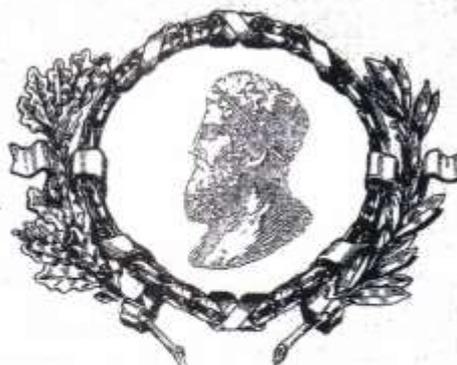
Президент Салона

Д.И. Зезюлин

**Руководитель
Федеральной службы
по интеллектуальной
собственности**

Б.П. Симонов

**XV Юбилейный международный Салон
изобретений и инновационных технологий**



«АРХИМЕД-2012»

ДИПЛОМ

*Решением Международного Жюри
награждается*

БРОНЗОВОЙ МЕДАЛЬЮ

**ФГБОУ ВПО «Военный авиационный
инженерный университет» МО РФ
за разработку «Система для приготовления
и подачи топливной смеси
в двигатель внутреннего сгорания»
(Ломовских А.Е., Иванов В.П., Борисов С.В.,
Капустин Д.Е., Сысоев И.П.)**

*Председатель
Международного Жюри,
Президент Евразийской
патентной организации*

А.Н. Григорьев

Президент Салона

Д.И. Зезюлин

*Руководитель
Федеральной службы
по интеллектуальной
собственности*

Б.П. Симонов



Диплом

награждается автор проекта

Способ и устройство для безразборной очистки
деталей цилиндро-поршневой группы
двигателей внутреннего сгорания от нагара

Борисов
Сергей Владимирович

за участие в ежегодном межвузовском
конкурсе инновационных проектов
«Кубок инноваций»

2018

Губернатор
Воронежской области

A stylized blue ink signature of the Governor of the Voronezh region.

А.В. Гусев

**Бюджетное учреждение Воронежской области
«Центр лабораторных исследований»**

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

394038, г. Воронеж, пер. Производственный, д.1а, тел./факс(473)241-34-40, (473) 241-34-39
Аттестат аккредитации RA.RU. 21ЦЮ01 от 27.11.2015 г.

ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 28/21
от «22» января 2021 г.

Наименование образца: Топливо дизельное ЕВРО летнее, сорта С, экологического класса К5(ДТ-Л-К5) по ГОСТ 32511-2013.

Наименование заказчика: Борисов Сергей Владимирович.

Дата поступления образца*: 22 января 2021 г.

Дата проведения испытания: 22 января 2021 г.

Описание образца: образец дизельного топлива объемом 1,5 л в пластиковой бутылке емкостью 1,5 л. Образец не опечатан, мутный, молочного цвета. Проба № 2.

РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЙ

№ п/п	Наименование показателя	Значение по НД	Результат испытания	НД на методы испытания	Испытательное оборудование
1.	Плотность при 15 °С, кг/м ³	820-845	824,0	ГОСТ Р ИСО 3675-2007	ТЖ-ТС-01 № 88
2.	Фракционный состав: при температуре 250 °С перегоняется, % об., менее	65	64	ГОСТ 2177-99 Метод А	АРН-ЛАБ-1 №361
	при температуре 350 °С перегоняется, % об., не менее	85	**		
	95% об. перегоняется при температуре, °С, не выше	360	306		

*Отбор образца выполнен заказчиком

** 324 °С конец кипения - процент отгона 98%.

1. Результаты испытаний распространяются только на испытуемый образец.

2. Частичное воспроизведение протокола испытаний без письменного разрешения директора, руководителя ИЛИ БУВО «Центр лабораторных исследований» запрещается.

Заключение: Топливо дизельное ЕВРО летнее, сорта С, экологического класса К5(ДТ-Л-К5) по ГОСТ 32511-2013 *соответствует* требованиям ГОСТ 32511-2013 по плотности(824,0 кг/м³) и фракционному составу.

Директор



В.А. Орбинский

**Бюджетное учреждение Воронежской области
«Центр лабораторных исследований»**

ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

394038, г. Воронеж, пер. Производственный, д.1а, тел./факс(473)241-34-40, (473) 241-34-39
Аттестат аккредитации RA.RU. 21ЦЮ01 от 27.11.2015 г.

**ПРОТОКОЛ ИСПЫТАНИЙ № 27/21
от «22» января 2021 г.**

Наименование образца: Топливо дизельное ЕВРО летнее, сорта С, экологического класса К5(ДТ-Л-К5) по ГОСТ 32511-2013.

Наименование заказчика: Борисов Сергей Владимирович.

Дата поступления образца*: 22 января 2021 г.

Дата проведения испытания: 22 января 2021 г.

Описание образца: образец дизельного топлива объемом 1,5 л в пластиковой бутылке емкостью 4,5 л. Образец не опечатан, чистый, прозрачный. Проба № 1.

РЕЗУЛЬТАТ ИСПЫТАНИЙ

№ п/п	Наименование показателя	Значение по НД	Результат испытания	ИД на методы испытания	Испытательное оборудование
1.	Плотность при 15 °С, кг/м ³	820-845	819,2	ГОСТ Р ИСО 3675-2007	ТЖ-ТС-01 № 88
2.	Фракционный состав: при температуре 250 °С перегоняется, % об., менее	65	64	ГОСТ 2177-99 Метод А	АРН-ЛАБ-1 №361
	при температуре 350 °С перегоняется, % об., не менее	85	**		
	95% об. перегоняется при температуре, °С, не выше	360	308		

* Отбор образца выполнен заказчиком

** 324°С - конец кипения - процент отгона 98%.

1. Результаты испытаний распространяются только на испытуемый образец.
2. Частичное воспроизведение протокола испытаний без письменного разрешения директора, руководителя ИЛИ БУВО «Центр лабораторных исследований» запрещается.

Заключение: Топливо дизельное ЕВРО летнее, сорта С, экологического класса К5(ДТ-Л-К5) по ГОСТ 32511 - 2013 не соответствует требованиям ГОСТ 32511-2013 по плотности (819,2 кг/м³).

Директор



В.А. Оробинский

УТВЕРЖДАЮ
Директор сельскохозяйственного предприятия
«Виктория»

П. Незнамов



АКТ
проведения натурных испытаний технических средств для
приготовления и подачи водно-дизельной смеси в систему питания
двигателя трактора МТЗ-82

Комиссия в составе: председателя главного агронома сельскохозяйственного предприятия Чуйкова Ивана Павловича, членов комиссии: главного механика Дорохина Василия Евгеньевича, инженера Мишина Ивана Геннадьевича, провели испытания трактора МТЗ-82 с двигателем Д-240 оснащенного техническими устройствами для приготовления и подачи в систему питания водно-дизельной смеси, разработанными Борисовым Сергеем Владимировичем, в рамках проведения диссертационного исследования на тему: «Совершенствование технологии и технических средств приготовления водно-дизельной смеси для двигателей автотракторной техники», с целью улучшения эксплуатационных и экологических показателей двигателя.

Испытания проводились для получения показателей расхода топлива и содержания сажи в отработавших газах трактора МТЗ-82 1990 года выпуска, оснащенного двигателем Д-240. На момент начала испытаний наработка составляла 9362 моточасов, техническое обслуживание данного агрегата

проводилось согласно регламента при подготовке к весенне-полевым работам.

Для определения параметров работы двигателя предварительно была проведена экспертиза технического состояния двигателя опытного трактора. Измерения расхода топлива производились методом отключения топливных баков, и переход на подачу в систему питания топлива с мерной емкости, прошедшей апробацию в центре стандартизации и метрологии. Для измерения израсходованного топлива использовалась так же мерная заправочная емкость, позволяющая с высокой точностью определить объем заливаемого топлива, соответственно данный объем топлива можно считать затраченным на проведение тестового заезда.

В качестве места проведения измерений был выбран прямолинейный участок дороги соединяющий между населенными пунктами Верхняя Плавница и Малый Самовец Эртильского района Воронежской области.

Испытания состояли из четырех заездов три из которых состояли из однократного движения трактора в обе стороны, остановки, и заправки мерной топливной емкости до отметки соответствующей началу испытаний, и один заезд производился на полном баке 20 литров, до полной остановки трактора и выработки всего топлива. В рамках проведения четвертого заезда трактор двигался циклично по заданному мерному участку многократно проходя дистанцию в обе стороны.

До и после заездов проводились измерения давления в шинах трактора и прицепа, во избежание проколов, и некорректности измерений. Заправка топливом на первых трех измерениях производилась на одном и том же месте отмеченным на асфальте условной меткой, после полной остановки трактора.

Все заезды производились согласно приложенной инструкции, и предписывали строгое соблюдение однородности процедуры трогания с места, движения и остановки. Оптимальные обороты двигателя 1600

об/мин поддерживались 93% времени испытательных заездов.

Результаты произведенных экспериментов представлены в таблице 1.

Параметр	Двигатель, работающий на ДТ	Двигатель, работающий на ВДС	Разница в единицах	Разница в %
Средний расход топлива по заправке	9,2	7,70	1,6	-16,4
Средний расход топлива по баку	9,2	7.68	1,62	-16,5
Давление в шинах	0,2	0,2	-	-
Атмосферное давление	743,5	745	1,5	0,27

В результате проведения натуральных испытаний в сельхозпредприятии при работе двигателя Д-240 на обычном дизельном топливе и на водно-дизельной смеси, с содержанием водного компонента 17%, полученной с помощью разработанных технических устройств для приготовления и подачи такой смеси в систему питания дизельного двигателя Д-240, установлено:

1. снижение расхода топлива на 16,4% при работе двигателя на водно-дизельной смеси;
2. снижение содержания сажи в отработавших газах ДВС по значению K на 20...22 %, по значению N на 30...35 %.

Председатель комиссии:

 И. Чуйков

Члены комиссии:

 В. Дорохин

 И. Мишин