МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический
университет имени П.А. Костычева»

На правах рукописи

ПУКОВ РОМАН ВЛАДИМИРОВИЧ

УЛУЧШЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ АВТОТРАКТОРНЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПУТЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ ТОПЛИВА

Специальность 05.20.03 - Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель:
д.т.н., профессор
Симдянкин Аркадий Анатольевич

Рязань 2018

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение…….. 4

Глава 1. Состояние вопроса, цель и задачи исследования…….. 10

1.1. Требования, предъявляемые к топливу..…… 10

1.2. Способы и устройства для снижения расхода топлива…… 13

1.3 Способы и устройства для энергонасыщения топлива…… 19

1.4 Экологическая безопасность современных двигателей...…… 39

1.5 Цель и задачи исследования…… 42

Выводы по первой главе……. 43

Глава 2. Кавитационные процессы в жидкостях и их теоретическое описание……... 44

2.1. Кавитация в жидкостях…… 44

2.2. Уточнение аналитических зависимостей, связывающих образование кавитационных пузырьков с коэффициентом поверхностного натяжения…… 46

Выводы по второй главе……. 55

Глава 3. Общая и частные методики исследования…...……. 56

3.1. Общая методика исследования……...…… 56

3.2. Методика исследования физико-механических характеристик топлива…….. 57

3.2.1 Методика исследования динамической вязкости…...…….. 58

3.2.2 Методика исследования коэффициента поверхностного натяжения.. 60

3.2.2.1 Метод отрыва кольца……... 60

3.2.2.2 Капельный метод……. 63

3.2.3 Методика исследования плотности топлива……. 65

3.2.4 Методика исследования коэффициента светопропускания……. 66

3.3 Методика оценки характеристик впрыска топлива...…...…… 68

3.4 Методика оценки характеристик воспламеняемости топлива……... 69

3.5 Методика оценки времени обработки топлива……..... 70

3.6 Методика оценки расхода топлива и мощности излучателя……. 72

3.7 Методика оценки экологических показателей……. 74

Выводы по третьей главе……..…….. 79
Глава 4. Результаты экспериментальных исследований устройства для ультразвуковой обработки топлива.....……. 80
4.1 Экспериментальные исследования физико-механических характеристик топлива…… 80
4.1.1 Экспериментальные исследования динамической вязкости топлива 80
4.1.2 Экспериментальные исследования коэффициента поверхностного натяжения……. 82
4.1.2.1 Исследования методом отрыва кольца…….. 82
4.1.2.2 Исследования капельным методом…… 83
4.1.3 Экспериментальные исследования плотности топлива……... 87
4.1.4 Экспериментальные исследования коэффициента светопропускания……. 90
4.2 Экспериментальные исследования характеристик впрыска топлива. 93
4.3 Экспериментальные исследования воспламеняемости топлива…… 100
4.4 Экспериментальные исследования оценки времени обработки топлива.……. 103
4.5 Экспериментальные исследования оценки расхода топлива и мощности излучателя……... 107
4.6 Экспериментальные исследования экологических показателей…… 111
Выводы по четвёртой главе……..…. 116
Глава 5. Производственная проверка предложенных решений и оценка их экономической эффективности.....…… 118
5.1 Выбор параметров устройства и методик для расчета экономической эффективности……... 118
5.2 Оценка экономической эффективности дизеля, укомплектованного устройством для энергонасыщения топлива……. 125
Выводы по пятой главе…..……...…….. 130
Заключение и предложения производству……..... 131
Список литературы……. 133
Приложения…… 148

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В 2017 г. общее потребление дизельного топлива в РФ составило 33,1 млн. т, в том числе 4,68 млн. т предприятиями АПК, при этом рост цен на него практически в два раза опередил инфляцию, составив 8,5%. Структура затрат на топливо в предприятиях АПК достигает 40%, что негативно сказывается на себестоимости сельскохозяйственной продукции. Сельскохозяйственные предприятия, являясь самостоятельными коммерческими единицами и работающие в условиях самоокупаемости, заинтересованы в снижении данного показателя, так как это влияет на её реализацию, а, следовательно, и на продовольственную безопасность страны. Именно с этим связана разработка и осуществление в Российской Федерации распоряжения Правительства РФ от 28 июля 2015 года №1472-р «Об утверждении основных направлений государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе использования возобновляемых источников энергии на период до 2020 года».

Таким образом, разработка и обоснование недорогого в производстве и не требующего внесения существенных изменений в конструкцию автотракторных дизельных двигателей устройства, снижающего потребление топлива, и, кроме того, улучшающего их экологические показатели, является важной народно-хозяйственной задачей и подтверждает актуальность данного направления научных исследований.

Степень разработанности. Вопросами энергоресурсосбережения при эксплуатации сельскохозяйственной техники занимались Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, А.А Симдянкин, И.А.Успенский, Б.П. Загородских, А.В. Смольянов, А.П. Иншаков, Ю.Н. Рыжов, П.С. Синицин, И.К. Данилов, Г.А. Борисов, Г.Д. Кокорев, И.А. Юхин, А. П. Уханов, В.А. Кутовой, М.Б. Равич, А.В. Кузнецов, В.А. Марков, А.А. Гайле, И.В. Возницкий, Г.П. Покровский, М. Бурю, Б. Голли, А. Ярви, Д. Дилнери, М. Троберг, Ф. Эстман, М. Хомма, Х. Цукимото, Ф. Коле, Р. Аккерман и др.

Обобщение и уточнение результатов работ вышеуказанных авторов позволяет использовать при техническом обслуживании и ремонте сельскохозяйственной техники различные конструкции устройств для экономии топлива, использующие такие виды обработки, как деароматизация, ультразвуковая обработка, омагничивание, электростатическая и электромагнитная обработка, эмульгирование, нагрев и охлаждение топлива.

Однако, проведённый в работе анализ конструкций устройств для топливообработки показал, что не были решены вопросы оценки воздействия кавитации на физико-механические характеристики топлива, в том числе влияние мощности и частоты излучателя ультразвука, а также времени обработки топлива, не объяснена и физическая суть процесса экономии топлива при его обработке ультразвуком, что говорит об актуальности проведения дополнительных исследований в этом направлении.

Работа выполнена по плану НИР ФГБОУ ВО РГАТУ на 2016-2020 гг. по теме 3 «Совершенствование технологий, средств механизации, электрификации и технического сервиса в сельскохозяйственном производстве» в рамках раздела 3.3 «Повышение эффективности эксплуатации мобильной сельскохозяйственной техники за счет разработки новых конструкций, методов и средств технического обслуживания, ремонта и диагностирования».

Цель исследования – улучшение показателей автотракторных дизельных двигателей за счет ультразвуковой обработки топлива перед его подачей в камеру сгорания.

Объект исследований - топливо и топливоподача широко применяемых в агропромышленном комплексе современных дизельных двигателей.

Предмет исследований - процесс ультразвуковой обработки дизельного топлива перед его подачей в камеру сгорания.

Научную новизну работы представляют:

- аналитические зависимости, связывающие коэффициент поверхностного натяжения топлива и критическую энергию, затрачиваемую на образование кавитационного пузырька;

- результаты воздействия ультразвуковой кавитации (мощность, частота и время обработки) на физико-механические характеристики топлива (коэффициент поверхностного натяжения, плотность), а также расход топлива и экологические показатели двигателя;
- конструктивно-технологическая схема измененной системы питания дизельного двигателя с применением устройства ультразвуковой обработки топлива.

Теоретическая значимость работы. Оценены эффекты охлаждения топлива, которые могут присутствовать на микроуровне при кавитационных процессах в жидкостях; предложен метод учета изменения коэффициента поверхностного натяжения дизельного топлива в процессе ультразвуковой обработки и получена аналитическая зависимость, описывающая это изменение в зависимости от времени его обработки.

Уточнены уравнения, описывающие суммарное количество теплоты, затраченное на образование невзаимодействующих друг с другом вакуумных пузырьков при стационарной паровой кавитации в жидкости, критическую энергию, затраченную на образование одного кавитационного пузырька, а также суммарное количество теплоты, затраченное на образование невзаимодействующих друг с другом вакуумных пузырьков при ультразвуковой кавитации в дизельном топливе, объяснены физические основы процесса ультразвуковой обработки топлива.

Практическая значимость работы. Предложено научно-обоснованное техническое решение, защищённое патентом на изобретение №2647355, обеспечивающее повышение качества распыла дизельного топлива за счет ультразвуковой обработки. Проведена интеграция одной из версий разработанного устройства в топливопровод дизельного двигателя Д-245.9-540, позволившая снизить расход топлива автомобилем МАЗ-4370 на 7,2% (с 23 л до 21,5 л на 100 км пробега) и дымность на 17% (с 0,047 г/м^3 до 0,038 г/м^3). Кроме того, разработанные рекомендации по использованию устройства для

ультразвуковой обработки топлива могут быть использованы в учебном процессе при обучении студентов профильных направлений.

Методы исследований. Включают исследования физико-механических характеристик топлива - динамической вязкости, коэффициента поверхностного натяжения, плотности, характеристики впрыска и воспламеняемости топлива, а также методики оценки времени обработки топлива, мощности излучателя ультразвуковых колебаний и расхода топлива.

При проведении экспериментальных исследований использовались общие и частные методики исследования, в частности для проведения исследований применялось дизельное топливо ДТ ГОСТ 305-2013, оценка физико-механических характеристик топлива производилась согласно ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009), характеристик воспламеняемости - согласно ГОСТ Р 52709, экологических характеристик - согласно ГОСТ Р 52160-2003 и ГОСТ Р 41.24-2003. Обработка результатов исследований проведена методами математической статистики с использованием MS Excel и «STATISTICA» 8.2.

Положения, выносимые на защиту:

- аналитические зависимости, связывающие коэффициент поверхностного натяжения топлива и критическую энергию, затрачиваемую на образование кавитационного пузырька;
- результаты оценки воздействия ультразвуковой кавитации (мощность, частота и время обработки) на физико-механические характеристики топлива (коэффициент поверхностного натяжения, плотность, динамическая вязкость);
- конструкция устройства для энергонасыщения топлива и схема его интеграции в систему топливоподачи дизельного двигателя;
- результаты лабораторных и производственных испытаний устройства для ультразвуковой обработки топлива с экономической оценкой результатов его использования.

Достоверность результатов исследований. Для осуществления экспериментальных исследований использовалось современное оборудование, прошедшее своевременную поверку. Полученные выводы подтверждаются

сходимостью результатов теоретических исследований и полученных экспериментальных данных (расхождение не более 5%). При проведении экспериментальных исследований использовались современные методики, приборы и установки, пакеты прикладных программ. Результаты, полученные в ходе выполнения работы, согласуются с результатами, опубликованными в независимых источниках по тематике исследования, и прошли широкую апробацию в печати, на международных и всероссийских научно-практических конференциях.

Реализация результатов исследований. Устройство для ультразвуковой обработки топлива прошло производственную проверку в течение 10 месяцев в ИП «Масягин С.А.» в Рязанской области.

Вклад автора в решение поставленных задач состоит в участии в разработке и формулировании цели и задач работы, определении направлений теоретических и экспериментальных исследований, а также в их организации и проведении.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований доложены и обсуждены на научно-практических конференциях Рязанского ГАТУ им. П.А. Костычева (2015…2018 гг.), на Всероссийской научно-практической конференции «Современное состояние прикладной науки в области механики и энергетики» (Чебоксары, 9-10 сентября 2016 г.), на 68-ой Международной научно-практической конференции «Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве» (Рязань, 26 апреля 2017 г.), на Национальной научно-практической конференции «Совершенствование системы подготовки и дополнительного профессионального образования кадров для агропромышленного комплекса» (Рязань, 14 декабря 2017 г.). Опытный образец устройства для ультразвуковой обработки топлива был представлен 9 сентября 2017 года на выставке «Спожинки - праздник урожая», макет устройства для ультразвуковой обработки топлива был представлен на 19-ой Российской агропромышленной выставке «Золотая осень - 2017» на ВДНХ ЭКСПО (Москва, 4-7 октября 2017 г.), на Салоне изобретений и инновационных технологий

«Архимед» в конгрессно-выставочном центре Сокольники (Москва, 5-8 апреля 2017 г.), а также в рамках научных мероприятий, проведенных на базе ФГБОУ ВО РГАТУ им. П.А. Костычева.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в печати в 10 научных работах, из них 4 статьи в журналах, включенных в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» ВАК РФ, получен патент РФ на изобретение. Общий объем публикаций составил 5,9 п.л., из них лично соискателю принадлежит 3,5 п.л.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 115 наименований, в том числе 9 на иностранных языках и 6 приложений, изложена на 166 страницах, включает 92 рисунка и 20 таблиц.

1. Состояние вопроса, цель и задачи исследования

1.1 Требования, предъявляемые к топливу

В развитии современного общества можно выделить ряд ключевых особенностей, таких как повышение рациональности и эффективности использования доступных в настоящее время энергоресурсов, разработка и повсеместное внедрение энергосберегающих технологий, поиск и освоение возобновляемых энергоисточников.

Как следствие постепенно истощающихся мировых запасов нефти, (что обусловлено ограниченностью ее геологических запасов (таблица 1.1) [93]), повышаются цены на традиционные моторные топлива. Сложившаяся в мире неблагоприятная экологическая обстановка влияет как на окружающую среду, так и на состояние здоровья людей. Все вышеперечисленные причины говорят об актуальности работ, направленных на поиск более рационального и эффективного использования доступных в настоящее время энергоресурсов.

Таблица 1.1 - Мировые запасы ископаемых энергоносителей (в млрд. т)

Вид энергоносителя	Мировые запасы, млрд. т	Мировое извлечение в год, млрд. т	Потенциал по годам, млрд.т
Нефть	130	4	30-35
Уголь	720	2	350
Природный газ	104	2,1	50

Ухудшение мировой экологической обстановки также требует принятия новых, более жестких требований, предъявляемых к топливу, используемому в агропромышленном комплексе.

В подтверждение этого, Европейская экономическая комиссия приняла экологические стандарты Евро (таблица 1.2), требующие снижения содержания углеводородов и оксидов азота в выхлопных газах автотракторных дизелей до 0,25 и 2 г/кВт-ч, соответственно, при этом дымность отработавших газов должна снизиться до 0,15 г/кВт-ч [4].

Таблица 1.2 - Требования экологических стандартов «ЕВРО»

Название стандарта	Масса вредных веществ в выхлопных газах автотракторных дизелей. г/кВт·ч				
	Оксид углерода (CO)	Углеводороды (CH)	Оксиды азота (NO_x)	Твердые частицы	Дымность
ЕВРО-0	11,2	2,4	14,4	-	-
ЕВРО-1	4,5	1,1	8	0,36	-
ЕВРО-2	4	1,1	7	0,15	-
ЕВРО-3	2,1	0,66	5	0,1	0,8
ЕВРО-4	1,5	0,46	3,5	0,02	0,5
ЕВРО-5	1,5	0,46	2	0,02	0,15
ЕВРО-6	1,5	0,25	2	0,02	0,15

Более 60% мировой автотракторной техники оснащены дизельными двигателями. Например, для удовлетворения ежегодных потребностей в дизельном топливе предприятий российского агропромышленного комплекса, требуется более 5 млн. тонн [93, 94, 95]. Однако, при использовании минерального дизельного топлива, в атмосферу попадает достаточно большое количество вредных выбросов [99, с. 23-27].

Таким образом, можно констатировать, что необходимость решения накопившихся проблем энергосбережения и повышения энергоэффективности использования существующих ресурсов в агропромышленном комплексе очевидна и безальтернативна. Мировой опыт показывает, что диверсификация источников энергообеспечения [22, с. 116-118] является одним из устойчивых направлений развития сельскохозяйственной отрасли.

По данным экспертов Всемирного банка, энергорасточительность обходится России в сумму от 84 до 112 млрд. долларов в год. В то же время, по международным оценкам JFC, Россия могла бы сэкономить до 45% потребления энергии, что сопоставимо с годовым объёмом использования энергии Францией и Великобританией. В июне 2008 года президент России Д. Медведев подписал указ «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической

эффективности российской экономики», который предусматривает снижение к 2020 г. энергоёмкости ВВП России не менее чем на 40% по сравнению с 2007 годом [2].

Необходимость решения накопившихся проблем энергосбережения и повышения энергоэффективности в экономике, промышленности, сельском хозяйстве, ЖКХ очевидна и безальтернативна. Потенциал энергосбережения в отраслях экономики России, оцененный в «Энергетической стратегии России до 2030 года», составил в среднем порядка 20% [5]. Каждое сельскохозяйственное предприятие может рассчитывать только на себя и потреблять лишь те ресурсы, которыми располагает. Например, затраты на топливо в структуре затрат автопредприятий составляют порядка 40 %, и с ростом цен на дизельное топливо эта процентная составляющая существенно увеличивается [103].

Именно для такой экономии в области топливосбережения необходимо не только содержать топливную аппаратуру дизельных двигателей в исправном состоянии [85, 86], но и изучать различные возможности улучшения эксплуатационных характеристик автотракторных дизелей: за счет применения альтернативных моторных топлив [16, 18, 78], за счёт энергонасыщения топлива внешним комбинированным воздействием. Предлагаемые решения могут стать существенным подспорьем для уменьшения расхода топлива в расчёте на единицу выпускаемой продукции [89].

В последнее время в достаточно большой части исследований улучшение технико-экономических и экологических показателей двигателей связывается исключительно с процессами смесеобразования и горения топлива в камере сгорания. Достижения научно-технического прогресса, освоение новых материалов и технологий уже сейчас позволяют создавать двигатели практически совершенных конструкций, поэтому дальнейшее улучшение показателей их работы может быть достигнуто путем воздействия на потребляемое топливо, в том числе изменением его состава при определенных типах обработки.

К основным типам смесевого топлива, используемого в дизелях, относятся: минеральное дизельное топливо (летнее, зимнее, арктическое), композиционное

топливо, биотопливо, смесевое топливо.

К способам обработки топлива можно отнести: деароматизацию топлива с целью его приведения в соответствие с существующими требованиями к экологически чистым дизельным топливам (ЭЧДТ), ультразвуковую обработку, омагничивание, электростатическую и электромагнитную обработку топлива.

1.2 Способы и устройства для снижения расхода топлива

В разное время, в зависимости от достижений научно-технического прогресса, были разработаны и опробованы различные способы снижения расхода топлива без заметной потери, а иногда и с повышением мощности двигателя внутреннего сгорания.

Одним из способов является впрыск воды в цилиндры работающего двигателя. Впервые в мировой практике впрыск воды в цилиндры двигателя применил венгерский инженер Bcnki в начале XX века.

Принципиальная схема работы системы впрыска воды в двигатель внутреннего сгорания представлена на рисунке 1.1.

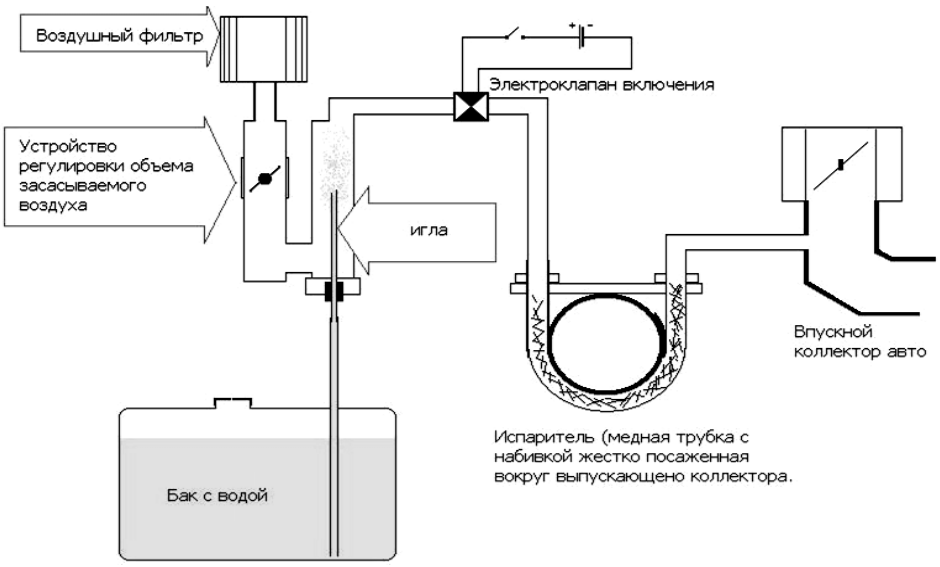


Рисунок 1.1 - Принципиальная схема работы системы впрыска воды в двигатель внутреннего сгорания

Во время II Мировой войны система впрыска воды активно применялась в авиации, позволяя, например, повысить мощность моторов бомбардировщика Дуглас А-26 «Инвэйдер» на 10…20% от номинальной стендовой мощности [110].

В Советском Союзе, а позже и в России, также велись разработки подобных технических методов. Одно из более современных устройств [1] осуществляет впрыск воды через насос-форсунку во время рабочего хода поршня двигателя с последующим выпуском смеси паров воды с отработавшими газами. При этом формируется кольцевой поток впрыскиваемой воды вдоль внутренней стенки цилиндра.

Недостатками этого способа являются в основном значительное усложнение конструкции, а также неравномерное распределение смеси по цилиндрам и недостаточная энергетическая способность топливной смеси по сравнению с исходным топливом.

Известны и другие способы и устройства для реализации данной идеи [40, 45, 47].

Система впрыска воды в двигатель внутреннего сгорания, несомненно, имеет свои достоинства. Среди них важно отметить:

- увеличение мощности двигателя до 20%;

- уменьшение расхода топлива до 20%;

- возможность (при необходимости) работать на менее качественных сортах топлива с сохранением (или не критичном снижении) основных эксплуатационных показателей используемой техники;

- повышение общего КПД механизма и чёткости его работы, вследствие чего увеличивается срок работы двигателя;

- существенное снижение риска детонации ДВС в момент пиковых нагрузок;

- экономическая выгода, размер которой прямо пропорционален масштабам использования данной системы в крупных хозяйствах.

Но, к сожалению, существуют и весомые недостатки. Вот всего лишь некоторые из них:

- общая сложность при установке системы на двигатель, так как при малейших неточностях в установке системы впрыска воды на «маленьких» или же полностью открытых заслонках двигатель будет работать крайне нестабильно;

- необходимость в дополнительном баке с водой;

- предельная внимательность к герметичности системы;

- использование только дистиллированной воды, так как обычная вода непременно содержит различные соли, которые при выпаривании жидкости станут оседать на внутренних стенках деталей двигателя и со временем могут либо привести его в негодность, либо во избежание этого периодически требовать тщательного и затратного по времени обслуживания;

- неудобство зимней эксплуатации, так как вода замерзает при 0 градусов. Для предотвращения замерзания возможно добавление метанола, но это создаёт дополнительные трудности при расчётах изменения пропорций в зависимости от температуры окружающей среды.

Следующим способом снижения расхода топлива является наддув.

Наддув двигателя внутреннего сгорания используется для повышения его удельной мощности за счет увеличения подачи топлива и, соответственно, требуемой для его сгорания массы воздуха.

Использование наддува для повышения удельной мощности двигателя позволяет сохранить практически без изменений его габаритные размеры и массу, увеличить грузоподъемность и скорость [7, с.7].

Системы наддува квалифицируются в следующем порядке:

1) по способу подачи воздуха без нагнетателя за счет инерции столба самого воздуха или газа;

2) по конструкции нагнетателя;

3) по виду привода нагнетателя;

4) по типу связи между наддувочным агрегатом и двигателем (рисунок 1.2).

Рисунок 1.2 - Системы наддува

Рассмотрим виды наддува с нагнетателем более подробно. Существует несколько вариантов привода агрегатов наддува:

1) от коленчатого вала двигателя - прямо или через отключаемое устройство (т.н. «приводные нагнетатели»);

2) от постороннего источника энергии, например от электродвигателя («электроподдерживаемый наддув»);

3) от турбины («турбонаддув»).

Турбонаддув является одним из наиболее широко распространенных способов снижения расхода топлива.

Применение турбонаддува позволяет нагнетать воздух в цилиндры двигателя под давлением посредством использования отработавших газов двигателя (газотурбинный наддув) (рисунок 1.3).

Двигатели, использующие газотурбинный наддув, часто называют «турбопоршневыми» или «комбинированными» двигателями [7, с. 14].

В 1963 году впервые в автотракторной промышленности нашей страны Ярославским моторным заводом освоено полнопоточное производство дизелей с турбонаддувом ЯМЭ-238НБ для тракторов К-700. Позднее было организовано серийное производство 12-ти цилиндровых дизелей с наддувом ЯМЗ-240Н для карьерных самосвалов БелАЗ и 8-ми цилиндровых дизелей ЯМЗ-238Н, 238 П и 238 Ф для автомобилей МАЗ и КрАЗ.

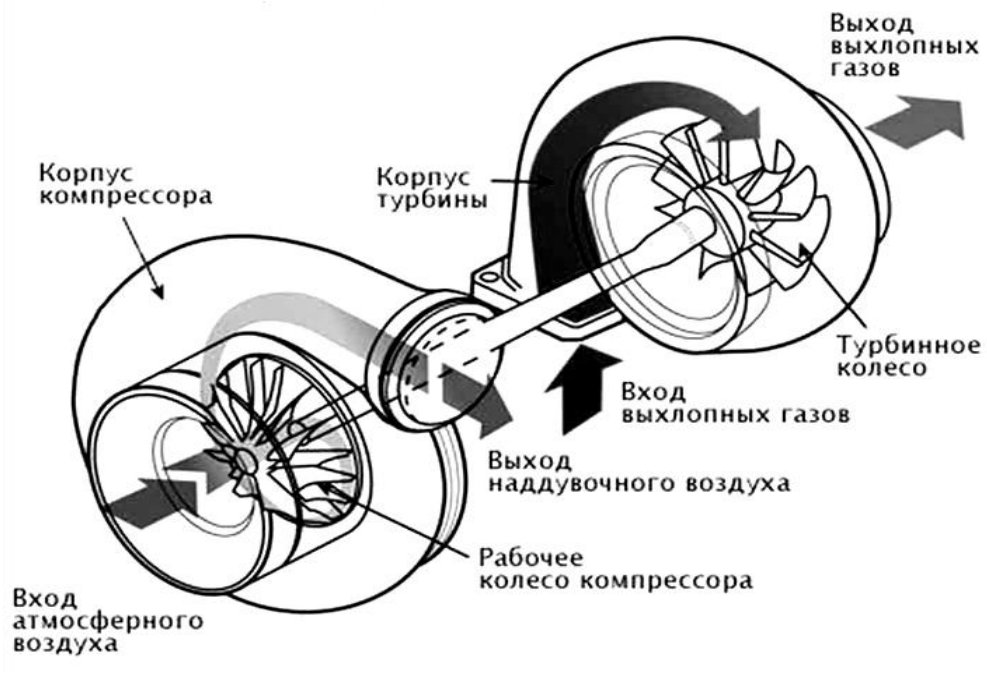


Рисунок 1.3 - Принципиальная схема работы турбонаддува

Турбокомпрессоры применяются для наддува рядных и V-образных двигателей мощностью до 550 кВт.

В настоящее время, один турбокомпрессор типоразмера ТКР 11 способен обеспечить наддув автомобильного дизеля мощностью до 480 кВт; ТКР 9 до 330 кВт; ТКР 7 до 220 кВт и ТКР 5,5 до 95 кВт. [79]

Но, не смотря на значительные успехи, достигнутые в данном направлении, исследования и разработка новых методов и способов оптимизации работы двигателей с турбонаддувом не прекращаются.

Известна, например, система турбонаддува двигателя внутреннего сгорания, разработанная в Научно-исследовательском автомобильном и автомоторном институте "НАМИ" [29].

Однако серьёзным недостатком этой системы является невысокая надежность регулирования параметров наддувочного воздуха из-за отсутствия учета температуры воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, а также низкое быстродействие регулирующего устройства, а именно плоской заслонки.

Известны и другие способы и устройства для повышения эффективности работы двигателей с турбонаддувом [27, 34, 66, 69].

При применении в двигателях турбонаддува снижаются расход топлива и эксплуатационные затраты. При использовании турбонаддува можно оптимизировать работу двигателя при разряженном воздухе, например, в высокогорных условиях. Ввиду меньшей степени сжатия двигателя с турбонаддувом, последний имеет возможность работать на более дешевых видах топлива. Турбонаддув также имеет и положительный побочный эффект – так как турбина установлена в выпускном тракте двигателя, снижается шум выхлопа отработавших газов и меньше загрязняет вредными выбросами окружающую среду.

Однако, существуют и недостатки, к которым относятся в первую очередь более высокие механические и тепловые нагрузки, чем у двигателей без наддува, менее благоприятное протекание кривой крутящего момента двигателя на некоторых режимах работы (особенно при высоких степенях наддува), худшая приёмистость (двигатель со свободным наддувом).

Следующий способ снижения расхода топлива - добавление газа в дизельное топливо. Ввиду отсутствия системы зажигания, на данном типе двигателей не возможна полная замена одного вида топлива на другое. Однако снижение его расхода на 50 - 70% вполне реально. Почти двукратная разница в стоимости этих видов топлив вполне оправдывает экономический эффект.

Соотношение смеси газ-дизель зависит от оборотов двигателя: чем они ниже, тем больше расход дизельного топлива. В пропановых системах это соотношение составляет 50/50. Применение метана позволяет увеличить этот показатель до 75-80%. Следует отметить, что наилучшие показатели в пользу данного решения проявляются при условии равномерной работы двигателя (использование в дизель-генераторе, движении автомобиля с дизельным двигателем по трассе).

Одно из изобретений данной тематики - способ подачи горючего газа в рабочие цилиндры газодизеля [49]. Техническим результатом изобретения являются: повышение экономичности рабочего процесса, увеличение мощности и приемистости газодизелей, уменьшение загрязнения окружающей среды.

Существуют также и другие способы для улучшения работы дизельных двигателей на двух видах топлива, повышения их экологических характеристик и эффективности использования [10, 11, 12, 102].

Учитывая современные тенденции в постоянном росте цен на топливо, сегмент газодизельных систем развивается достаточно активно. Мировые лидеры автопрома уже поставляют на различные рынки газодизельные автомобили и тракторы, и в дальнейшем этот процесс будет развиваться ещё больше.

Недостатки в основном заключаются в повышенном внимании при эксплуатации транспортного средства на газу, относительной дороговизне оборудования и скудной инфраструктуре газовых заправок. Добавим также, что реальная экономия будет проявляться только при больших пробегах (для автомобилей примерно 50000 км в год) либо достаточно длительной работе сельскохозяйственной техники.

1.3 Способы и устройства для энергонасыщения топлива

К основным типам топлива, используемым в дизелях, можно отнести: минеральное дизельное топливо, которое в свою очередь подразделяется на летнее, зимнее и арктическое; композиционное топливо; биотопливо; смесевое топливо. Кроме того, смесевое топливо, а также биодобавки, влияют на работоспособность форсунок и топливной аппаратуры дизельных двигателей, что было доказано результатами соответствующих испытаний [3, 6, 15, 17, 20].

Некоторыми авторами употребляется термин «топливо с улучшенными экологическими показателями», но его, как правило, можно отнести к одному из вышеперечисленных типов. К способам обработки топлива можно отнести:

1. деароматизацию топлива с целью его приведения в соответствие с существующими требованиями к экологически чистым дизельным топливам (ЭЧДТ);
2. ультразвуковую обработку;
3. омагничивание, электростатическую и электромагнитную обработку топлива.

Эмульгирование так же можно отнести к способам обработки топлива. Такие топлива являются композиционными.

К способам обработки также можно отнести нагрев или охлаждение топлива или топливовоздушной смеси перед подачей в камеру сгорания [57, 64]. Кроме того, некоторыми авторами предлагается вносить в топливо присадки [60, 70], что в принципе также можно отнести к способам его обработки, пусть даже эти присадки по отношению к его составу химически нейтральны.

Суть данного метода приведения дизельного топлива с топлива с пониженным содержанием ароматических углеводородов, удовлетворяющего требованиям по содержанию аренов ТУ 38.1011348-99 на дизельное топливо экологически чистое ДЛЭЧ-В, состоит в экстракции аренов [56, 58, 62, 67]. Однако, как правило, такие методы направлены не на повышение интенсификации процесса испарения или горения топлива в камере сгорания, а на получение определенного состава и процентного соотношения выхлопных газов двигателя. Как констатируют некоторые авторы, непосредственное внесение присадок в топливо позволяет снизить дымность (таблица 1.3) [30]; токсичность выхлопных газов [43]; осаждение кристаллов парафина при низких температурах для минеральных топлив и топлив растительного происхождения [32]; улучшить смазывающие свойства углеводородных топлив [39]; улучшить эксплуатационные свойства топлива [28] и расширить ассортимент топлив [42].

Таблица 1.3 - Результаты испытаний топлива с образцами антидымной присадки

Испытываемое топливо	Показатели эффективности	
	Дымоподавление, %	Стабильность, ч
Дизельное топливо и присадка по прототипу	26-36	200-600
Дизельное топливо и присадка (образец №1)	28	620
Дизельное топливо и присадка (образец №2)	37	700
Дизельное топливо и присадка (образец №3)	40	720

Все внесенные в магнитное поле тела, в той или иной степени намагничиваются, создавая собственное магнитное поле, которое накладывается на внешнее магнитное поле. Степень намагничивания тела зависит от молекулярной структуры и формы тела.

Элементарный магнитный диполь с магнитным моментом $\vec{P}_m$ во внешнем поле $\vec{B}$ испытывает действие момента сил, стремящихся развернуть его вдоль этого поля $\vec{B}$. При сонаправленности векторов магнитного диполя $\vec{P}_m$ и магнитного поля $\vec{B}$ собственное поле диполя усиливает внешне поле.

Диполь $\vec{P}_m$ - прецессирует вокруг силовой линии магнитного поля $\vec{B}$ с ларморовской частотой

$$\vec{\omega}^t = \frac{|e|}{2}\vec{B}, \tag{1.1}$$

где $|e|$ - абсолютная величина заряда электрона,

m - его масса,

$\vec{B}$ - индукция внешнего поля,

$\vec{\omega}^t$ - вектор мгновенной угловой скорости процессии.

Процессия магнитного диполя приводит к появлению дополнительного орбитального тока:

$$\Delta I = e\frac{\omega^t}{2\pi}, \tag{1.2}$$

и, соответствующего ему, наведенного орбитального момента:

$$\Delta\vec{p}_m = -\frac{e^2 S_\perp}{4\pi m}, \tag{1.3}$$

где $S_\perp$ - площадь проекции орбиты электрона в круговом движении на плоскость, перпендикулярную внешнему магнитному полю

Поскольку по направлению вектор Δpm противоположен вектору $\vec{B}$, то дополнительное собственное наведенное магнитное поле внутри контура с током уменьшает (ослабляет) действие внешнего поля.

У электрона, помимо орбитального момента количества движения, имеется

собственный («спиновый») момент количества движения и собственный («спиновый») магнитный момент, которые связаны между собой гиромагнитным отношением, вдвое большим, чем гиромагнитное отношение орбитальных моментов. Магнитные диполи в веществе при определенных условиях могут образовывать более или менее упорядоченную структуру в отсутствие внешнего магнитного поля, так называемое, спонтанное намагничение. У таких веществ величина магнитной восприимчивости χ достигает достаточно больших значений, и нижеприведенную зависимость уже нельзя считать линейной

$$\vec{B} = \mu_0(1 + \chi(H)) \cdot \vec{H}, \qquad (1.4)$$

где $\vec{B}$ - индукция внешнего поля,

μ_0 - магнитная постоянная,

χ - величина магнитной восприимчивости,

H - напряжённость магнитного поля.

В однородном магнитном поле на магнитный диполь действует момент сил, стремящийся ориентировать его так, чтобы его магнитный момент был направлен по полю. В неоднородном магнитном поле такие замкнутые токи втягиваются в область с большей напряженностью поля.

Анализ изменения удельной магнитной восприимчивости χ_ρ углеводородов в зависимости от молекулярной массы и строения молекул показывает, что наибольшими диамагнитными свойствами с χ_ρ= (0,895… 0,83)·10^{-9}кг$^{-1}$ являются легкие фракции алканов, молекулярные массы которых (72…300)·10^{-3}кг/моль. Именно они и служат сырьем для выработки бензинов и дизельного топлива.

Цикланы, у которых молекулярная масса (70…135)·10^{-3}кг/моль, характеризуются χ_ρ= (0,82…0,84)·10^{-9}кг$^{-1}$. Бензол и его гомологи, нафтеноароматические углеводороды и многоядерная ароматика имеют еще более низкие значения магнитной восприимчивости χ_ρ= (0,7…0,76)·10^{-9}кг$^{-1}$.

Доля парафинонафтеновых углеводородов в керосиновых и масляных фракциях существенно уменьшается, при этом содержание ароматических углеводородов повышается - это вызывает увеличение магнитной

восприимчивости соответствующих фракций. Магнитная восприимчивость фракций, составляющих «остатки нефти», значительно больше, чем у легких фракций. Этот эффект связан с увеличением доли содержания парамагнитных компонентов в этих фракциях [96].

Одним из первых исследователей, кто наметил пути теоретического обоснования механизма воздействия электромагнитных полей на теплотворную способность углеводородов, был Я.Г. Дорфман [9].При пропускании топлива через электрическое поле определенной характеристики происходит поляризация молекул топлива и образуются диполи, которые под действием того же электрического поля приобретают определенную ориентацию.

При этом, пара сил -F и +F, действующая со стороны однородного внешнего электрического поля E, стремится повернуть диполь в направлении поля (рисунок 1.4).

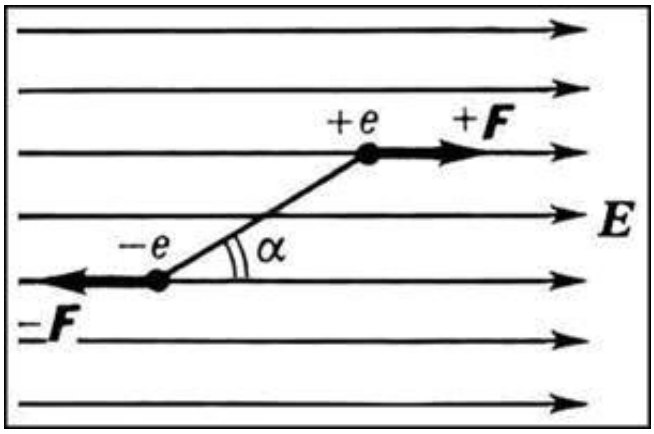


Рисунок 1.4 - Электрический диполь в однородном электрическом поле

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся решения в области обработки топлива магнитным полем [50, 53, 55, 63, 65].

В активаторе (рисунок 1.5) [51] два магнита установлены последовательно по ходу движения топлива по топливопроводу. Между магнитами расположен разделитель-регулятор расстояния, который выполнен из немагнитного материала. Таким образом достигается поставленная изобретением задача.

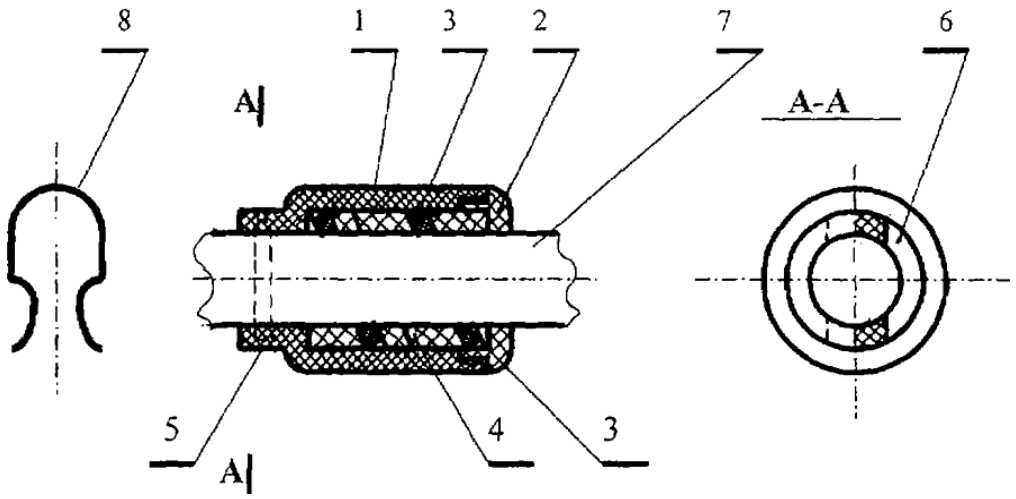


Рисунок 1.5 - Общий вид устройства

Авторы констатируют, что данное изобретение позволяет повысить эффективность сгорания топлива в камерах сгорания двигателей. Также, была разработана техническая документация к выпуску опытной партии предлагаемых магнитных активаторов топлива.

Изготовленные ручным способом несколько активаторов при испытаниях показали хорошие результаты.

Основным недостатком этого технического решения является невозможность регулирования напряженности магнитного поля и получения стабильных результатов при существенном изменении скорости и объема потока жидкого топлива.

Сущность следующего изобретения [48] заключается в воздействии на топливо полем сверхвысоких частот (СВЧ) и полем ближней зоны металлической наноструктуры, возникающем при облучении наноструктуры энергией СВЧ. Заявляемый способ реализуется в устройстве (рисунок 1.6), которое содержит герметичный корпус 1, внутри которого установлены магниты 2 с расположенными на них излучающими элементами.

Корпус 1 герметично соединен с выходом коаксиального перехода 3, ко входу которого подключен выход преобразователя напряжения 4. Преобразователь напряжения 4 содержит последовательно соединенные генератор СВЧ-колебаний 5, аттенюатор 6, усилитель СВЧ-мощности 7 и

генератор модулирующего напряжения 8, выход которого подключен ко второму входу аттенюатора. Генератор СВЧ-колебаний 5 и аттенюатор 6 выполнены с возможностью перестройки их параметров.

Магниты 2 с расположенными на них излучающими элементами могут быть выполнены например, в виде тороидальных многовитковых изолированных обмоток 9, 10 (рисунок 1.7), намотанных на кольцевые элементы 11 из радиопрозрачного материала - ферримагнетика, например феррита марки 25БА170, намагниченного до насыщения в направлении 12.

В конкретном исполнении устройство для обработки топлива (рисунок 1.8) состоит из короткозамкнутого коаксиального корпуса 1, внутренний объем которого заполнен наноструктурами 2 (магнитами с расположенными на них излучающими элементами) и разделен перегородкой 13, выполненной из радиопрозрачного материала.

Корпус 1 снабжен патрубками 14 для прохода жидкого топлива, герметизирующей перегородкой 15 и бесконтактными дроссельными соединениями 16, 17 для подключения к выходу трехступенчатого коаксиального перехода 3, свернутого вдоль оси симметрии, ко входу которого подключен усилитель мощности энергии СВЧ-преобразователя (4) напряжения, экранирован крышкой 18 и размещен на печатной плате (19).

Авторы утверждают, что экологическая безопасность при реализации способа и устройства обеспечивается отсутствием в составе устройства элементов из радиоактивного материала, а также уменьшением содержания вредных примесей (CO, HC, NO, SO) в отработанных (выхлопных газах) в результате наиболее полного сгорания топлива.

Кроме того, обеспечиваются экономичность двигателя и экономия топлива при сохранении высокой надежности. Однако сложность в изготовлении является основным недостатком данного устройства.

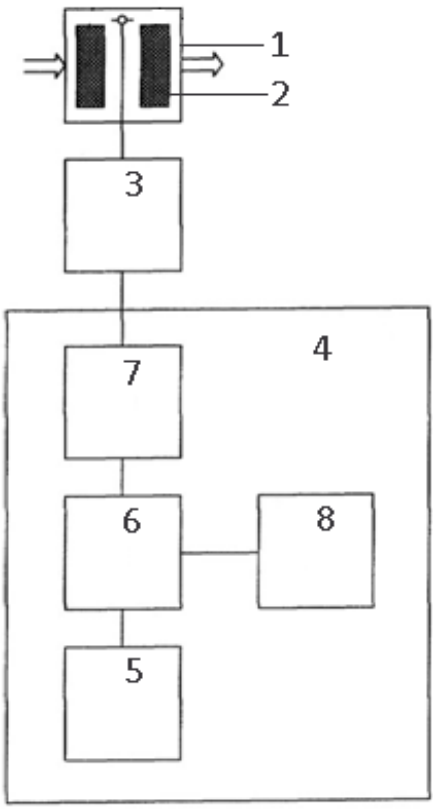


Рисунок 1.6 - Схема устройства

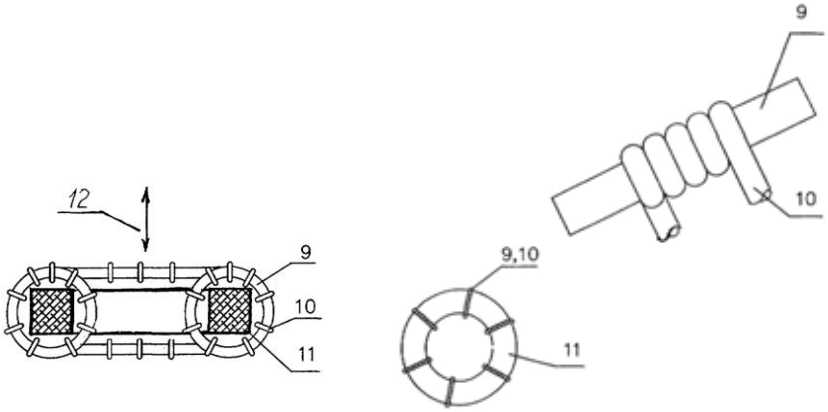


Рисунок 1.7 - Тороидальные многовитковые изолированные обмотки

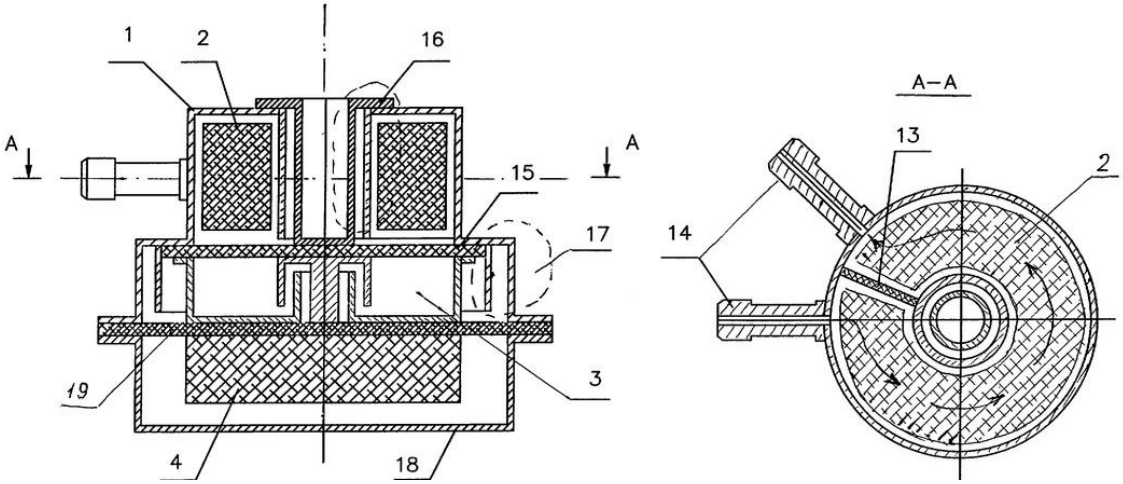


Рисунок 1.8 - Общий вид устройства

Устройство для магнитной обработки жидкого топлива [41] состоит из катушки, содержащей секции 1 (не менее 6 штук с расстоянием между ними 8-10 см), намотанные на топливопровод 2 из диамагнитного материала, и соединенные между собой параллельно и параллельно с генератором тока 3 автомобиля (рисунок 1.9).

Выводы секций катушки подключены к генератору транспортного средства так, что направление силовых линий магнитных полей, создаваемых ими внутри топливопровода противоположно направлены потоку топлива. Автор утверждает, что такое соединение обеспечивает резкое снижение электрического сопротивления системы секций электромагнита, следовательно, повышение силы тока и напряженности магнитных полей в каждой из секций и как результат - активизацию (омагничивание) топлива, ведущую к изменению поверхностного натяжения и, как следствие к повышению его теплотворной способности, снижению уровня токсичности выхлопных газов.

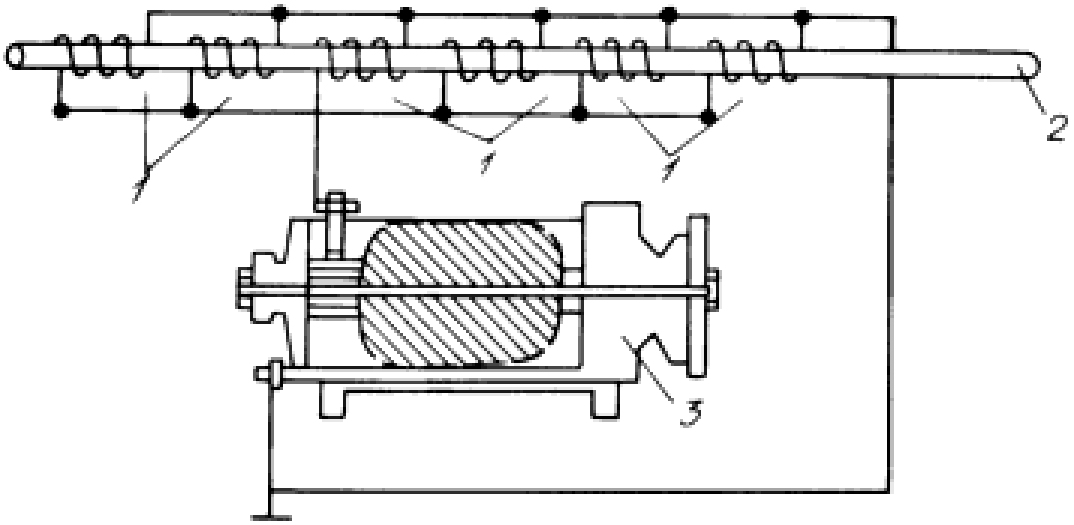


Рисунок 1.9 - Технологическая схема устройства

В данном устройстве кажется сомнительным факт резкого снижения электрического сопротивления системы секций электромагнита. Кроме того, этот эффект - как и для диспергаторов - будет зависеть от скорости движения топлива, т.е. на холостых оборотах он будет минимальным.

Известно также устройство магнитной обработки топлива для карбюраторных двигателей [33].

Устройство состоит из немагнитного корпуса 1, в который вмонтированы с зазором относительно друг друга две пары постоянных магнитов 2. Между магнитами 2 каждой пары выполнены проточные каналы 3, соответствующие по размерам и месторасположению выходным отверстиям диффузоров карбюратора (не показан). Диаметр канала 3 не превышает длины магнита 2. Диаметр проточных каналов 3 определен диаметром диффузора, а длина магнита 2 диаметром капала. Но углам корпуса 1 выполнены отверстия 4 под крепежные элементы. С торцов корпус 1 по периметру вплотную огибает магнитопровод, выполненный в виде двух С-образных скоб 5.

Корпус 1 выполнен в виде пластины, толщина которой составляет примерно десятую часть ее длины. Устройство работает следующим образом.

Корпус 1 устанавливают и крепят между карбюратором и коллектором. При движении топливной смеси из карбюратора в коллектор между частицами возникают столкновения и трение, что приводит к зарядке частиц статическим электричеством. Проходя через проточные каналы 3, смесь попадает в магнитное поле, создаваемое магнитами 2, и намагничивается. Молекулы смеси, получив дипольный момент, ориентируются в пространстве силовыми линиями магнитного ноля, что способствует более равномерному их распределению по объему цилиндра и, вследствие этого, более полному сгоранию углеродосодержащих частиц при воспламенении смеси.

Магнитопровод служит ограничителем магнитного ноля за пределами корпуса. Толщина корпуса 1 такова, что конструктивных изменений ДВС не потребуется (рисунок 1.10).

Экспериментальная проверка показала, что содержание СО в выхлопных газах на испытуемом автомобиле снизилась с 2,8% до 0,1%, СН снизилось в 3 раза.

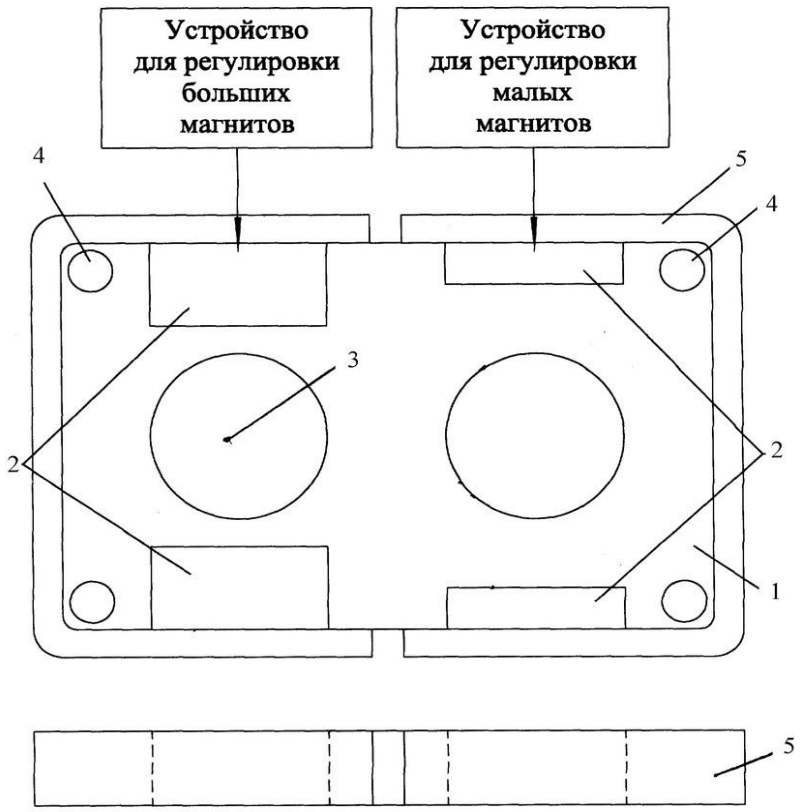


Рисунок 1.10 - Технологическая схема устройства

К недостаткам этого устройства можно отнести низкую эффективность воздействия магнитов на поступающее в камеры сгорания топливо.

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся решения в области обработки топлива электростатическим полем [35, 37].

В устройстве [46], представленном на рисунке 1.11, электризация движущегося топлива обеспечивается по всему объему, в том числе при малых скоростях, за счет выполнения входного 5 и выходногобтопливопроводов, металлических шариков 4 и проточной камеры из материалов с одинаковой поляризационной ориентацией и большей диэлектрической проницаемостью, чем у топлива.

На самом деле, в данном устройстве (как и в предыдущем) основные параметры порции топлива после обработки будут зависеть от времени ее нахождения в топливопроводе, и для выполнения условия «полноценной» обработки в случае малых скоростей течения длину устройства следует существенно увеличить.

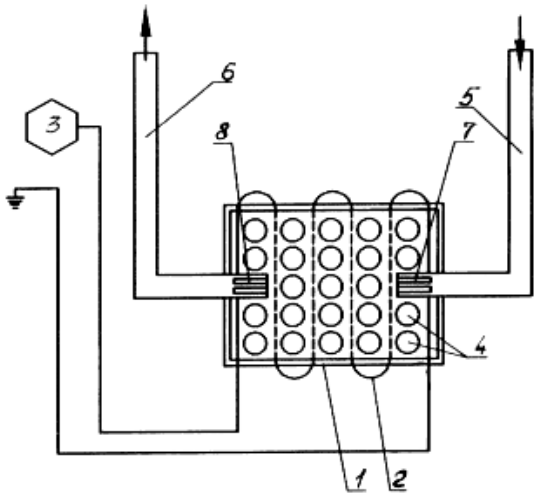


Рисунок 1.11 - Функциональная схема устройства для обработки топлива для двигателя внутреннего сгорания

Устройство для электростатической обработки жидкого топлива [44] состоит из корпуса 1 с внутренней камерой 2 с отстойной полостью 3, входным 4 и выходным 5 каналами (рисунок 1.12). В отстойной полости 3 внизу установлен отрицательный электрод 6 с иглообразными элементами, а во внутренней камере 2 установлен положительный электрод 7 с иглообразными элементами, подключенные к высоковольтному источнику энергии, например катушка зажигания, через блок управления 8.

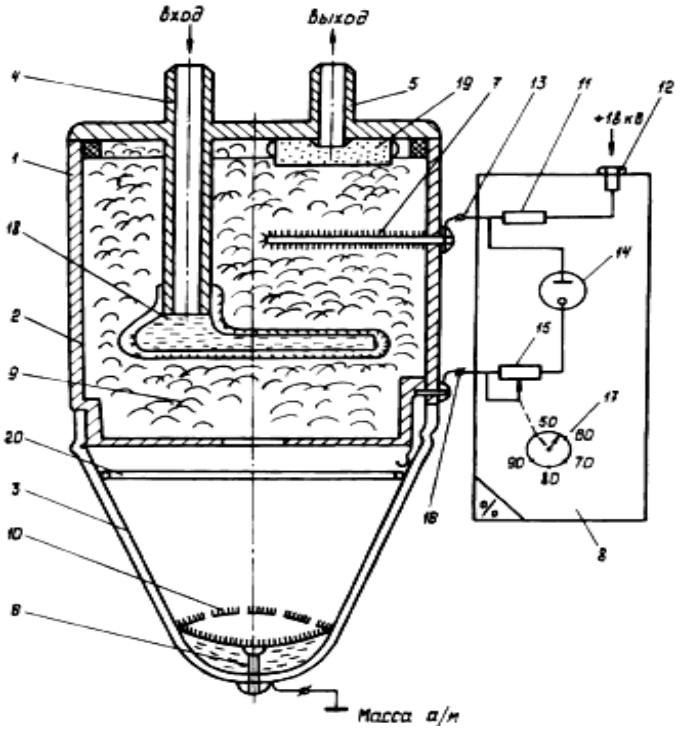


Рисунок 1.12 - Принципиальная схема устройства для электростатической обработки жидкого топлива

В данном случае автор преследует цель не обработать топливо с целью повышения эффективности процесса его горения, а очистки от загрязнений. Электростатическая обработка является «побочным эффектом».

Рассмотрим наиболее часто встречающиеся решения в области обработки топлива электромагнитным полем [52].

Активатор жидкости [36], содержащий рабочую зону трубы с рабочим телом в виде биметаллических иголок внутри и наружным электромагнитным индуктором, при этом рабочее тело выполнено в виде биметаллических иголок с наружной поверхностью из немагнитного металла, титана, с сердцевиной из ферромагнитного материала, позволяет повысить эффективность обработки топлива (рисунок 1.13).

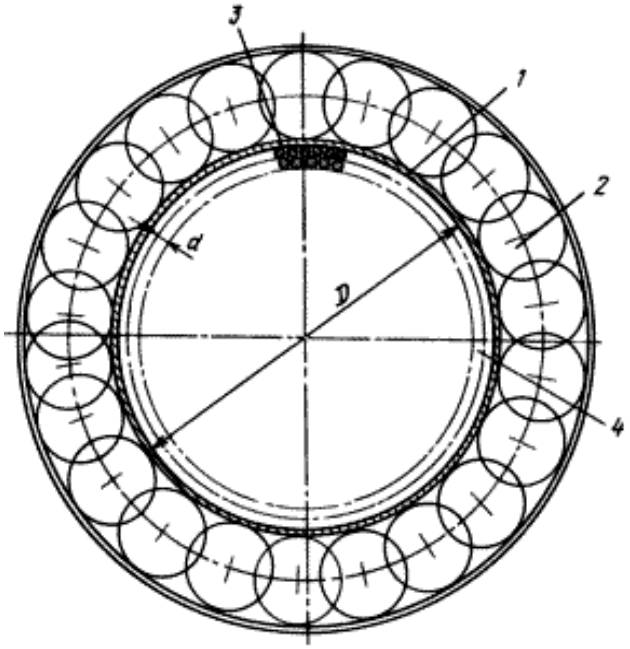


Рисунок 1.13 - Принципиальная схема активатора

В данном случае происходит увеличение «площади контакта» топлива с электромагнитным полем.

Электромагнитная обработка топлива действительно способствует изменению его характеристик при соблюдении некоторых условий, главными из которых являются напряженность поля в зоне обработки топлива и частота ее изменения.

Отличить звуковую и ультразвуковую обработку топлива достаточно просто - если звук при обработке топлива слышен, то обработка происходит на звуковых частотах, если же нет - то на ультразвуковых.

Как правило, кавитационные эффекты развиваются на частотах свыше 10 кГц, при этом суть кавитации - периодическая локальная концентрация энергии высокой плотности, которая связана с пульсациями кавитационных пузырьков.

За счет локального понижения давления в фазе разрежения в жидкости образуются каверны (кавитационные пузырьки), заполняющиеся насыщенным паром этой же жидкости.

Под действием повышенного давления в фазе сжатия, а также сил поверхностного натяжения, каверна захлопывается, при этом пар конденсируется на границе раздела двух фаз - жидкой и газообразной. Внутрь каверны диффундирует растворенный в жидкости газ, который затем подвергается сильному адиабатическому сжатию.

В момент схлопывания кавитационной каверны давление может достигать 100 МПа, а температура - до 10000 К, и тогда же в жидкости начинает распространяться сферическая ударная волна.

Если периодически в жидкости генерировать импульсные растягивающие напряжения, то присутствующие в ней «центры» кавитации, каковыми являются устойчивые паровые и парогазовые пузырьки малых размеров, начинают расти и образовывать, так называемый «кавитационный кластер».

Диаметр образующихся при кавитации пузырьков находится в пределах 0,01…1,0 мм, а их максимальный резонансный размер можно определить из отношения

$$f = \frac{1}{2\cdot\pi\cdot R_p}\sqrt{\frac{3\cdot k}{p}}\left(P_{ст} + \frac{2\cdot\sigma}{R_p}\right), \qquad (1.5)$$

где $P_{ст}$ - гидростатическое давление;

σ- коэффициент поверхностного натяжения жидкости;

p - плотность;

k- отношение теплоемкостей газа при постоянном давлении и постоянном объеме;

R_p- резонансный радиус пузырька.

Величина максимального ударного давления схлопывающегося пузырька определяется следующим выражением

$$P = P_2 \left[(k-1) \cdot \frac{P_0}{P_2}\right]^{k(k-1)}, \quad (1.6)$$

где P_2 и P_0- давление газа в пузырьке и жидкости соответственно,

k- отношение теплоемкостей газа при постоянном давлении и постоянном объеме.

Количество и размер кавитационных пузырьков зависят как от параметров поля (интенсивности, частоты, звукового давления), так и от характеристик жидкости (вязкости, плотности, температуры, коэффициента поверхностного натяжения, давления парогазовой смеси).

По интенсивности поля подразделяются следующим образом: низкой (до 0,5Вт/см), средней (от 0,5 до 10Вт/см) и высокой (от 10 до 100 Вт/см) интенсивности, которую можно определить по формуле

$$I = 2 \cdot (\pi \cdot f \cdot \xi)^2 \rho \cdot c, \quad (1.7)$$

где f - частота;

ξ - амплитуда колебательных смещений;

ρ - плотность;

с - скорость звука в среде.

В кавитационную каверну могут проникать пары жидкости и растворенные в ней газы, а также вещества с высокой упругостью пара. Однако, ни ионы, ни молекулы нелетучих растворенных веществ проникать в нее не могут.

Энергии, выделяющейся при схлопывании каверны, достаточно для возбуждения, ионизации и диссоциации молекул воды, газов и веществ с высокой упругостью пара внутри нее. При этом длинные молекулярные цепи могут преобразовываться в легкие углеводородные радикалы газовых и дистиллятных топливных фракций. Энергия разрыва связей в углеводородах изменяется в

пределах 40…400 кДж/моль, при этом прочность связи в середине молекулы нормального парафина меньше, чем в конце. Кроме того, при кавитации большой интенсивности и на протяжении длительного периода времени нарушаются углеродные связи в молекулах парафина. При этом, при разрыве связи С-Н от углеводородной молекулы отрывается водород, а при разрыве связи С-С углеводородная молекула разрывается на две неравные части. В результате происходят изменения уже физико-химического состава углеводородов - уменьшение молекулярного веса, температуры кристаллизации и пр., что вызывает изменение вязкости, плотности, температуры вспышки нефтепродукта.

В результате микрокрекинга на молекулярном уровне в обрабатываемых нефтепродуктах накапливаются «активированные» частицы: радикалы, ионы, ионно-радикальные образования. В отличие от обработки нефти, кавитационная обработка уже готового топлива проводится, как правило, двумя способами - посредством прокачки топлива через пассивные диспергаторы (рисунок 1.14), в определенных зонах которых возникает и поддерживается процесс образования газовых либо парогазовых кавитационных пузырьков, схлопывающихся при повышении местного гидростатического давления в жидкости и созданием зон повышенного и пониженного давления за счет использования активных рабочих органов устройств, генерирующих звуковые и ультразвуковые колебания, например магнитострикционных вибраторов [54, 59].

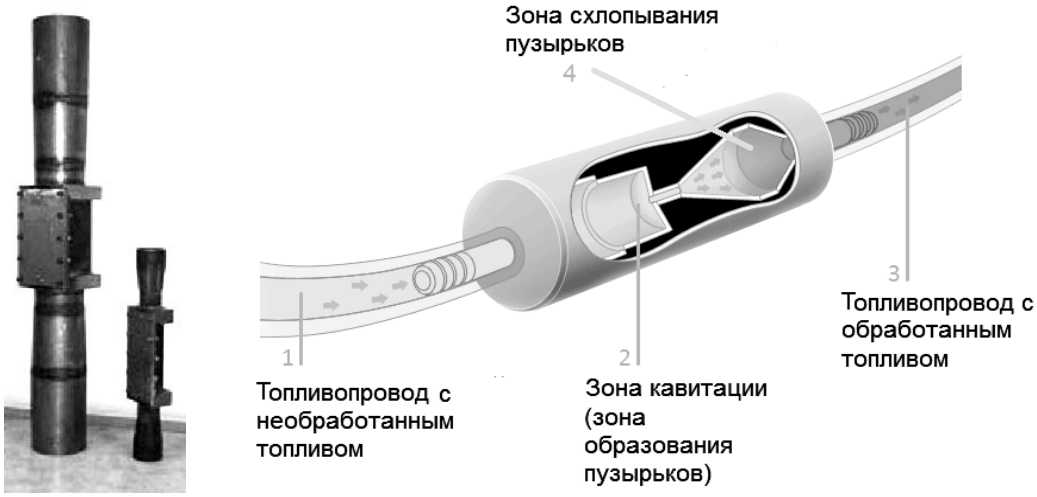


Рисунок 1.14 - Пассивный диспергатор и схема его работы

У пассивных диспергаторов имеется существенный недостаток - образование каверн возможно только при достижении определенной скорости движения топлива внутри него. До этого критического значения скорости движения топлива оно обрабатываться не будет, т.е. процесс обработки начинается с некоторых значений, связанных с оборотами двигателя, и интенсивность обработки топлива зависит также от них. Для устройств же, генерирующих колебания, этот недостаток отсутствует, более того, можно задать зависимость интенсификации обработки, например, прямо пропорциональную оборотам двигателя. Установка «кавитатора» на двигатель осуществляется, как правило, по следующим схемам (рисунок 1.15).

Рисунок 1.15 - Схемы установки «кавитатора» на двигатель

Кавитация используется для обработки топлива в многотопливных двигателях, часто устанавливаемых на судах и военной технике [31].

Набирающие популярность в последнее время биотоплива и смесевые топлива обладают рядом недостатков, среди которых, например, повышенная вязкость, не позволяющая при низких температурах осуществлять пуск двигателя непосредственно на этих типах топлива.

Для смешивания многокомпонентных топлив также применяют различного рода смесители, завихрители и пр. Однако, более правильно, было бы применить в обоих случаях устройства, генерирующие звуковые/ультразвуковые колебания, позволяющие как смешать, так и дополнительно обработать топливо [68].

Существуют способы микроволновой обработки топлива, напрямую преследующие цель изменить его структуру. В результате обработки, например, в микроволновой печи «ассоциаты» молекул, образовавшиеся в результате их взаимодействия, разбиваются на отдельные молекулы, при этом перестраивается их пространственная структура, вследствие чего топливо сгорает более быстро и эффективно. В частности, при обработке бензинов наблюдался прирост октанового числа, причем для высокооктановых марок такой прирост оказался выше [38]. Однако такой тип обработки обладает существенным недостатком - при непосредственной установке на двигатель потребуется устройство, как правило, включающее магнетрон, который обладает высокой энергоемкостью.

Известен способ [61] создания компактного и недорого устройства для энергонасыщения топлива дизельных двигателей, потребляющего небольшое количество энергии и имеющего достаточно высокий коэффициент полезного действия (КПД). Для обработки топлива использовалась головка динамическая высокочастотная (ГДВ) Т262-8 со следующими характеристиками: P_{max}=75 Вт, R=8 Ом, SPI=90 Дб/Вт, df=1250…25000 Гц; емкость объемом ~100 мл для размещения в ней динамика (рисунки 1.16, 1.17); разработанный специально для этих целей генератор колебаний с двумя диапазонами частот 50…200 Гц и 4…17 кГц, подключаемый к бортовой сети 12…14 В.

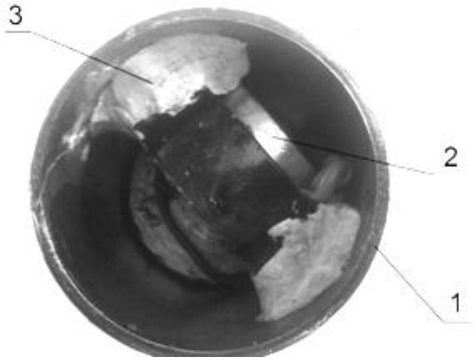


Рисунок 1.16 - Емкость с установленной в ней ГДВ (верхняя крышка демонтирована): 1 - емкость; 2 - ГДВ; 3 - герметик, обеспечивающий неподвижность ГДВ относительно емкости

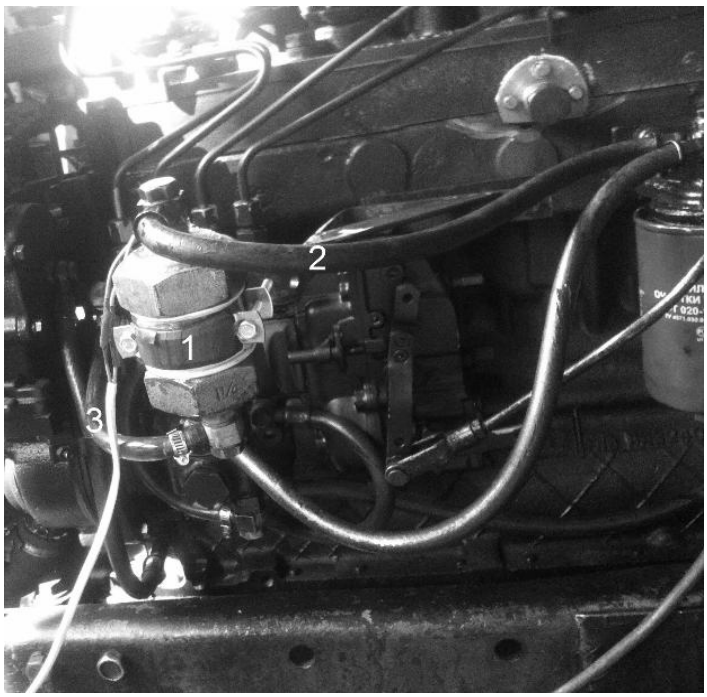


Рисунок 1.17 - Емкость в сборе, установленная на двигатель: 1 - емкость; 2 - топливопровод с фильтра тонкой очистки; 3 - топливопровод на топливный насос высокого давления

Для проведения стендовых испытаний использовался тракторный дизель Д-243 (4Ч 11/12,5) с системой отвода отработавших газов, динамометрическая машина KS-56/4 со штатными контрольно-измерительными приборами, измерительно-регистрирующий комплекс на базе персонального компьютера, укомплектованного платами ЗАО «Руднев-Шиляев» и с установленной на нем программой-осциллографом ADCLab. Практическая реализация показала, что существенно повышается равномерность работы дизеля, снижается удельный эффективный расход топлива (рисунок 1.18) и повышается эффективный коэффициент полезного действия (рисунок 1.19) [75, с. 12-13].

Из анализа рисунков 1.18 и 1.19 можно сделать вывод, что существенно повышается равномерность работы дизеля, о чем говорит изменение угла наклона прямых (пунктирная и штрих-пунктирная линии), проведенных по вершинам зависимостей, описывающих изменение давления газов в камере сгорания. Кроме того, снижается абсолютная величина силы P_z, действующей на поршень, что повлечет повышение долговечности двигателя в целом.

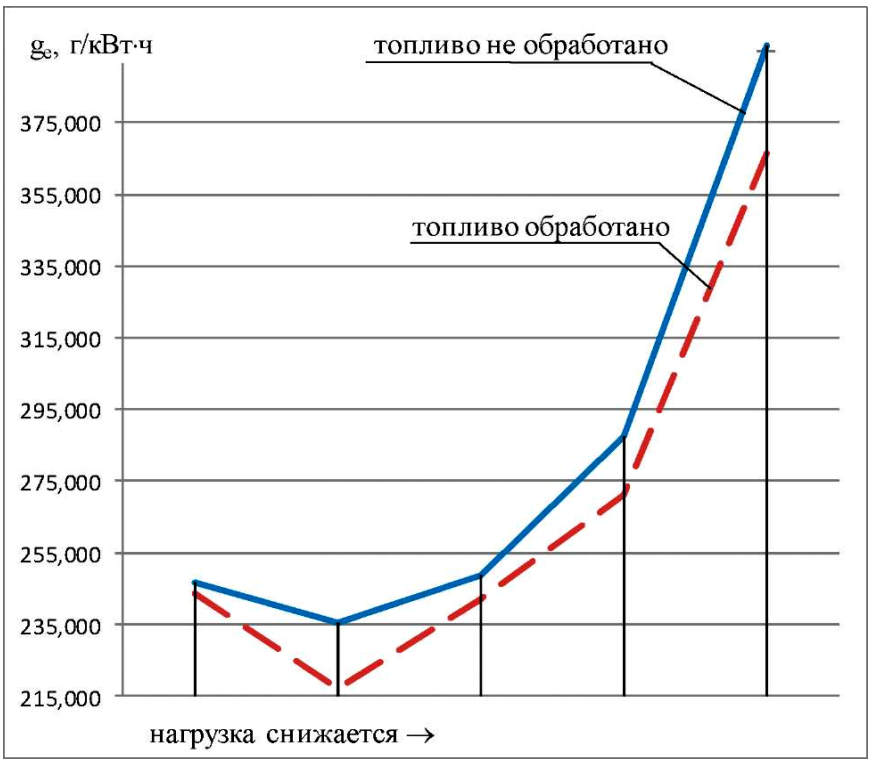


Рисунок 1.18 - Изменение удельного эффективного расхода топлива g от нагрузки на тормозе барабана *P*

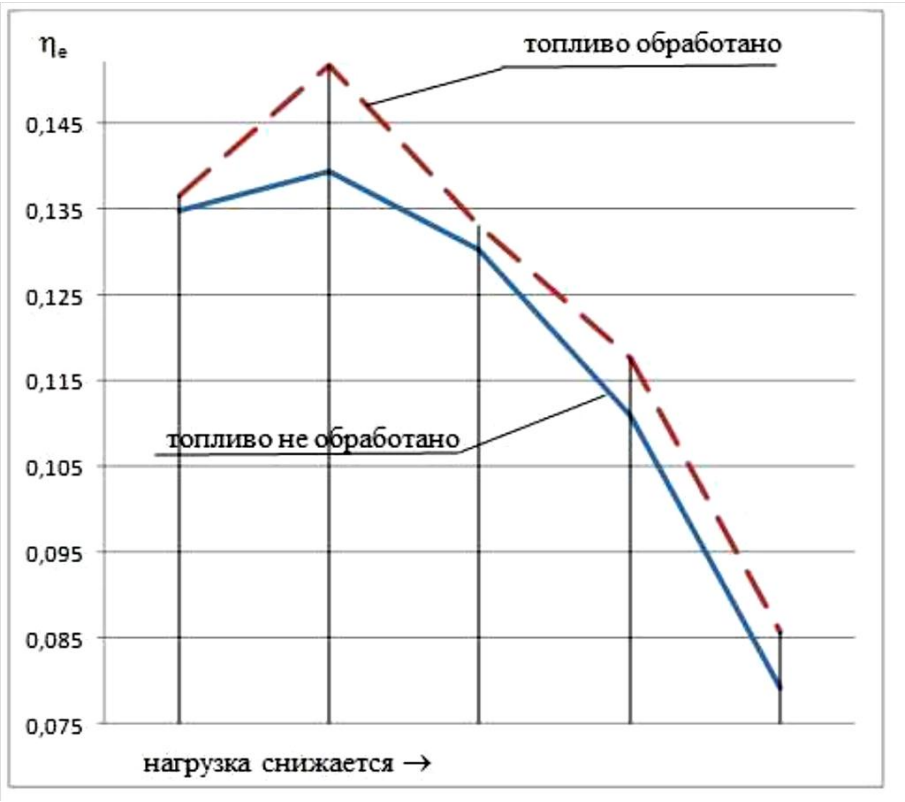


Рисунок 1.19 - Изменение эффективного коэффициента полезного действия h_e от нагрузки на тормозе барабана *P*

Анализ нагрузочных характеристик приводит к аналогичным результатам: улучшается равномерность работы дизеля и снижается абсолютная величина силы P_z. Кроме того, на такте впрыска обработанного топлива в камеру сгорания снижение давления газов не происходит столь существенно, как для топлива необработанного.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили возможность использования даже маломощных «обогатителей» топлива, работающих на принципах одновременного воздействия, как электромагнитного поля, так и акустических колебаний, и позволяют рекомендовать их к использованию в автотракторной технике, но в данном случае не был выбран оптимальный диапазон частот и мощность установки, а также не объяснена физика процесса.

1.4 Экологическая безопасность современных двигателей

С момента изобретения двигателя внутреннего сгорания более ста лет назад, предпринимались многочисленные попытки повышения его экономичности и экологичности. Если на заре двигателестроения показатели эффективности работы двигателя внутреннего сгорания были приоритетными, то в настоящее время экологическая составляющая является не менее, а иногда и более важным показателем.

Загрязнение планеты побочными продуктами хозяйственной деятельности человека достигает, порой, ужасающих размеров. Процесс привнесения и возникновения в окружающей среде новых, обычно не характерных физических, химических или биологических агентов, превышение их естественного среднемноголетнего уровня в различных средах, приводит к весьма негативным воздействиям как на саму природу, так и на здоровье человека.

Угарный газ и окислы азота, интенсивно выделяемые при работе автомобиля, являются одной из основных причин головных болей, усталости, немотивированного раздражения, низкой трудоспособности. Выделяемый сернистый газ воздействует на геном человека, способствуя развитию бесплодия

и врожденных аномалий. В большинстве крупных городов мира также широко распространены заболевания органов кровообращения и дыхания, инфаркты и инсульты, гипертония и злокачественные новообразования.

Именно поэтому в настоящее время защита окружающей среды является приоритетной задачей государственного уровня. С помощью законов и подзаконных актов, государства регулируют нормы выброса вредных веществ автотранспортом, постоянно ужесточая экологические требования к ним(таблица 1.2).

Например, в России Федеральный закон N 7-ФЗ "Об охране окружающей среды", определяющий правовые основы государственной политики в области охраны окружающей среды, обеспечивающий сбалансированное решение социально-экономических задач и сохранение благоприятной окружающей среды [105] вступил в силу ещё 10 января 2002 года.

Производители двигателей внутреннего сгорания постоянно совершенствуют свою продукцию, добиваясь снижения показателей вредных выбросов. В экономически развитых странах проблема вредных выбросов актуальна на столько серьёзно, что приводит к запрету эксплуатации автотранспортных средств, не соответствующих принятым нормам Евро (таблица 1.2).

Так, в Германии (г. Гамбург) с 31 мая 2018 года вступил в силу запрет на въезд в центр города автомобилей с дизельными двигателями, не соответствующих нормам Евро 6[109]. На первых порах, на нарушителей запрета будет налагаться относительно небольшой штраф, составляющий в зависимости от типа транспортного средства от 25 до 75 евро за каждое нарушение. Но это только начало будущих масштабных ограничений.

В США печальный скандал с занижением вредных выбросов автомобилями «Фольксваген» с дизельными двигателями, получивший название «дизельгейт», [108], привёл к отзыву более 300 тысяч уже проданным дизельных автомобилей и огромным денежным штрафам. Фольксваген признаёт, что последствия ситуации

на данный момент «не поддаются количественной оценке» (с), однако уже сейчас официально и открыто декларирует убытки концерна в 16,2 млрд. евро [106].

Все вышеуказанные причины заставляют искать новые, перспективные пути решения снижения вредных выбросов дизельных двигателей. В Российской Федерации, как и во всём мире, также осуществляются научные изыскания в данной области, проводятся исследования и осуществляются перспективные разработки.

Производится анализ существующих и применяемых в отечественной и мировой практике методик и результатов оценки жизненного цикла силовых установок, традиционных и альтернативных топлив. Исследуются наиболее значимые стадии жизненного цикла дизельных двигателей, работающих на традиционном или альтернативных топливах - стадии добычи сырья, производства топлив и эксплуатация ДВС. Определяются требования к математическим моделям и методам расчета экологической безопасности дизельных двигателей на различных топливах в полном жизненном цикле с учетом требований стандартов серии ИСО 14000 [88].

Изучаются возможности повышения экологической безопасности малогабаритных двигателей, разрабатываются методики оценки выполнения исследований экологической безопасности малогабаритных дизельных двигателей внутреннего сгорания на стадиях производства и эксплуатации с учетом основных факторов воздействия на окружающую среду, методика расчета параметров процесса сгорания и образования оксидов азота в цилиндре малогабаритного дизеля, позволяющая оценить выбросы вредных веществ в окружающую среду на стадии его эксплуатации, обосновывается выбор наиболее рациональных средств повышения его экологической безопасности [100].

Рост загрязнения окружающей среды от выбросов автомобильного и автотракторного транспорта также явился причиной ужесточения требований и к качественным экологическим характеристикам производимого и используемого топлива.

До настоящего времени, минеральные дизельные топлива в России выпускались по ГОСТ 305-82 и ГОСТ Р 52368-2005. При сравнении основных экологических показателей качества отечественных дизельных топлив по перечисленным стандартам, хорошо заметно резкое ужесточение требований к дизельному топливу по показателю «массовая доля серы». По ГОСТ 305-82 массовая доля серы не может превышать 0,2% масс., по ГОСТ Р 52368-2005, соответствующему европейской нормали ЕН 590:2004, этот показатель снижен уже до 0,035% масс., а в перспективе его значение к 2020 г. (по принятой Экспертным советом Министерства энергетики России программе "О стратегии развития нефтеперерабатывающей промышленности до 2020 г.") не должно быть выше 0,005% масс [72, с.152-153].

Таким образом, можно сделать вывод о том, что исследования путей снижения вредных выбросов в атмосферу при работе двигателей внутреннего сгорания должны быть направлены не только на сами двигатели, но и на возможные положительные эффекты от воздействия различного характера на используемое дизельное топливо.

1.5 Цель и задачи исследования

В соответствии с выполненным анализом, а также вышеприведенными выводами были сформулированными цель и задачи исследования.

Целью исследований является улучшение показателей автотракторных дизельных двигателей за счет ультразвуковой обработки топлива перед его подачей в камеру сгорания.

В соответствии с поставленной целью были сформулированы следующие задачи исследования:

- провести анализ существующих методов воздействия на топливо, улучшающих эксплуатационные характеристики двигателя;
- уточнить существующие аналитические зависимости, связывающие коэффициент поверхностного натяжения топлива и критическую энергию, затрачиваемую на образование кавитационного пузырька;

- провести оценку воздействия ультразвуковой обработки топлива на его основные характеристики, а также характеристики двигателя;
- разработать конструктивно-технологическую схему устройства для ультразвуковой обработки топлива, провести его производственные испытания и оценить его экономическую эффективность.

Выводы по первой главе

Основываясь на анализе реализаций существующих способов, а также работы различного типа устройств для электростатической, магнитной, электромагнитной и кавитационной обработки топлива, можно констатировать следующее.

1. Поскольку конструкция большинства современных двигателей доведена практически до совершенства, то прогнозируемое улучшение их показателей может быть достигнуто, почти исключительно, за счет совершенствования процессов топливоподготовки (топливообработки), позволяющих изменить структуру и состав топлива.
2. Существующие решения в области топливообработки носят несистематизированный характер, при этом довольно часто при применении того или иного способа обработки просто констатируется улучшение различных параметров двигателей – от мощностных до экологических – без объяснения физических основ происходящих процессов.

Подводя итог, можно сделать вывод о том, что все предлагаемые решения направлены на использование отдельных эффектов, реализуемых при различных способах обработки топлива. В частности, при ультразвуковой обработке топлива не выявлены физические основы процессов энергонасыщения, эффекта экономии топлива и не определены параметры и режимы устройства для обработки топлива, в том числе мощность излучения и время воздействия на топливо. Поэтому, выбранная тема диссертационной работы «Улучшение показателей автотракторных дизельных двигателей путем ультразвуковой обработки топлива» является актуальной.

2. Кавитационные процессы в жидкостях и их теоретическое описание

2.1 Кавитация в жидкостях

Явление кавитации было теоретически предсказано Рейнольдсом [113, с.56-57] задолго до того, как его впервые обнаружили при испытаниях эскадренного миноносца английского военно-морского флота «Дэринг» в 1893 г., когда скорость миноносца оказалась значительно ниже предполагаемой. Это было вызвано ухудшением характеристик винта вследствие возникновения пузырьков пара на его лопастях. Этот эффект был назван кавитацией.

Кавитацией называется явление парообразования и выделения воздуха, обусловленное понижением давления в жидкости. Причина возникновения кавитации – кипение жидкости при нормальной температуре и низком давлении. Появлению кавитации способствует растворенный в воде воздух, который выделяется при уменьшении давления. Теоретически жидкость начинает кипеть, когда давление в некоторых участках потока снижается до давления ее насыщенных паров. В действительности давление, при котором начинается кавитация, существенно зависит от физического состояния жидкости. Если жидкость содержит большое количество растворенного воздуха, то уменьшение давления приводит к выделению воздуха из жидкости и образованию газовых полостей, или каверн (cave – англ. полость), в которых давление выше, чем давление насыщенных паров жидкости. При наличии в жидкости микроскопических, невидимых глазом пузырьков кавитация может возникать при давлениях, превышающих давление насыщенного пара.

Каждый кавитационный пузырёк, формируясь из ядра, растет до конечных размеров, после чего схлопывается. Весь процесс происходит в течение нескольких миллисекунд. Пузырьки могут появляться друг за другом настолько быстро, что кажутся одной каверной [114].

Существует гидродинамическая кавитация, которая возникает за счет локального понижения давления в потоке жидкости при обтекании ею твердого

тела, а также акустическая кавитация. Последняя возникает при прохождении через жидкость акустических колебаний.

Так как звуковые и ультразвуковые колебания относится к акустическому воздействию, рассмотрим этот вид более подробно.

Акустическая кавитация в данном случае является средством концентрации энергии звуковой волны низкой плотности в высокую плотность энергии, связанную с пульсациями и схлопыванием кавитационных пузырьков [107]. В момент схлопывания кавитационного пузырька, значения давления и температуры газа по некоторым данным достигают 100 мПа и 10000°С, после чего сферическая ударная волна распространяется в жидкости, быстро затухая в пространстве.

Для того, чтобы в жидкости образовалась полость, необходимо раздвинуть ее соседние молекулы на расстояние не менее двойной длины промежутка между ними. Максимальное растягивающее напряжение, которое может выдержать жидкость, рассчитывается по формуле [101]

$$P \approx 2\sigma/R, \tag{2.1}$$

где σ - поверхностное натяжение жидкости;

R - радиус пузырька.

Например, для воды при R=2·10^{-10} м, P=1000 МПа [111, с.159], кавитационная прочность не превышает нескольких десятков мПа. Чем ниже частота акустической волны, тем ниже пороговое давление. Для частоты 1 кГц пороговое давление не превышает 10^5 Па при нормальном статическом давлении и температуре ($P_\infty \approx$ 0,1 МПа, $T \approx$ 20 °С) [82, с.168].

Большинство проведённых теоретических исследований, рассматривают поведение единичного кавитационного пузырька. В реальных же условиях добиться существования одиночного пузырька достаточно сложно. Даже при давлении, не намного превышающем порог кавитации, сразу появляется множество кавитационных пузырьков, занимающих определенную часть пространства. Эта часть называется кавитационной областью [77, с. 221].

При импульсных растягивающих напряжениях в жидкости кавитационные пузырьки растут, образуя так называемый кавитационный кластер, форма и длина которого определяются начальным спектром размеров кавитационных зародышей, характером прикладываемого напряжения и граничными условиями. Все зародыши достигают максимального размера одновременно, и среда может считаться практически монодисперсной, содержащей пузырьки только одного размера.

В течение жизненного цикла, кавитационные пузырьки теряют сферическую форму в большей или меньшей степени в зависимости от максимального радиуса, частоты акустического поля, вязкости, наличия поверхностно-активных веществ и т.п. В основном, наибольшие деформации наблюдаются на заключительной стадии сжатия [24].

Таким образом, кавитационная область представляет собой своеобразный трансформатор мощности, в котором сравнительно медленно накапливаемая энергия освобождается в течение очень короткого времени, в результате чего мгновенная мощность во много раз превосходит среднюю, вводимую излучателем в кавитационную область [21].

Акустическая кавитация в жидкостях инициирует различные физико-химические явления: сонолюминесценцию (свечение жидкостей), химические эффекты (звукохимические реакции), эрозию твердого тела (разрушение поверхности), диспергирование (измельчение твердых частиц в жидкости) и эмульгирование (смешивание и гомогенизация несмешивающихся жидкостей). Именно поэтому акустическая кавитация является объектом изучения в данной работе.

2.2 Уточнение аналитических зависимостей, связывающих образование кавитационных пузырьков с коэффициентом поверхностного натяжения

Известно, что топливо циркулирует из бака через несколько топливных насосов к двигателю, при этом его часть опять возвращается в бак. Такой путь

через нагретые элементы системы топливоподачи может способствовать значительному нагреву топлива, особенно если используется небольшой его объем (бак транспортного средства редко бывает полным). При нагреве топлива охлаждающий эффект на входящем заряде уменьшается и наблюдается потеря мощности в пределах 0,5…1%. Особенно это касается системы CommonRail - температура топлива, циркулирующего в ней, может достигать 140°С. Повышенная температура топлива может привести к снижению эффективности и долговечности топливной аппаратуры, ускоренного старения пластмасс и эластомеров, а также потребовать установки «ловушек» для углеводородов в топливной системе.

По данным производителей дизель-генераторов результатом повышения температуры топлива выше 55°С могут стать следующие эффекты [76]:

- двигатель не может развить полную мощность, так как с ростом температуры топлива количество поступающего воздуха в цилиндры снижается, и топливо полностью не сгорает;
- на рабочих поверхностях топливной аппаратуры могут появиться задиры вследствие потери вязкости топлива, и, следовательно, его смазывающих свойств при увеличении его температуры;
- более жесткая работа двигателя вследствие более раннего воспламенение разогретого топлива;
- самоостановка двигателя вследствие завоздушивания топливной системы парами легких фракций, выделяющихся из топлива при высокой температуре и пр.

По данным компании Nissan, поддержка топлива в холодном состоянии крайне важна для мощных двигателей и автомобилей с высокой производительностью, особенно, если они используются в жарком климате [104].

Поскольку одной из проблем, связанных с системой впрыска топлива, является количество тепла, добавляемого к топливу, неиспользуемому для сжигания, часто применяются различные системы охлаждения для «возвращающегося» топлива [112]. В качестве практической реализации такой

системы можно привести продукт «CryO^{2}FuelChillerSystem» компании DEI Engineering, процесс охлаждения топлива в котором основан на криогенных свойствах жидкого углекислого газа CO_2:топливо проходит через центральную камеру устройства и попадает в криогенные камеры, где оно существенно охлаждается.

Суть охлаждения топлива состоит в том, что более холодное занимает меньший объем, поэтому оно обладает большей способностью поглощать тепло от входного заряда, увеличивая, тем самым, количество воздуха, направляемого в цилиндр. Эффект охлаждения позволяет упаковывать больше молекул воздуха в каждый поступающий в цилиндр заряд.

По данным специалистов команды Ferrari, использовавших устройство для охлаждения топлива на гоночных болидах, охлаждение топлива перед впрыском дает прирост 0,5% мощности на каждые 10°C.

С другой стороны, если топливо слишком холодное, то оно не будет успевать достаточно быстро нагреваться при прохождении по системе топливоподачи автомобиля и, далее, при впрыске. В результате некоторое количество топлива не будет полностью сгорать и, следовательно, не будет участвовать в полезной работе, снижая, тем самым, КПД двигателя. Поэтому должен существовать некоторый компромисс при выборе температуры топлива и, следовательно, системы его охлаждения.

Эффекты охлаждения топлива могут присутствовать и на микроуровне, например, при кавитационных процессах в жидкостях. Согласно [83] критическую энергию, затраченную на образование кавитационного пузырька, можно найти по формуле:

$$W_k = \frac{4}{3}\pi\sigma R_k^2, \tag{2.2}$$

где σ - коэффициент поверхностного натяжения жидкости, Н/м;

R_k - радиус кавитационного пузырька, м.

При этом механизм роста парового пузырька при кипении в свободном объеме аналогичен росту парового пузырька при кавитации - и тот, и другой

реализуются за счет поступления теплоты перегрева жидкости из теплового пограничного слоя, который примыкает к поверхности пузырька, что позволяет применить для оценки роста паровой фазы пузырька решение М. Плессета и С.Цвика [115, с.38-43]:

$$\left(\frac{\partial R}{\partial \tau}\right)_{n=0} = \sqrt{\frac{3}{\pi}} \cdot \frac{\lambda \Delta T_{\text{п}}}{r\rho'' a^{0,5}} \tau^{-0,5}, \tag{2.3}$$

где λ - коэффициент теплопроводности жидкости, Вт/(м·К);

$\Delta T_{\text{п}}$ - степень перегрева жидкости, К;

r - удельная теплота парообразования, Дж/кг;

ρ'' - плотность пара на линии насыщения;

a - коэффициент температуропроводности жидкости, м^2/с;

τ - время, с;

n=0 - относящийся к поверхности пузыря.

Из уравнения (2) можно получить выражение для радиуса $R_{n=0}$:

$$R_{n=0} = R_k + 2\sqrt{\frac{3}{\pi}} \cdot \frac{\lambda \Delta T_{\text{п}}}{r\rho'' a^{0,5}} \tau^{0,5}, \tag{2.4}$$

В работе [90] авторы, используя выражения (2.2) и (2.4), получили формулу, описывающую суммарное количество теплоты, затраченное на образование невзаимодействующих друг с другом вакуумных пузырьков при стационарной паровой кавитации в жидкости:

$$Q_{\Sigma} = N_n \cdot \left[(i+1)W_k + \sum_{i=0}^{k} Q_n(i\Delta\tau)\right], \tag{2.5}$$

где Qn - количество теплоты, израсходованное на рост пузырька, Дж;

i - номер шага по времени.

При этом в [90] было принято, что одновременно в начальный момент времени зародилось $N_{\text{п}}$ - пузырьков с одинаковым критическим размером R_k, и на их образование от жидкости отобрана энергия, равная произведению количества зародившихся пузырьков на критическую энергию, затраченную на образование одного кавитационного пузырька:

$$\varepsilon = N_{\text{п}} W_k\ , \tag{2.6}$$

где $N_п$ - количество зародившихся пузырьков,

W_k - критическая энергия, затраченная на образование одного кавитационного пузырька

Количество теплоты, отбираемое от жидкости, складывается из теплоты, затраченной на зарождение пузырьков, плюс теплота, затрачиваемая на рост пузырьков, причем за время роста условно «первой» партии пузырьков непрерывно нарастает условно «вторая», «третья» и т.д.

Однако, известно, что коэффициент поверхностного натяжения жидкости при вибрационной кавитации зависит от частоты колебаний [97, с. 1-15], а при оценке суммарного количества теплоты по формуле (4) он не был учтен.

Предлагается метод учета изменения коэффициента поверхностного натяжения жидкости в случае присутствия в ней вибрационной или акустической кавитации.

В качестве экспериментальной жидкости было выбрано дизельное топливо ДТ ГОСТ 305-2013, которое обрабатывалось в течение от 0 до 600 секунд в устройстве для ультразвуковой обработки топлива [25] при частоте колебаний 43 кГц и мощности источника колебаний 60 Вт.

Замеры коэффициента поверхностного натяжения производились методом отрыва капель (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Зависимость коэффициента поверхностного натяжения топлива от времени его обработки ультразвуком

t, с	0	10	20	30	40	50	60	90	120	600
$\sigma_{эксп} \cdot 10^{-3}$, Н/м	26,49	27,73	28,06	28,39	28,61	28,73	28,73	29,06	29,06	29,28
$\Delta\sigma$, %	-	4,72	5,96	7,17	8,00	8,46	8,46	9,70	9,70	10,53

Анализ приведенных в таблице данных показывает, что увеличение коэффициента поверхностного натяжения в основном происходит до 50 секунды (на 8,46%), а далее - с 60 до 600 секунды - увеличение составляет всего 2,07%. Вероятно, маленький прирост коэффициента поверхностного натяжения в диапазоне обработки 60…600 секунд связан с процессом нагрева топлива за счет

подвода энергии от излучателя, когда начинается обратный процесс - снижение коэффициента поверхностного натяжения из-за роста температуры [80].

В результате интенсивность роста коэффициента поверхностного натяжения снижается с почти 8,5% до 2%. На основании вышесказанного для аппроксимации формулой изменения коэффициента поверхностного натяжения достаточно использовать диапазон 0…50 секунд (рисунок 2.1).

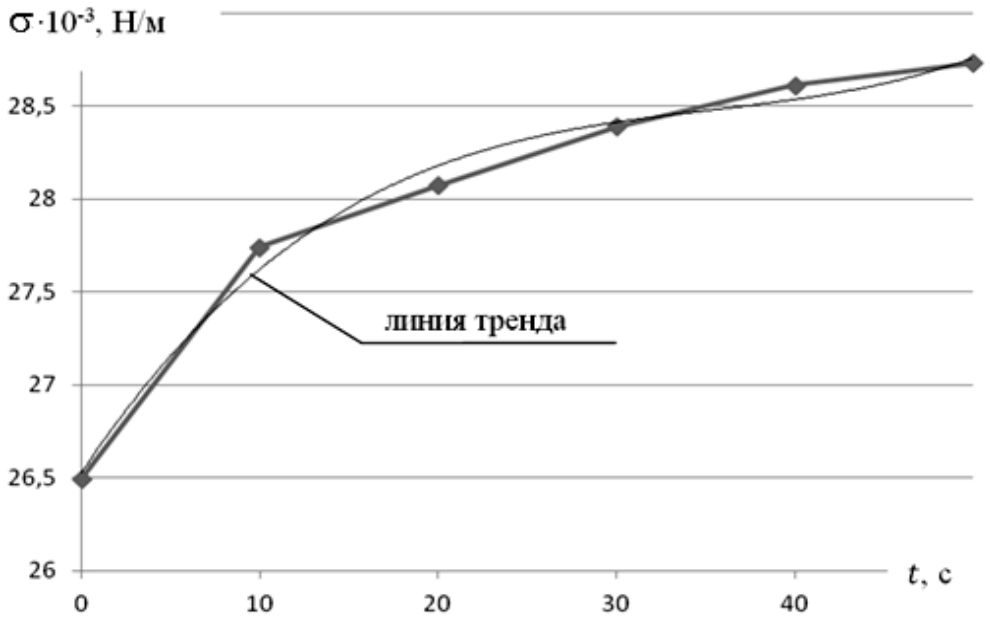


Рисунок 2.1 - Аппроксимация изменения коэффициента поверхностного натяжения в диапазоне 0…50 секунд

Аппроксимирующая зависимость для коэффициента поверхностного натяжения относительно исходного значения, полученного экспериментально, может быть представлена следующим уравнением:

$$\sigma_{\text{аппр}} = \sigma_{\text{эксп}} + 0{,}00004t^3 - 0{,}0037t^2 + 0{,}13t\,, \qquad (2.7)$$

где t - время обработки, с.

Коэффициенты при t^3, t^2, t имеют размерности Н/(м·с^3), Н/(м·с^2) и Н/(м·с), соответственно.

Для оценки возможности практического использования уравнения (2.7) необходимо проверить его на адекватность, например, с использованием критерия Фишера.

Представим вычисления в виде таблицы 2.2, при этом для расчета коэффициента корреляции и вычисляемого критерия Фишера ($F_{выч}$) использовались соответствующие зависимости для нелинейных моделей.

Таблица 2.2 - Оценка адекватности уравнения (6)

t, с	$\sigma_{эксп}$, Н/м (по табл.1)	$\sigma_{эксп}$, Н/м (по (6))	Стандартное отклонение t	Стандартное отклонение σ	Коэффициент вариации t	Коэффициент вариации σ	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	$F_{выч}$	$F_{табл}$	Средняя ошибка аппроксимации, %
0	26,49	26,49	17,08	0,75	0,68	0,03	0,964	0,93	53,06	6,61	0,71
10	27,74	27,46									
20	28,07	27,93									
30	28,39	28,14									
40	28,61	28,33									
50	28,73	28,74									

Поскольку $F_{выч}>F_{табл}$, то уравнение адекватно и его можно использовать для аппроксимации значений коэффициента поверхностного натяжения со средней ошибкой аппроксимации 0,71%. В результате уравнение (2.2) можно модернизировать введением поправки, установленной уравнением (2.7):

$$W_k = \frac{4}{3}\pi(\sigma + 0{,}00004t^3 - 0{,}0037t^2 + 0{,}13t)R_k^2, \qquad (2.8)$$

Тогда уравнение (2.6) также модернизируется следующим образом:

$$\varepsilon = N\text{п}\left[\frac{4}{3}\pi(\sigma + 0{,}00004t^3 - 0{,}0037t^2 + 0{,}13t\,)R_k^2\right], \qquad (2.9)$$

Аналогично изменится суммарное количество теплоты, затраченное на образование не взаимодействующих друг с другом вакуумных пузырьков при стационарной паровой кавитации в дизельном топливе, если присутствует акустическая или вибрационная кавитация:

$$Q_{\Sigma} = N_{\text{п}} \cdot \left[(i+1)[\frac{4}{3}\pi(\sigma + 0{,}00004t^3 - 0{,}0037t^2 + 0{,}13t)R_k^2] + \sum_{i=0}^{k} Q_n(i\Delta\tau)\right], \quad (2.10).$$

В результате можно сделать вывод, что от топлива будет отбираться энергия, зависящая от времени существования в нем акустической или вибрационной кавитации, и она будет больше на 5…10%.

Физика происходящих процессов может быть описана следующим образом (рисунок 2.2).

1 этап. Энергия, передающаяся от ультразвукового излучателя, вызывает в жидкости разрывы её сплошности, при этом происходит образование парогазовых пузырьков, получающих в процессе своего роста «подкачку» энергии от ультразвукового поля излучателя.

2 этап. Пузырьки растут до момента, когда давление жидкости начинает превышать энергию, подводимую со стороны ультразвукового излучателя, после чего кавитационные пузырьки схлопываются, вызывая рост температуры внутри них (до 10000К), что приводит – согласно уравнению (1) – к отбору энергии от близлежащих слоёв и их охлаждению.

3 этап. Сферическая ударная волна, появляющаяся после схлопывания пузырька, направленная радиально от точки схлопывания, передаёт энергию близлежащим слоям жидкости, увеличивая кинетическую энергию их молекул. Молекулы жидкости, получившие приращение кинетической энергии, стремятся к её поверхности, увеличивая тем самым коэффициент поверхностного натяжения и снижая при этом ее плотность в зоне схлопывания.

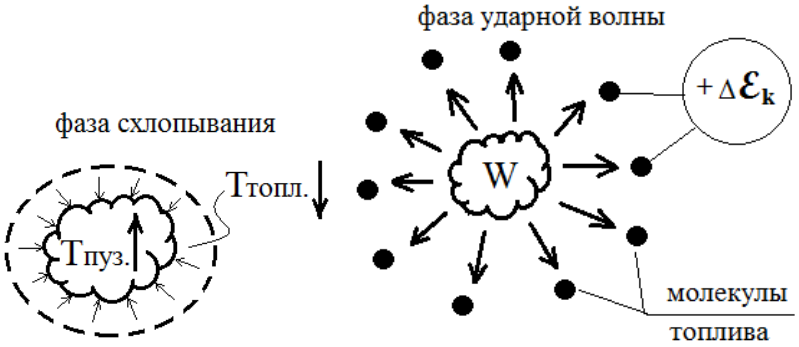
4 этап. Снижение температуры жидкости приводит к уменьшению ее объёма, который подаётся в камеру сгорания, что вызывает рост объёма подаваемого в камеру сгорания воздуха. При этом уменьшение плотности жидкости – в сочетании с уменьшением ее объема – приводит к уменьшению массы подаваемой в камеру сгорания жидкости, обеспечивая снижение ее расхода за цикл подачи.

5 этап. При разрушении впрыскиваемой в камеру сгорания капли – за счёт более высокого коэффициента поверхностного натяжения – молекулы «энергонасыщенного» топлива разлетаются на большее расстояние, обеспечивая лучшее перемешивание с молекулами воздуха, поступившим в камеру сгорания в бóльшем объеме, повышая, тем самым, качество приготовления топливовоздушной смеси, что положительно влияет на полноту её сгорания.

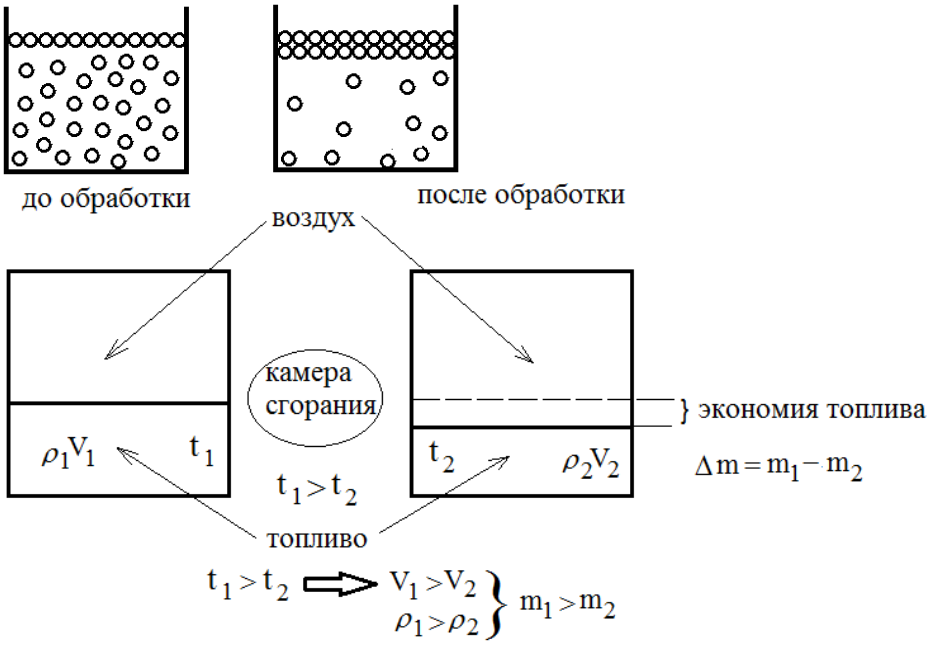
1 этап

2 этап

3 этап



4 этап



5 этап

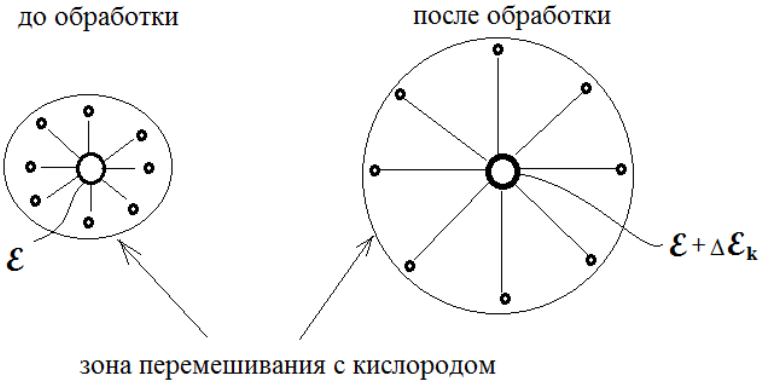


Рисунок 2.2 - Физика происходящих процессов

Выводы по второй главе

1. Оценены эффекты охлаждения топлива, которые могут присутствовать на микроуровне, например, при кавитационных процессах в жидкостях, и при этом выявлено, что критическая энергия, затрачиваемая на образование кавитационного пузырька, связана с коэффициентом поверхностного натяжения жидкости.
2. Предложен метод оценки изменения коэффициента поверхностного натяжения дизельного топлива, учитывающий его увеличение в процессе ультразвуковой обработки, и получена аналитическая зависимость, описывающая это увеличение от времени обработки.
3. Уточнены уравнения, описывающие суммарное количество теплоты, затраченное на образование не взаимодействующих друг с другом вакуумных пузырьков при стационарной паровой кавитации в жидкости, критическую энергию, затраченную на образование одного кавитационного пузырька, а также суммарное количество теплоты, затраченное на образование невзаимодействующих друг с другом вакуумных пузырьков при ультразвуковой кавитации в дизельном топливе.
4. Описана физика процессов происходящих явлений, а именно энергонасыщение топлива за счёт «подкачки» энергии от источника внешних ультразвуковых колебаний.

3. Общая и частные методики исследования

3.1. Общая методика исследования

В результате теоретического исследования были установлены основные параметры, влияющие на изменение расхода дизельного топлива ДТ ГОСТ 305-2013 после обработки его в устройстве для ультразвуковой обработки топлива. Для практической проверки выводов теоретического исследования были проведены сравнительные лабораторные исследования.

Для определения изменений физико-механических характеристик топлива были проведены исследования по изменению динамической вязкости, коэффициента поверхностного натяжения, плотности и коэффициента светопропускания.

Также, были проведены практические исследования по оценке характеристик впрыска топлива до и после обработки его в устройстве ультразвуковой обработки топлива.

Оценка характеристик воспламеняемости производилась путём исследования наличия изменений цетанового числа дизельного топлива.

Исследования по выявлению зависимости расхода дизельного топлива от времени нахождения его в камере обработки устройства для ультразвуковой обработки топлива включали в себя разные варианты подачи дизельного топлива в камеру обработки устройства, а также макетирование процесса заполнения камеры ультразвуковой обработки устройства.

Были проведены исследования по оценке расхода топлива до и после обработки его в устройстве для ультразвуковой обработки топлива, а также зависимости показателей расхода топлива от мощности ультразвукового излучателя.

Общая методика исследования схематично изображена на рисунке 3.1.

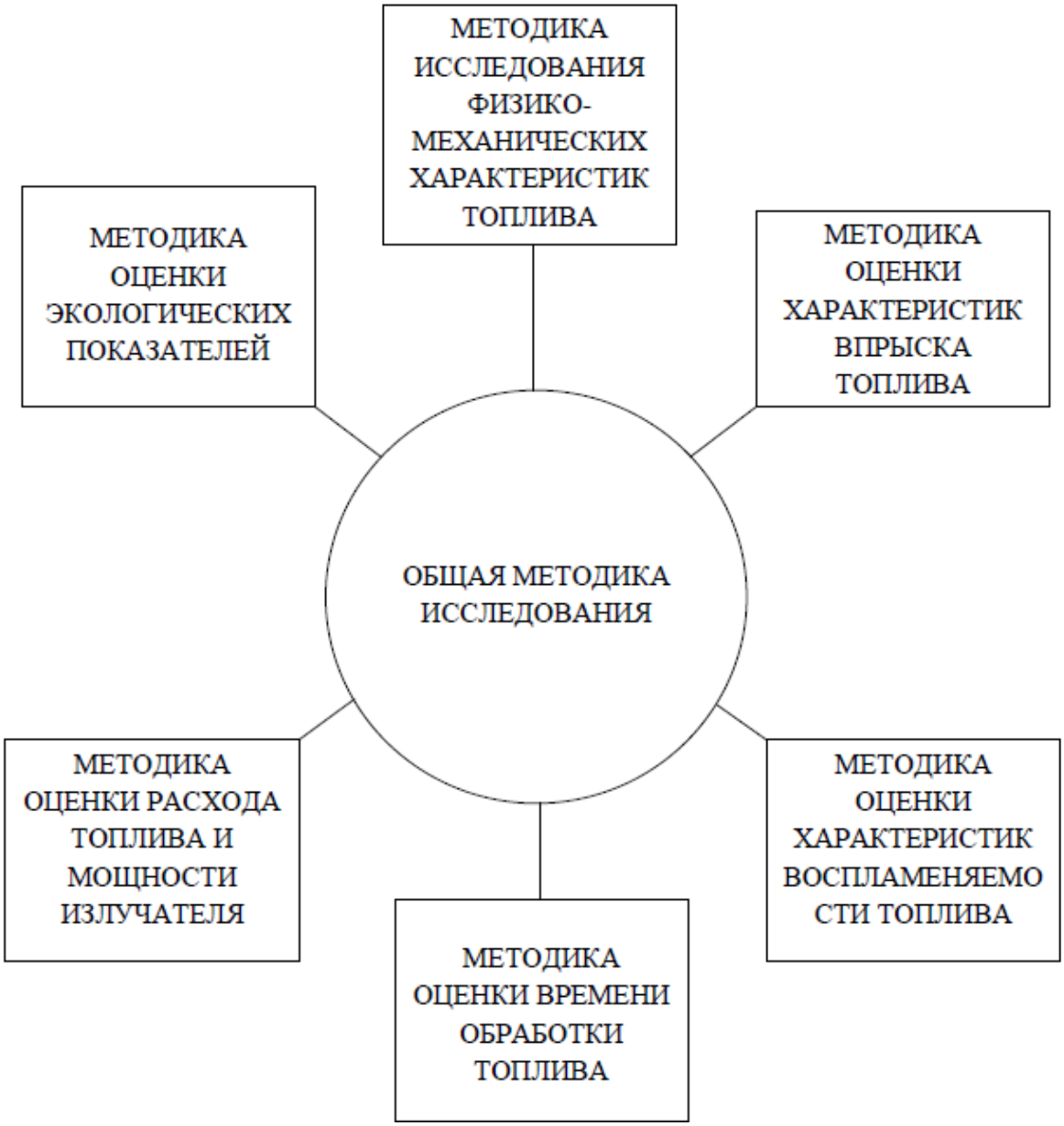


Рисунок 3.1 - Общая методика исследования.

3.2. Методика исследования физико-механических характеристик топлива

Методика исследования изменения физико-механических характеристик дизельного топлива до и после обработки его в устройстве ультразвуковой обработки топлива включала в себя проведение экспериментов по изменению динамической вязкости, коэффициента поверхностного натяжения (методом отрыва кольца и капельным методом), плотности, а также показателей светопропускания.

3.2.1. Методика исследования динамической вязкости

Для измерения динамической вязкости использовался набор оборудования фирмы HAAKE (США), приведенный на рисунке 3.2. Данное оборудование предназначено для замера вязкости являющихся прозрачными и имеющих невысокое ее значение жидкостей.

Рисунок 3.2 - Оборудование фирмы HAAKE для замера динамической вязкости

Миниатюрность используемых при измерении шаров позволяет использовать образцы жидкостей очень малого объема. Микровискозиметр Хааке измеряет время падения шара, которое пропорционально вязкости измеряемой среды (рисунок 3.3).

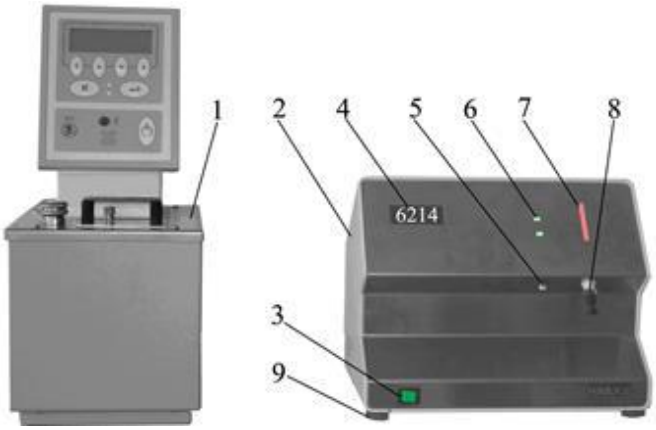


Рисунок 3.3 - Внешний вид микровискозиметра и шприца с шариком: 1 - циркуляционный термостат; 2 - микровискозиметр; 3 - включатель; 4 - цифровой дисплей; 5 - выключатель освещения шприца; 6 - диоды (световые барьеры); 7 - окно для наблюдения; 8 - шприц с шариком

В нём используются точные шприцы с объёмом образца жидкости менее

0,5см^3 и стальные позолоченные шары, которые автоматически поднимаются вращающимся магнитом. Миниатюрность шара вискозиметра позволяет при изменении вязкости использовать образцы жидких сред очень малого объёма (рисунок3.4).

Рисунок 3.4 - Набор шаров и шприц-трубка для отбора образцов жидкости

Прибор измеряет время падения шара, пропорциональное вязкости среды. Во время падения шар проходит два световых барьера, один из которых запускает, а второй - останавливает электронный счетчик времени. Разница во времени падения шара отображается в цифровом виде в миллисекундах на индикаторе прибора. Каждый цикл измерений проходит за 15 сек. После проведения замеров шприц промывается растворителем.

Прибор позволяет провести (в автоматическом режиме) неограниченное количество циклов для каждого конкретного образца до тех пор, пока установившееся постоянное время падения шара не покажет, что температура образца не стала стабильной. Поддержание требуемой температуры испытания в допускаемом диапазоне от 15 до 70°С обеспечивается термостатом с циркуляцией теплоносителя (вода) через термостатирующую камеру прибора, в которой размещён шприц с шариком.

Расчет динамической вязкости производится по формуле:

$$\eta = K(p_1 - p_2)t, \tag{3.1}$$

где η - динамическая вязкость, Па·с;

K = 59,3·10^{-5} - константа системы, мПа·с·см^3/ (г·с);

p_1= 7,8 - плотность шара, г/см^3;

p_2 - плотность испытуемой среды, г/см^3;

t - время падения шара, с.

3.2.2. Методика исследования коэффициента поверхностного натяжения

Коэффициент поверхностного натяжения σ является важной характеристикой состояния (свойства) свободного поверхностного слоя жидкости, молекулы которого обладают большей потенциальной энергией, чем молекулы, находящиеся внутри жидкости (рисунок 3.5).

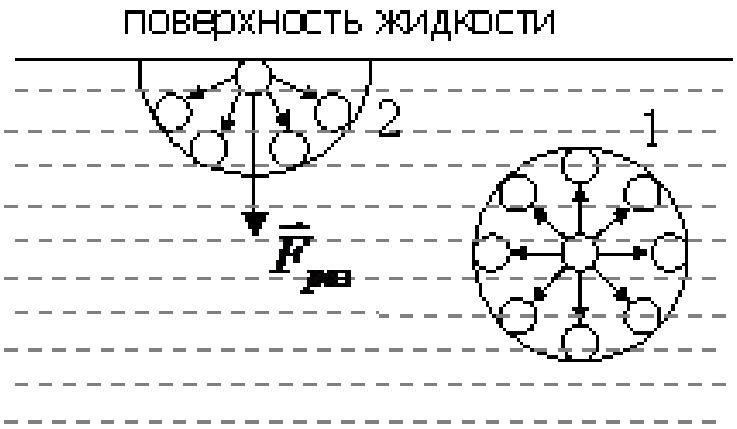


Рисунок 3.5 - Молекула внутри жидкости (1); молекула на поверхности жидкости (2)

Для измерения коэффициента поверхностного натяжения существует несколько методов.

3.2.2.1. Метод отрыва кольца

Методика проведения эксперимента выглядит следующим образом.

Установка для определения коэффициента поверхностного натяжения представляет собой технические весы, с подвешенным на одном плече кольце и

установленном под кольцом сосуде с жидкостью и свободной чашей весов на другом (рисунок 3.6).

Рисунок 3.6 - Весы рычажные ВР-100

Перед проведением измерений весы уравновешивают с подвешенным сухим кольцом. Осторожно подливают в сосуд жидкость до тех пор, пока кольцо не коснется поверхности жидкости, при этом при взвешивании кольца равновесие весов нарушится.

На вторую чашу весов кладут лист бумаги, на который очень медленно и осторожно, сыплют мелкий песок до тех пор, пока кольцо не оторвется от поверхности жидкости.

После этого снимают кольцо и определяют массу листа с песком на чаше. Масса определяется с погрешностью ± 0,01 грамма. С помощью штангенциркуля измеряют внутренний и внешний диаметр кольца.

Когда жидкость смачивает кольцо, силы поверхностного натяжения F_1 и F_2, действующие на его наружную и внутреннюю поверхности диаметрами D и d, направлены внутрь жидкости, как показано на рисунке 3.7и создают суммарную силу поверхностного натяжения.

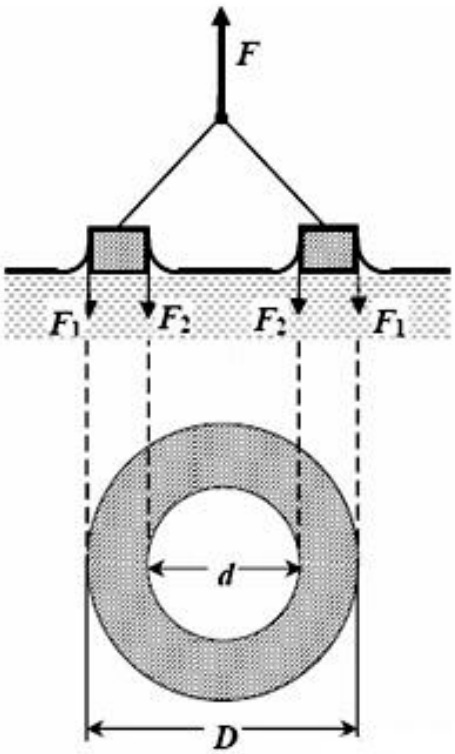


Рисунок 3.7 - Действие сил поверхностного натяжения

Чтобы оторвать кольцо от поверхности жидкости, надо приложить направленную вверх силу F.

Измерив с помощью весов силу F отрыва кольца и зная его массу и размеры, получаем выражение для коэффициента поверхностного натяжения жидкости σ:

$$\sigma = \frac{F}{\pi(D+d)}, \tag{3.2}$$

где F - сила отрыва кольца;

D - наружный диаметр кольца;

d - внутренний диаметр кольца;

Сила отрыва кольца F определяется по формуле:

$$F = mg, \tag{3.3}$$

где g - ускорение свободного падения;

m - масса капли = $M - M1$;

$M1$ - Масса чаши с грузом, уравновешивающей кольцо;

M - Масса чаши с грузом, достаточным для отрыва кольца.

3.2.2.2 Капельный метод

Капельный метод определения коэффициента поверхностного натяжения также называют сталагмометрическим, или методом счёта капель.

Чем больше капля, тем большую роль играет потенциальная энергия силы тяжести. Основная масса по мере роста капли собирается внизу и у капли образуется шейка.

Сила поверхностного натяжения направлена вертикально по касательной к шейке, уравновешивая силу тяжести, действующую на каплю. Теперь, капле достаточно совсем немного увеличится и силы поверхностного натяжения уже не смогут уравновесить силу тяжести. Шейка капли быстро сужается и в результате капля отрывается.

Для проведения эксперимента используется установка, схематично показанная на рисунке 3.8.

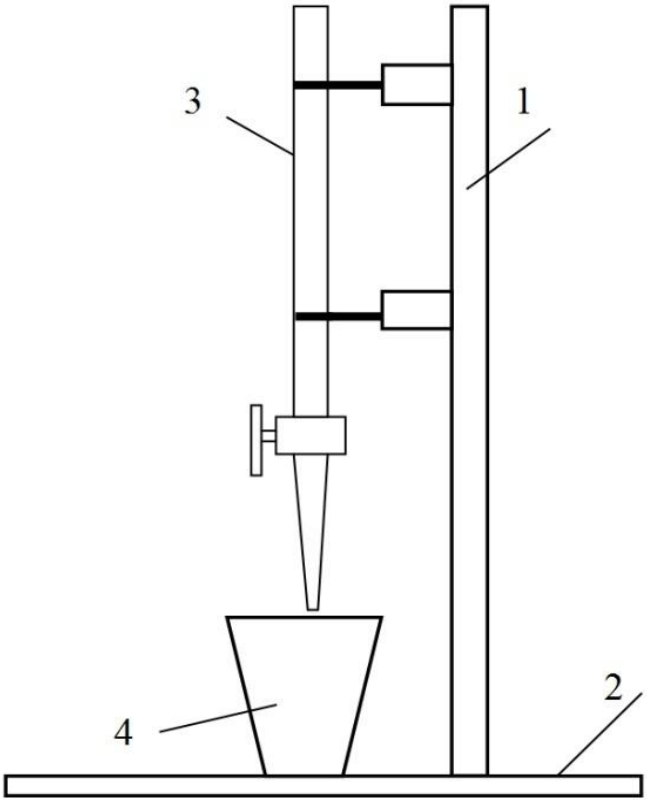


Рисунок 3.8 - 1 - штатив с держателями; 2 - основание; 3 - бюретка с краном; 4 - мерной стакан

Из наблюдений над отрывом капли можно определить численное значение коэффициента поверхностного натяжения жидкости. Зная радиус шейки капли, можно определить силу поверхностного натяжения:

$$f = 2\pi r\sigma, \tag{3.4}$$

где r - радиус шейки капли;

$2\pi r$ - длина окружности шейки;

σ - коэффициент поверхностного натяжения жидкости.

В момент отрыва капли:

$$f = mg, \tag{3.5}$$

Отсюда:

$$\sigma = \frac{mg}{2\pi r}, \tag{3.6}$$

Если известны масса капли m и r, то можно определить σ.

Учитывая сложность определения радиуса шейки капли, на практике часто пользуются методом сравнения коэффициентов поверхностного натяжения двух жидкостей - исследуемой и эталонной (коэффициент поверхностного натяжения которой уже известен).

В качестве эталонной жидкости обычно используют воду.

Для воды:

$$m_0 g = 2\pi r_0 \sigma_0, \tag{3.7}$$

Для исследуемой жидкости:

$$mg = 2\pi r\sigma, \tag{3.8}$$

Считая $r = r_0$ и, поделив почленно второе равенство на первое, получим:

$$\sigma / \sigma_0 = m/m_0, \tag{3.9}$$

откуда:

$$\sigma = \sigma_0 (\frac{m}{m_0}), \tag{3.10}$$

где σ_0 - коэффициент поверхностного натяжения эталонной жидкости;

m - масса капли исследуемой жидкости;

m_0 - масса капли эталонной жидкости;

σ - коэффициент поверхностного натяжения исследуемой жидкости.

3.2.3. Методика исследования плотности топлива

В большинстве случаев плотность жидкостей ρ может быть определена с помощью ареометров. Ареометр АНТ-2 (рисунок 3.9) представляет собой стеклянную трубку, расширенная (нижняя) часть которой заполнена балластом - чистой и сухой металлической дробью, залитой слоем смолы с температурой плавления не ниже 80°С. Это классический лабораторный ареометр для измерения плотности дизельного топлива, совмещённый с термометром для повышения точности измерения.

Технические характеристики ареометра:

- длина: 30 см
- температурный диапазон измерения прибора: от -20°С до +35°С.
- цена деления шкалы: 0,5 кг/м^3

Используется для измерения плотности дизельных топлив любых марок (летнего, зимнего, арктического). Является метрологически аттестованным (с поверкой) прибором. Различают ареометры для жидкости легче воды и для жидкости тяжелее воды. У ареометров первого типа отсчет шкалы производится от 1,000 до 0,700, а у ареометров второго типа - от 1,000 и выше. Измерения плотности ареометром проводят при 20°С. Плотность автомобильных топлив определяется согласно ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009).

Отобранную для анализа пробу нефтепродукта очень осторожно переносят в цилиндр для измерений. При этом, важно не допустить взбалтывания во избежание образования пузырьков воздуха и уменьшения до минимума испарения низкокипящих составляющих. Для переноса высоколетучих образцов в цилиндр всегда используется сифон.

Оставшаяся над поверхностью жидкости часть стержня ареометра при его погружении в цилиндр должна оставалась сухой, так как излишняя жидкость может повлиять на точность отсчета. Точка на шкале ареометра, в которой поверхность жидкости пересекает шкалу ареометра, является правильной точкой отсчета плотности жидкости (рисунок 3.9).

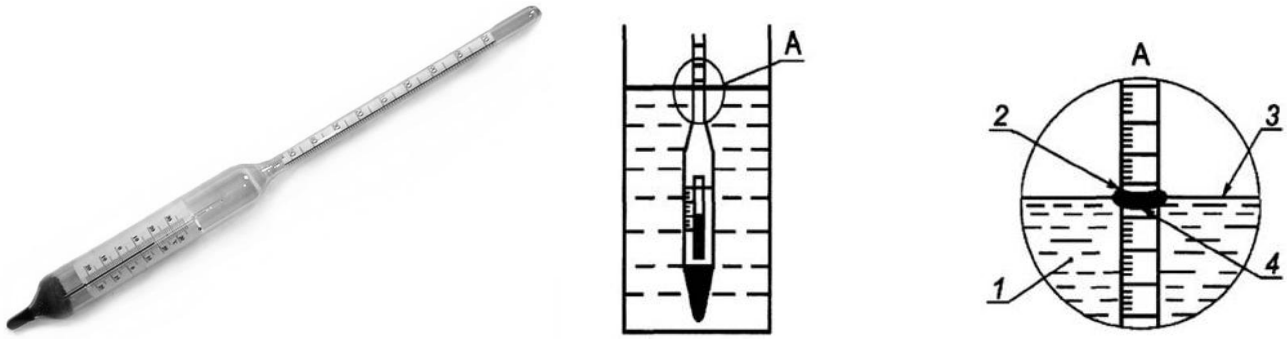


Рисунок 3.9 - Считывание показаний ареометра АНТ-2: 1 - исследуемая жидкость, 2 - точка считывания показаний, 3 - горизонтальная плоскость поверхности жидкости, 4 - мениск

Благодаря балласту во время измерения плотности ареометр находится в вертикальном положении. На верхней части нанесена шкала. Чем меньше плотность жидкости, тем глубже погружается в нее ареометр, поэтому верхние деления шкалы соответствуют наименьшей, а нижние — наибольшей плотности. Отсчет показаний производится по нижнему мениску. Чем меньше плотность жидкости, тем глубже погружается в нее ареометр, поэтому счет делений шкалы ареометра всегда идет сверху вниз. Промежутки между цифрами разделены на более мелкие деления, что позволяет измерять плотность с точностью до третьего знака.

3.2.4 Методика исследования коэффициента светопропускания

Для исследования свойств различных веществ на основе анализа спектрального состава, измерения спектральных характеристик излучателей и объектов, взаимодействовавших с излучением, а также для спектрального анализа и фотометрирования, применяется спектрофотометр [98].

Цифровой UV-VIS спектрофотометр PD-303UV (рисунок 3.10) - двухлучевой спектрофотометр ультрафиолетового и видимого диапазона (190-1100 нм), предназначенный для измерения коэффициентов пропускания жидких и твердых прозрачных веществ.

Рисунок 3.10 - Цифровой UV-VIS спектрофотометр PD-303UV

Основные режимы работы данного прибора - проведение кинетических измерений, определение концентраций, математическая обработка результатов.

Прибор PD-303UV представляет собой управляемый микропроцессором двулучевой спектрофотометр, имеющий высокое разрешение и чувствительность. PD-303UV имеет два источника света: для видимого участка спектра используется галогеновая лампа, для ультрафиолета - дейтериевая лампа. Ультрафиолетовые лампы, содержащие дейтерий, имеют высокую интенсивность излучаемого потока и непрерывный спектр в диапазоне от 190 до 380 нм. PD-303UV имеет полосу светопропускания 5 нм, управляется программным обеспечением через клавиатуру прибора либо с помощью компьютера. С помощью различных адаптеров могут использоваться кюветы различного типа с длиной оптического пути от 5 мм до 100 мм. Большой жидкокристаллический дисплей, отображающий абсорбцию, коэффициент светопропускания, концентрацию и длину волны, а также простые инструкции для оператора. Встроенный серийный интерфейс RS-232позволяет подключать к прибору компьютер и принтер.

Прибор PD-303UV оснащён программным обеспечением, основанным на системе Microsoft Windows, что позволяет полностью управлять прибором с компьютера (устанавливать нужную длину волны, менять источник света, выполнять измерения, рассчитывать концентрации).

С помощью программы можно создавать отчеты измерений и работать в 3-х режимах:

1. производить измерение светопропускания (%T), абсорбции (ABS) и концентрации (CONC) проб;
2. строить калибровочные кривые по нескольким стандартам (до 8 стандартов);
3. измерять и строить график изменения абсорбции против времени.

Технические характеристики прибора указаны в приложении А.

3.3 Методика оценки характеристик впрыска топлива

Методика исследования изменений характеристик впрыска дизельного топлива до и после обработки его в устройстве ультразвуковой обработки топлива включала в себя проведение экспериментов по определению зависимости показателей формы факела и дозировки распыла.

Для проверки работоспособности форсунок двигателя, а так же для наблюдения за изменениями показателей впрыска топлива, используются лабораторные стенды с форсунками (рисунок 3.11).

Рисунок 3.11 - Лабораторный стенд

Стенд состоит из ёмкости для испытуемого топлива, нагнетательного насоса, измерительного манометра и непосредственно форсунки, через которую осуществляется впрыск топлива.

3.4. Методика оценки характеристик воспламеняемости топлива

Оценка характеристик воспламенения производилась путём определения цетанового числа исследуемого топлива. Цетановое число представляет собой показатель, характеризующий зависимость самовоспламеняемости топлива от сжатия в дизельных двигателях. Для оценки воспламеняемости дизельных топлив в двигателе путем определения цетановых чисел по методу совпадения вспышек с использованием электронного индикатора периода задержки воспламенения (ИПЗВ) применяется установка ИДТ-90 (рисунок 3.12).

Рисунок 3.12 - Установка ИДТ-90

Установка по конструкции и оборудованию представляет собой испытательный стенд с одноцилиндровым дизельным двигателем внутреннего сгорания, электромотором, пультом управления и комплектом агрегатов, приборов и специальной аппаратуры.

Применение метода определения воспламеняемости дизельных топлив устанавливается в стандартах и технических условиях на дизельные топлива. ГОСТ Р 52709 устанавливает метод определения характеристики воспламеняемости дизельного топлива в единицах условной шкалы цетановых чисел с использованием одноцилиндрового четырехтактного форкамерного дизельного двигателя с переменной степенью сжатия. В качестве такого одноцилиндрового двигателя применяется двигатель отечественного производства ИДТ-90. Шкала цетановых чисел охватывает диапазон от нуля (0) до 100, но практическое определение цетановых чисел производят в диапазоне от 30 до 65.

Цетановое число дизельного топлива определяется путем сравнения характеристик его сгорания в двигателе с характеристиками сгорания смесей эталонных топлив с известными цетановыми числами в стандартных рабочих условиях испытания. Сравнение проводится при степени сжатия совпадения вспышек, когда впрыск топлива в цилиндр осуществляется за 13° до ВМТ, а воспламенение топлива происходит в верхней мертвой точке при постоянном расходе топлива 13 мл/мин.

Основные технические характеристики установки ИДТ-90 приведены в приложении Б.

3.5. Методика оценки времени обработки топлива

Методика оценки времени обработки топлива состояла в проведении экспериментов по определению зависимости расхода топлива от нахождения его в камере ультразвуковой обработки топлива при различных способах заполнения камеры ультразвуковой обработки топлива.

В зависимости от способа подачи топлива в камеру ультразвуковой обработки устройства [71], меняется время, необходимое для её заполнения топливом, то есть при прочих равных условиях возможны различные временные интервалы нахождения топлива в камере обработки. Для проведения опыта

использовался прозрачный макет камеры обработки (рисунок 3.13).

Рисунок 3.13 - Макет камеры ультразвуковой обработки топлива

Макет камеры изготовлен из прозрачного пластика и имеет ту же ёмкость, что и камера ультразвуковой обработки топлива устройства - 200 мл. Макет снабжён тремя штуцерами, расположенными аналогично требованиям проведённого эксперимента [73].

Используя подкрашенную жидкость, макет камеры ультразвуковой обработки топлива позволяет с достаточной точностью определить время заполнения камеры в зависимости от входного штуцера, через который осуществляется подача топлива.

После получения вышеуказанных результатов на макете камеры ультразвуковой обработки топлива устройства для ультразвуковой обработки топлива, было проведено практической исследование по определению зависимости показателей эффективности работы устройства при различных способах подачи дизельного топлива в камеру ультразвуковой обработки топлива [73].

Выход обработанного топлива из камеры обработки (рисунок 3.14) в топливный насос двигателя для последующей его подачи в камеру сгорания на протяжении всего эксперимента осуществлялся через штуцер №1. Подача топлива в камеру обработки осуществлялась через штуцера № 9, 7 и 2.

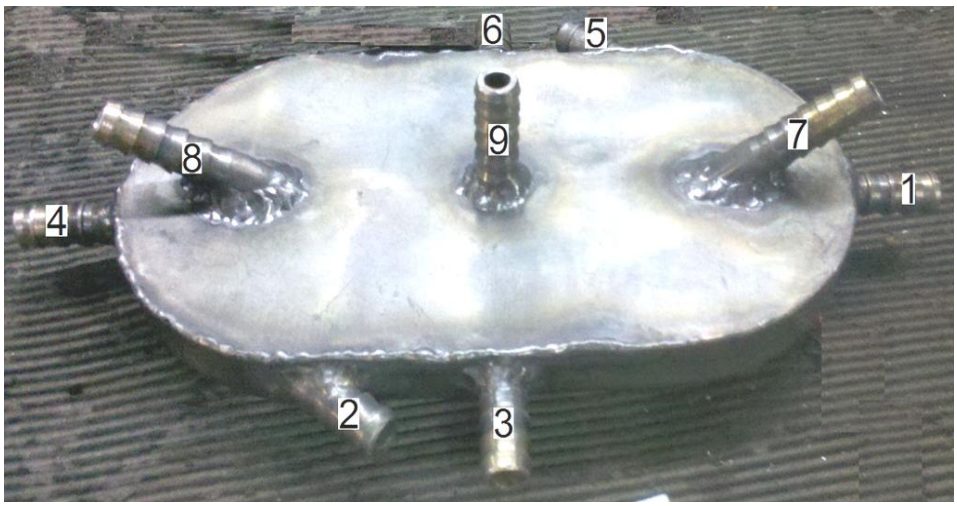


Рисунок 3.14 - Камера обработки топлива устройства для ультразвуковой обработки топлива с пронумерованными (1 - 9) штуцерами

3.6. Методика оценки расхода топлива и мощности излучателя

Методика определения изменений расхода дизельного топлива до и после обработки его в устройстве ультразвуковой обработки топлива, состояла в проведении экспериментов с применением дизельного двигателя, работающего попеременно на необработанном и обработанном дизельном топливе.

Для практической проверки изменения расхода дизельного топлива ДТ ГОСТ 305-2013, до и после обработки его в устройстве для ультразвуковой обработки топлива, использовался дизельный двигатель YANMAR4TNV88-BGGE (рисунок 3.15).

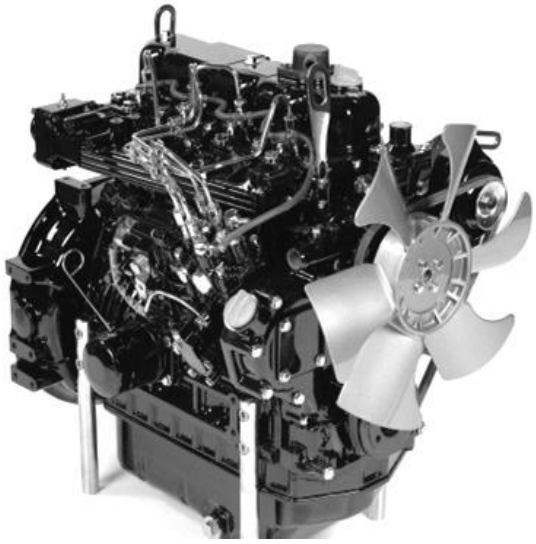


Рисунок 3.15 - Двигатель дизельный YANMAR 4TNV88-BGGE

Определение расхода топлива производится путём взвешивания контрольного резервуара с дизельным топливом на весах в определённый отрезок времени работы двигателя. Кратность измерений - 7 минут. Количество контрольных сессий - 6.

Вычисление разницы масс между израсходованным обработанным и необработанным топливом, производится по формуле:

$$m = M - M1, \tag{3.11}$$

где m - разница масс между израсходованным обработанным и необработанным топливом, г;

M - масса израсходованного топлива, не обработанного в устройстве для ультразвуковой обработки топлива, г;

$M1$ - масса израсходованного топлива, обработанного в устройстве для ультразвуковой обработки топлива, г.

Далее, согласно методике эксперимента, производится определение разницы потребления между обработанным и необработанным топливом в процентах [95].

Технические характеристики дизельного двигателя YANMAR4TNV88-BGGE:

- тип двигателя - дизельный, с вертикальным расположением цилиндров, 4-х цилиндровый, 4-х тактный, с водяным охлаждением;
- мощность, л.с. - 29
- частота вращения, об/мин - 1800
- диаметр x ход поршня, мм - 88x90
- объём двигателя, см^3 - 2190
- топливная система - непрямой впрыск
- масса, кг - 169

Для определения зависимости результата от мощности излучателя, использовалась возможность устройства работать в двух фиксированных мощностных режимах, предусмотренных его конструкцией – 30 Вт и 60 Вт.

3.7. Методика оценки экологических показателей

Методика исследования коэффициента избытка воздуха. Для исследования изменений коэффициента избытка воздуха в отработавших газах, использовался газоанализатор МЕТА АВТОТЕСТ МП (рисунок 3.16).

Прибор оборудован последовательным портом для связи с любой ПЭВМ для передачи результатов измерений и формирования базы данных, а также оформления протоколов измерений токсичности автотранспортных средств с дополнительным программным обеспечением "АВТОТЕСТ", установленным на ПЭВМ.

При необходимости, по требованию, реализуется возможность управления работой прибора со стороны ПЭВМ.

Рисунок 3.16 - Газоанализатор МЕТА АВТОТЕСТ МП

Прибор обеспечивает следующие режимы измерений и функциональные возможности:

- измерение концентрации оксида углерода, диоксида углерода, углеводородов, кислорода, частоты вращения коленчатого вала автомобиля с любым числом цилиндров и вычисление λ-параметра;
- индикация и вывод результатов измерений на принтер в виде протокола с указанием гос.номера автомобиля, номера прибора, текущей даты и времени;

- автоматическую коррекцию нуля при включении прибора и в дальнейшем по требованию без отключения пробозаборной системы от выхлопной трубы автомобиля;

- автоматическое отделение и эвакуацию конденсата из пробы газа в системе пробоподготовки прибора;

- контроль потока пробы;

- компенсацию изменений атмосферного давления.

Технические характеристики прибора указаны в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Технические характеристики газоанализатора МЕТА АВТОТЕСТ МП

Измеряемый компонент	Диапазон измерений	Цена деления	Участок диапазона измерений	Основная погрешность	
				абсолютная	относительная
Углеводороды	0-2000 млн$^{-1}$	1 млн$^{-1}$	0 ÷ 240 млн$^{-1}$ 240÷-2000 млн$^{-1}$	± 12 млн$^{-1}$ --	-- ± 5%
Оксид углерода	0 ÷ 5%	0,01%	0 ÷ 1,5% 1,5÷5%	±0,06% --	-- ± 4%
Диоксид углерода	0÷16 %	0,1 %	0 ÷ 12,5% 12,5÷16%	± 0,5% --	– ± 4%
Кислород	0÷21 %	0,1 %	0 ÷ 2,5% 2,5 ÷ 21%	± 0,1% --	– ± 4%
Окислы азота	0-5000 млн$^{-1}$	10 млн$^{-1}$	0 ÷ 1000 млн$^{-1}$ 1000÷-5000 млн$^{-1}$	± 50 млн$^{-1}$ --	-- ± 5%
λ-параметр	0,5-2,00	0,001		не нормируется	
Частота оборотов	0-5000 5000-8000 мин$^{-1}$	10 100 мин$^{-1}$	0 – 8000 мин$^{-1}$		±2,5%
Температура масла	20÷125°С	1°С	20÷125°С	±2,0°С	

Принцип действия прибора основан на измерении величины поглощения инфракрасного излучения источника молекулами углеводородов, диоксида углерода и оксида углерода в областях 3,4 мкм; 4,25 мкм; 4,7 мкм, соответственно. Концентрация кислорода определяется электрохимическим методом.

В датчике кислорода содержатся измерительный и сравнительный электроды, находящиеся в электролите и отделенные от анализируемого газа

полимерной мембраной.

На измерительном электроде кислород, продиффундировавший через мембрану, электрохимически восстанавливается, и во внешней цепи возникает электрический ток, сила которого пропорциональна парциальному давлению кислорода в газе над мембраной. Проба анализируемого газа поступает в электромагнитный клапан, а затем - в проточную зеркальную кювету, где определяемые компоненты, взаимодействуя с излучением, вызывают его поглощение в соответствующих спектральных диапазонах.

Методика исследования показателей дымности. Для исследования изменений дымности, использовался измеритель дымности отработавших газов МЕТА - 01 МП (рисунок 3.17). Прибор предназначен для экспрессного измерения дымности отработавших газов автомобилей, тракторов, а также других транспортных средств и стационарных установок, оснащенных двигателями с воспламенением от сжатия. Результат измерений представляется в единицах коэффициента поглощения (натурального показателя ослабления светового потока) К, $м^{-1}$ и в единицах коэффициента ослабления N, % по ГОСТ Р 52160-2003 и ГОСТ Р 41.24-2003.

Основным нормируемым параметром дымности является натуральный показатель ослабления светового потока К, вспомогательным - коэффициент ослабления светового потока N. Прибор позволяет проводить измерение дымности автомобилей, оснащенных двигателями с воспламенением от сжатия по ГОСТ Р 52160-2003 в режиме регистрации пикового (максимального) значения дымности в режиме свободного ускорения двигателя.

Возможно также измерение в дополнительном режиме, отображение текущего значения дымности в режиме максимального числа оборотов вала двигателя.

В приборе предусмотрено:

- индикация условий измерения: атмосферного давления и температуры окружающего воздуха;

- автоматическая регистрация и хранение пиковых значений дымности в цикле до 10-ти ускорений двигателя;

- выбор четырех последних значений и вычисление среднего значения;

- измерение и автоматическая коррекция показаний по температуре отработавших газов;

- автоматическая коррекция нуля;

- вывод результатов измерения дымности в выбранном режиме в виде протокола на печатающее устройство или в базу данных компьютера (в зависимости от модификации);

- сохранение во внутренней памяти данных до 40 результатов одиночных измерений дымности ТС с возможностью их вывода в виде протокола на печатающее устройство или в базу данных компьютера.

Технические характеристики прибора указаны в таблице 3.2.

Во время работы прибора, на его дисплее отображаются показатели ослабления светового потока К, % и коэффициент ослабления светового потока N, $м^{-1.}$ Показатель массовой концентрации сажи, $г/м^3$ находится по таблице 3.3 соотношения вышеуказанных показателей.

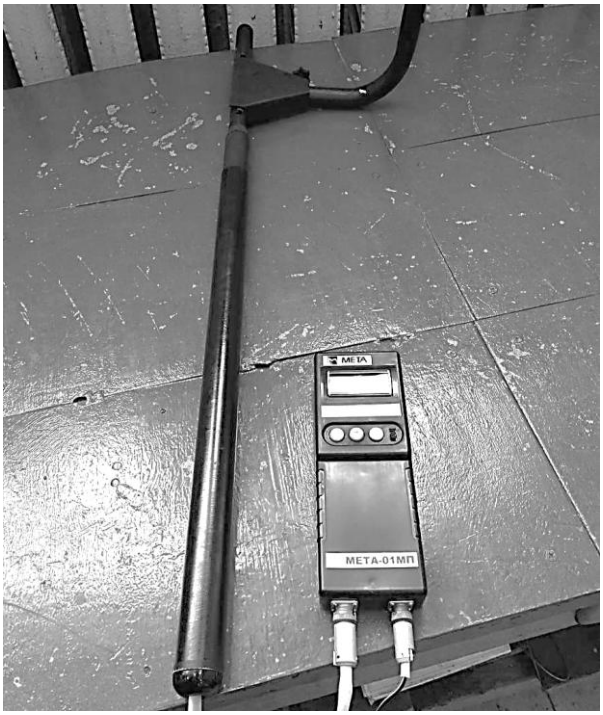


Рисунок 3.17 Измеритель дымности отработавших газов МЕТА - 01 МП

Таблица 3.2 - Технические характеристики измерителя дымности отработавших газов МЕТА - 01 МП

Наименование характеристик	Значения характеристик
Диапазон измерения дымности: - в единицах коэффициента поглощения света K_x, не менее, $м^{-1}$ - в единицах коэффициента ослабления света N, %	 0 – ∞ 0,0 – 100,0
Предел допускаемой абсолютной погрешности, $м^{-1}$, не более при коэффициенте поглощения 1,6 - 1,8 $м^{-1}$	± 0,05
Номинальная цена единицы наименьшего разряда: - коэффициента поглощения, $м^{-1}$ - коэффициента ослабления, %	 0,01 0,1
Фотометрическая база для модификаций прибора, м: - Мета-01 МП 0.1 - Мета-01 МП 0.2	 0,1 0,2
Потребляемая мощность от источника питания, Вт, не более	5
Масса основных составных частей, кг, не более: - приборный блок Мета-01МП 0.1, Мета-01МП 0,2 - оптический датчик Мета-01МП 0.1 - оптический датчик Мета-01МП 0.2	 0,4 0,6 0,9
Габаритные размеры основных составных частей, мм, не более: - приборный блок Мета-01МП 0.1, Мета-01МП 0.2 - оптический датчик Мета-01МП 0.1 - оптический датчик Мета-01МП 0.2	 220×75×40 35×510 35×520
Средняя наработка на отказ, ч, не более	5000
Средний срок службы, лет, не менее	8
Среднее время восстановления работоспособного состояния, ч, не менее	3

Таблица 3.3 - Соотношение единиц измерения

Коэффициент ослабления %	Коэффициент поглощения $м^{-1}$	Массовая концентрация $г/м^3$	Коэффициент ослабления %	Коэффициент поглощения $м^{-1}$	Массовая концентрация $г/м^3$
10	0,25	0,033	30	0,83	0,133
11	0,27	0,038	31	0,86	0,138
12	0,30	0,042	32	0,90	0,144
13	0,32	0,047	33	0,93	0,150
14	0,35	0,052	34	0,97	0,156
15	0,38	0,057	35	1,00	0,162
16	0,41	0,062	36	1,04	0,168
17	0,43	0,066	37	1,07	0,174
18	0,46	0,071	38	1,11	0,181
19	0,49	0,076	39	1,15	0,187
20	0,52	0,081	40	1,19	0,193
21	0,55	0,086	41	1,23	0,199
22	0,58	0,091	42	1,27	0,206
23	0,61	0,096	43	1,31	0,213
24	0,64	0,101	44	1,35	0,220
25	0,67	0,106	45	1,39	0,227
26	0,70	0,111	46	1,43	0,234
27	0,73	0,117	47	1,48	0,241
28	0,76	0,122	48	1,52	0,248
29	0,80	0,127	49	1,57	0,256

Выводы по третьей главе

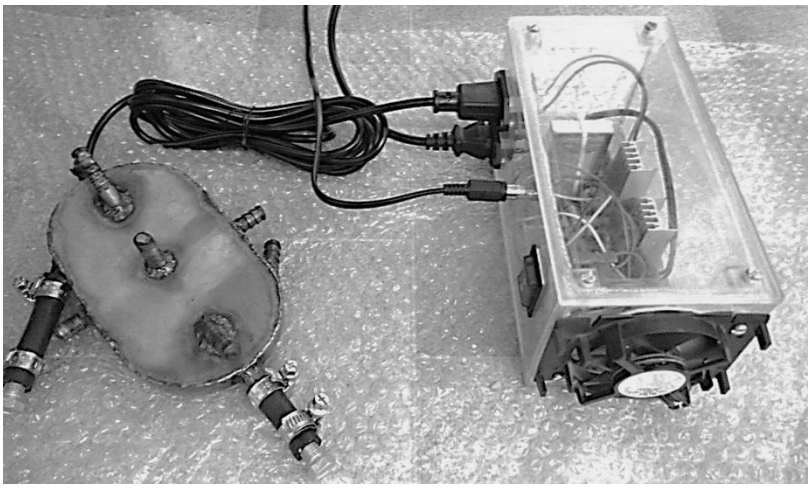
Таким образов, в рамках третьей главы описаны общая и частные методики исследования (часть из которых разработаны впервые) по определению физико-механических характеристик (коэффициент поверхностного натяжения, плотность, светопропускание, цетановое число), характеристик впрыска топлива, оценки времени обработки, расхода топлива, мощности излучателя, экологических и экономических характеристик, при этом всё использованное оборудование прошло своевременную поверку.

4. Результаты экспериментальных исследований устройства для ультразвуковой обработки топлива

4.1. Экспериментальные исследования физико-механических характеристик топлива

4.1.1 Экспериментальные исследования динамической вязкости топлива

Для определения изменения вязкости дизельного топлива ДТ ГОСТ 305-2013 после его обработки в устройстве для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1) [71], был проведён эксперимент по измерению вязкости с применением вискозиметра HAAKE (рисунок 3.2).



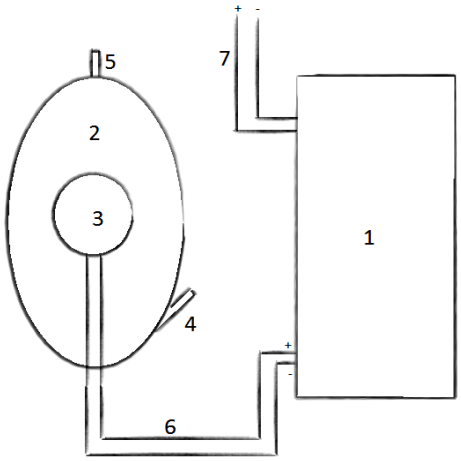


Рисунок 4.1 - Устройство для ультразвуковой обработки топлива: 1-блок управления; 2-камера обработки топлива; 3-ультразвуковой излучатель; 4-входной топливный штуцер; 5-выходной топливный штуцер; 6-кабель ультразвукового излучателя; 7-кабель электропитания устройства

Согласно значению калибровочных коэффициентов и диапазонов вязкости (таблица 4.1.) для проведения замеров вязкости из набора калибровочных шаров (рисунок 3.4) был выбран шар диаметром 3 мм. Шар помещён в шприц-трубку (рисунок 3.4). Затем, шприцем-трубкой была набрана доза 0,3 см^3 необработанного дизельного топлива и шприц был помещён в вискозиметр (рисунок 3.2). Далее, в автоматическом режиме, было проведено 10 циклов измерений падения шара, по 15 с каждый, с фиксацией измерений.

Таблица 4.1 - Значения калибровочных коэффициентов и диапазоны вязкости

Измерительная система	Объем пробы, мл	Диаметр шара, мм	Диапазон изменения вязкости, мПа·с	Значение калибровочного коэффициента, мПа·см^3/г
I	0,3	3,175	0,3…2,5	0,026
II	0,3	3	3…30	0,593
III	0,3	2,5	20…250	5,274

Произведена обработка дизельного топлива в устройстве на частоте 44 кГц и мощности 60 Вт в течение 300 с. Затем шприцем-трубкой была набрана доза 0,3 см^3 и шприц был помещён в вискозиметр.

Далее, в автоматическом режиме, было проведено 10 циклов измерений падения шара - по 15 с каждый - с фиксацией измерений. Результаты эксперимента представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Время падения шарика до и после обработки дизельного топлива в устройстве ультразвуковой обработки топлива

Количество циклов измерений	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	$t_{средн}$, мс
До обработки	948	946	956	950	952	951	957	942	951	943	949,6
После обработки	933	931	930	937	924	929	940	938	923	929	931,4

Согласно полученным данным, время падения шара в случае с обработанным топливом уменьшилось на 18,2 мс, что составляет 1,95%.

Расчет динамической вязкости производился по формуле (3.1) и составил для необработанного топлива 3,52 Па·с и 3,45 Па·с для обработанного, соответственно.

Таким образом, проведённый эксперимент показал уменьшение динамической вязкости дизельного топлива после его обработки в устройстве на 0,07 Па·с.

4.1.2.Экспериментальные исследования коэффициента поверхностного натяжения

4.1.2.1. Исследования методом отрыва кольца

Для определения наличия изменений коэффициента поверхностного натяжения дизельного топлива ДТ ГОСТ 305-2013 после его обработки в устройстве для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1), был проведён эксперимент методом отрыва кольца.

Собрана экспериментальная измерительная установка:

- платформа со штативом;
- весы рычажные ВР-100 (рисунок 3.6), с укрепленным вместо левой чаши металлическим кольцом (кольцо крепится к левому плечу весов с помощью трех шелковых нитей таким образом, чтобы кольцо находилось в горизонтальной плоскости);
- кювета для жидкости;
- весы электронные PocketScale с точностью измерения 0,01 г (рисунок 3.7).

Кольцо имеет параметры:

- внешний диаметр D = 50 мм;
- внутренний диаметр d = 28,5 мм.

Весы уравновешенны с помощью кварцевого песка, насыпанного в правую чашу. Чаша взвешена на электронных весах PocketScale. Масса чаши с грузом, уравновешивающей кольцо M1= 44, 13 г.

Кольцо подведено к кювете с необработанным в устройстве ультразвуковой обработки топлива дизельным топливом до соприкосновения поверхностей кольца и топлива.

На правую чашу весов в минимально возможной дозировке совком подаётся кварцевый песок до тех пор, пока кольцо не отрывается от поверхности жидкости.

Чаша взвешена на электронных весах PocketScale.

Масса чаши с грузом M = 47,47 г.

Сила отрыва кольца Fдиз.о1 = мg = (M - M1)g = 32,73 мН.

Произведена обработка дизельного топлива в устройстве на частоте 44 кГц и мощности 60 Вт в течение 60 с.

Топливо помещено в кювету и установлено на штативе. Кольцо подведено к кювете с обработанным топливом до соприкосновения поверхностей кольца и топлива.

На правую чашу весов в минимально возможной дозировке совком подаётся кварцевый песок до тех пор, пока кольцо не отрывается от поверхности жидкости.

Масса чаши с грузом M = 47,53 г.

Сила отрыва кольца Fдиз. = mg = (M - M1)g = 33,32 мН.

Таким образом, проведённый эксперимент показал увеличение силы отрыва кольца Fдиз дизельного топлива на 1,8% после обработки его в устройстве, что свидетельствует о повышении коэффициента поверхностного натяжения.

4.1.2.2.Исследования капельным методом

Для определения изменений коэффициента поверхностного натяжения дизельного топлива ДТ ГОСТ 305-2013 в зависимости от времени его обработки в устройстве для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1), был проведён эксперимент по определению коэффициента поверхностного натяжения сталагмометрическим методом, или методом счёта капель.

Для проведения эксперимента используется установка, схематично показанная на рисунке 3.9. Для получения начальных значений, бюретка наполняется необработанным в дизельным топливом (рисунок 4.2).

Устанавливается пустая ёмкость (мерной стакан) для регулировки скорости падения капель, для удобства подсчёта она составляет 20…30 капель в минуту.

Производится взвешивание пустого мерного стакана на электронных весах PocketScale (рисунок 4.3).

Рисунок 4.2 - Наполнение бюретки необработанным дизельным топливом

Рисунок 4.3 - Взвешивание пустого мерного стакана

В чистый мерной стакан отсчитывается 60 капель топлива из бюретки (рисунок 4.4)

Рисунок 4.4 - Отсчёт капель в мерной стакан

и производится повторное взвешивание мерного стакана (рисунок 4.5)

Рисунок 4.5 - Взвешивание мерного стакана после отсчёта 60 капель

Далее, вычисляем вес одной капли необработанного топлива, который составляет 0,013722 г.

Затем по вышеописанной методике, производится серия контрольных замеров для вычисления массы капли дизельного топлива после его обработки в устройстве при частоте 44 кГц и мощности 60 Вт.

Согласно методике эксперимента, каждая отдельная порция нового, необработанного топлива обрабатывалось в течение 10, 20, 30, 40, 50, 60, 90, 120 и 600 с, соответственно.

На протяжении всего эксперимента производится по три замера массы 60 капель для каждой порции топлива, каждый замер осуществляется с новым отсчётом капель, в чистый мерной стакан.

Всего произведено 9 сеансов обработки с вышеуказанными интервалами и 30 контрольных замеров, с вычислением массы капли для каждого замера. Используя метод сравнения коэффициентов поверхностного натяжения двух жидкостей - исследуемой и эталонной (в качестве эталонной жидкости использована дистиллированная вода), был вычислен коэффициент поверхностного натяжения для каждой порции дизельного топлива, до и после обработки в устройстве для ультразвуковой обработки топлива.

Результаты эксперимента представлены в таблице 4.3.

Таким образом, проведённый эксперимент показал наличие зависимости увеличения коэффициента поверхностного натяжения дизельного в зависимости от времени его обработки в устройстве.

На основании полученных данных можно сделать вывод, что основные изменения по увеличению коэффициента поверхностного натяжения на 8,5%, происходят до 50-й секунды нахождения топлива в устройстве. Во время дальнейшей обработки - до 600 с - увеличение составляет 2,1%.

Таблица 4.3 - Результаты эксперимента

№ п/п	Время обработки, сек.	Номер замера	Мерной стакан, $m_{ст}$ гр.	Мерной стакан+60 к, $m_{ст}$ гр.	Масса 60 капель, гр.	Масса капли, гр.	Изменения, %	К. П. Н., $\sigma_{дт}$
1	0	$m_{ст1/1}$	1,26	2,08	0,82	0,013722	0,000	26,49102
		$m_{ст1/2}$	1,19	2,02	0,83			
		$m_{ст1/3}$	1,23	2,05	0,82			
2	10	$m_{ст2/1}$	1,18	2,02	0,84	0,014000	2,025	27,73514
		$m_{ст2/2}$	1,18	2,01	0,83			
		$m_{ст2/3}$	1,23	2,08	0,85			
3	20	$m_{ст3/1}$	1,23	2,08	0,85	0,014167	3,240	28,06598
		$m_{ст3/2}$	1,25	2,08	0,83			
		$m_{ст3/3}$	1,21	2,08	0,87			
4	30	$m_{ст4/1}$	1,14	2	0,86	0,014333	4,450	28,39484
		$m_{ст4/2}$	1,24	2,1	0,86			
		$m_{ст4/3}$	1,23	2,09	0,86			
5	40	$m_{ст5/1}$	1,25	2,11	0,86	0,014444	5,260	28,61474
		$m_{ст5/2}$	1,24	2,11	0,87			
		$m_{ст5/3}$	1,25	2,12	0,87			
6	50	$m_{ст6/1}$	1,26	2,14	0,88	0,014500	5,670	28,72568
		$m_{ст6/2}$	1,25	2,12	0,87			
		$m_{ст6/3}$	1,25	2,11	0,86			
7	60	$m_{ст7/1}$	1,19	2,05	0,86	0,014500	5,670	28,72568
		$m_{ст7/2}$	1,19	2,05	0,86			
		$m_{ст7/3}$	1,21	2,1	0,89			
8	90	$m_{ст8/1}$	1,35	2,25	0,9	0,014667	6,885	29,05652
		$m_{ст8/2}$	1,35	2,22	0,87			
		$m_{ст8/3}$	1,32	2,19	0,87			
9	120	$m_{ст9/1}$	1,35	2,22	0,87	0,014667	6,885	29,05652
		$m_{ст9/2}$	1,33	2,21	0,88			
		$m_{ст9/3}$	1,35	2,24	0,89			
10	600	$m_{ст10/1}$	1,21	2,08	0,87	0,014778	7,695	29,27642
		$m_{ст10/2}$	1,19	2,09	0,9			
		$m_{ст10/3}$	1,3	2,19	0,89			

4.1.3. Экспериментальные исследования плотности топлива

Для выявления изменений плотности ρ дизельного топлива ДТ ГОСТ 305-2013, до и после обработки его в устройство для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1), был проведён эксперимент с использованием ареометра АНТ-2.

Необработанное дизельное топливо было помещено в колбу для проведения измерений плотности. Затем в колбу был погружён ареометр АНТ-2 (рисунок 4.6).

Рисунок 4.6 - Измерение плотности необработанного топлива

Плотность необработанного дизельного топлива составила 830 кг/м^3.

Согласно методике проведения эксперимента, дизельное топливо было помещено в камеру ультразвуковой обработки устройства и обработано на частоте 44 кГц и мощности 60 Вт в течение 30 с. Затем, обработанное топливо было помещено в колбу для проведения измерений плотности. В колбу был погружён ареометр АНТ-2. Плотность дизельного топлива, обработанного в устройстве для ультразвуковой обработки топлива в течение 30 с, составила 828 кг/м^3 (рисунок 4.7).

Рисунок 4.7 - Измерение плотности дизельного топлива после 30-ти секундной обработки

Далее, необработанное дизельное топливо было помещено в камеру ультразвуковой обработки устройства, где находилось при включённом устройстве 60 с. Затем, обработанное топливо было помещено в колбу для проведения измерений плотности. В колбу был погружён ареометр АНТ-2.

Плотность дизельного топлива, обработанного в устройстве в течение 60 с, составила 825 кг/м^3 (рисунок 4.8).

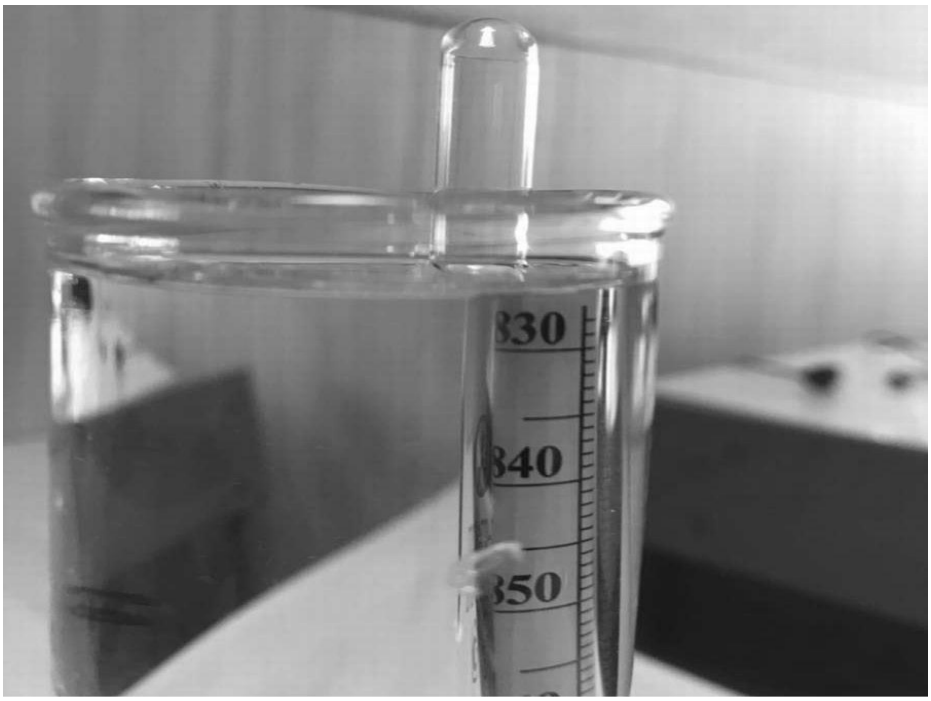


Рисунок 4.8 - Измерение плотности дизельного топлива после 60-ти секундной обработки

Проведённый эксперимент позволил сделать вывод о снижении плотности дизельного топлива, обработанного в устройстве и наличии зависимости данной величины от времени нахождения топлива в камере ультразвуковой обработки устройства (рисунок 4.1).

По результатам экспериментов была построена зависимость плотности топлива от коэффициента поверхностного натяжения (рисунок 4.9), демонстрирующая подтверждение выдвинутых предположений по описанию физики процесса ультразвуковой обработки (рисунок 2.2, этап 4).

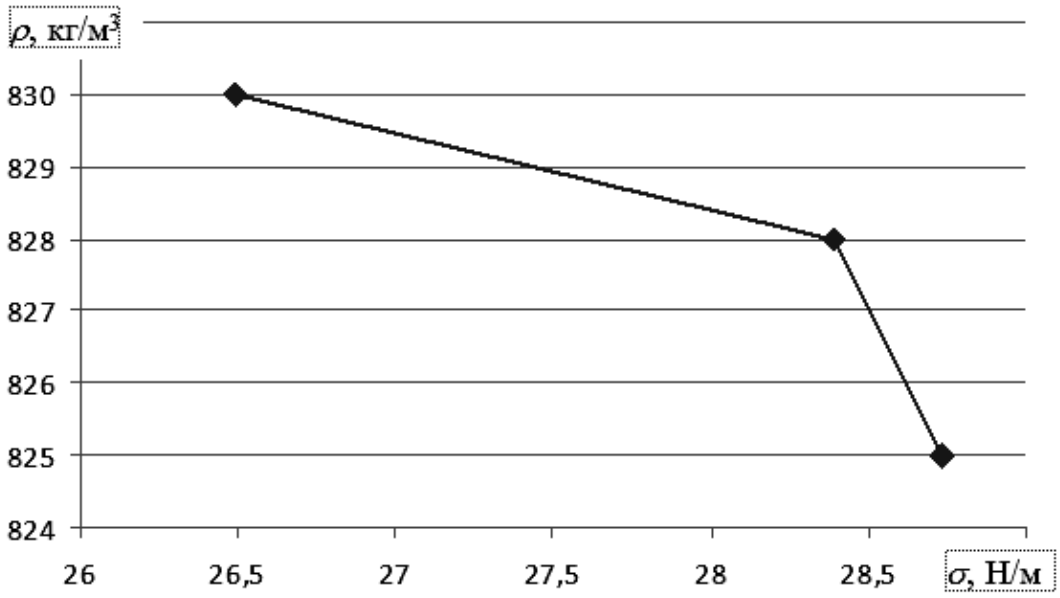


Рисунок 4.9 - Изменение коэффициента поверхностного натяжения при изменении плотности дизельного топлива

4.1.4. Экспериментальные исследования коэффициента светопропускания

Для исследования изменения прозрачности (светопропускания) дизельного топлива ДТ ГОСТ 305-2013 до и после обработки его в устройство для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1), был применён цифровой UV-VIS спектрофотометр PD-303UV.

Методика проведения эксперимента включали в себя два последовательных замера светопропускания дизельного топлива, до и после обработки его в устройстве.

Эксперимент проходил следующим образом. Спектрофотометр PD-303UV был включен и прогрет в течение 20 минут для стабилизации интенсивности свечения лампы и обеспечения точности показаний, согласно прилагаемому к прибору руководству пользователя [98].

Длина волны установлена на 546 нм. Проба необработанного дизельного топлива в 10 мл, отобранная с помощью дозатора (рисунок 4.10), была помещена

в стеклянную кювету и установлена в приёмное отделение спектрофотометра (рисунок 4.11).

Рисунок 4.10 - Дозатор лабораторный

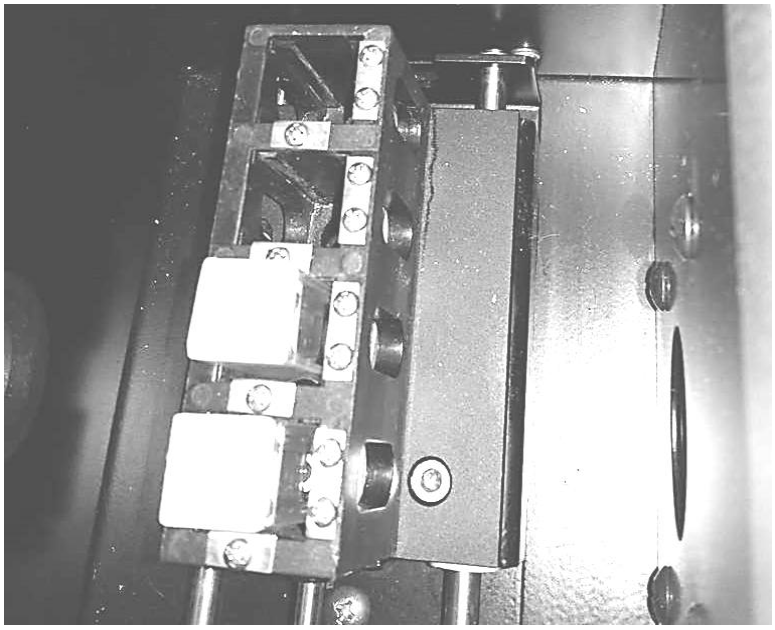
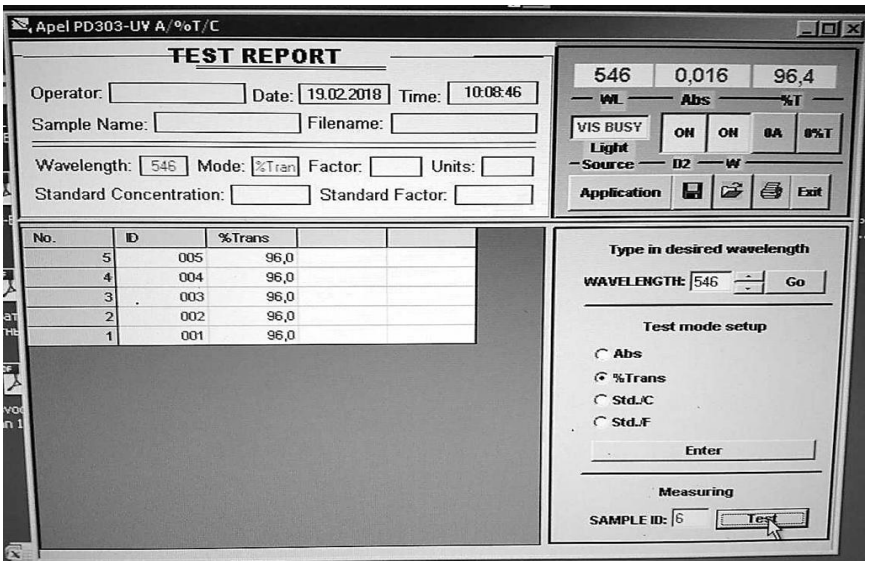
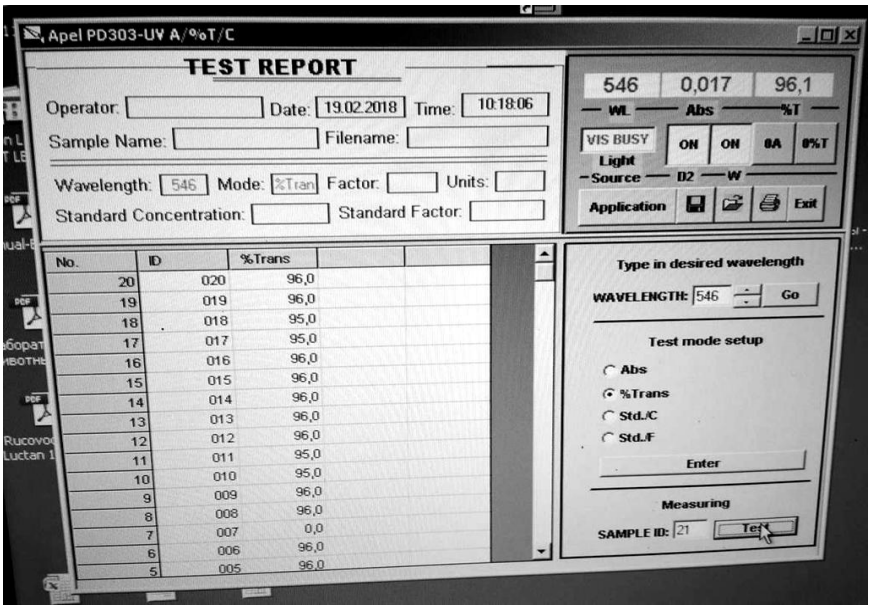


Рисунок 4.11 - Приёмное отделение спектрофотометра PD-303UV с установленной стеклянной кюветой

В результате произведённых измерений (рисунок 4.12) светопропускание составило 96%. Контрольная порция необработанного дизельного топлива (200 мл.) была помещена в камеру обработки устройства. Обработка топлива производилась в течение 60 с. После чего дозатором (рисунок 4.11) была отобрана проба 10 мл обработанного топлива, помещена в стеклянную кювету и установлена в приёмное отделение спектрофотометра. В результате произведённых измерений светопропускание составило 96% (рисунок 4.12).



а



б

Рисунок 4.12 - Результаты измерений светопропускания дизельного топлива, обработанного в устройстве ультразвуковой обработки топлива: а - до обработки; б – после обработки

Таким образом, проведённый эксперимент позволил сделать вывод об отсутствии изменений в светопропускании дизельного топлива после обработки его в устройстве, в частности эмульгирования.

4.2. Экспериментальные исследования характеристик впрыска топлива

Для наблюдения за возможными изменениями показателей впрыска дизельного топлива ДТ ГОСТ 305-2013, обработанного в устройстве для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1), был использован лабораторный стенд с форсункой (рисунок 3.11).

Методика проведения эксперимента включала в себя сравнение показателей распыла дизельного топлива до и после обработки его в устройстве.

Эксперимент проходил следующим образом.

Предварительно было установлено необходимое давление открытия форсунки. В ёмкость для испытуемого топлива было залито необработанное дизельное топливо, после чего давление открытия форсунки было отрегулировано на 170 кг/см^2 (рисунок 4.13).

Рисунок 4.13 – Манометр установки

Далее, был проведён контрольный распыл необработанного топлива на расположенную под форсункой бумагу масштабную для определения площади поверхности, покрываемой факелом распыла форсунки.

Затем, при помощи секундомера, изучались показатели увеличения площади распыла и впитываемости необработанного топлива в волокна масштабной бумаги, в зависимости от времени нахождения топлива на бумаге.

Кратность измерения показателей впитываемости составляла 5, 10, 20, 30, 40, 50 и 60 с.

Далее, в камеру обработки устройства ультразвуковой обработки топлива была помещена контрольная порция необработанного дизельного топлива ДТ ГОСТ 305-2013 (200 мл).

Обработка топлива [96] производилась в течение 60 с, после чего топливо было извлечено из камеры обработки и помещено в ёмкость для испытуемого топлива лабораторного стенда с форсункой (рисунок 3.12).

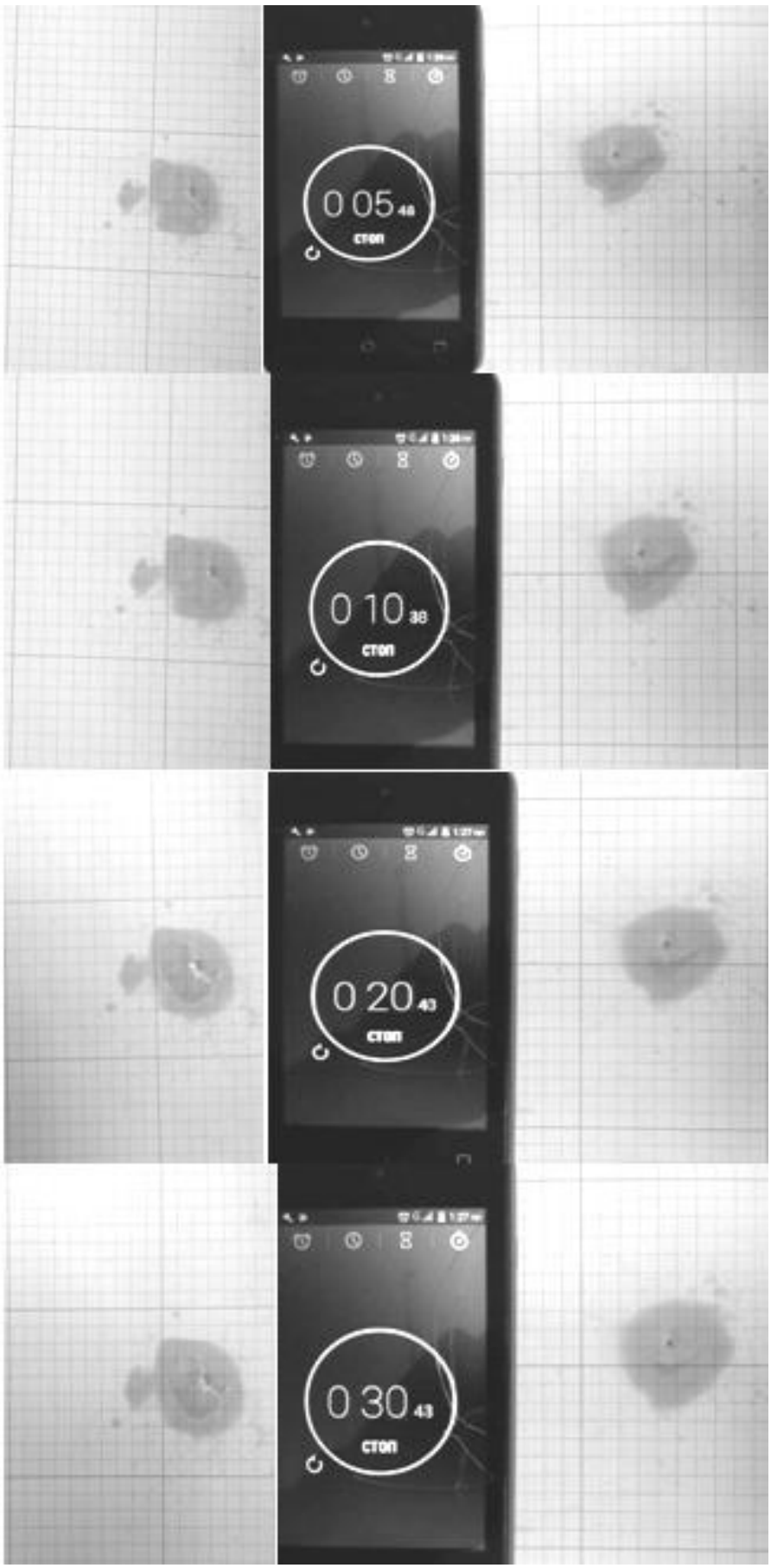
Был проведён контрольный распыл обработанного в устройстве топлива на расположенную под форсункой бумагу масштабную для определения площади поверхности, покрываемой факелом распыла форсунки.

При помощи секундомера, изучались показатели увеличения площади и дальнейшая впитываемость обработанного топлива в волокна масштабной бумаги, в зависимости от времени нахождения обработанного топлива на бумаге.

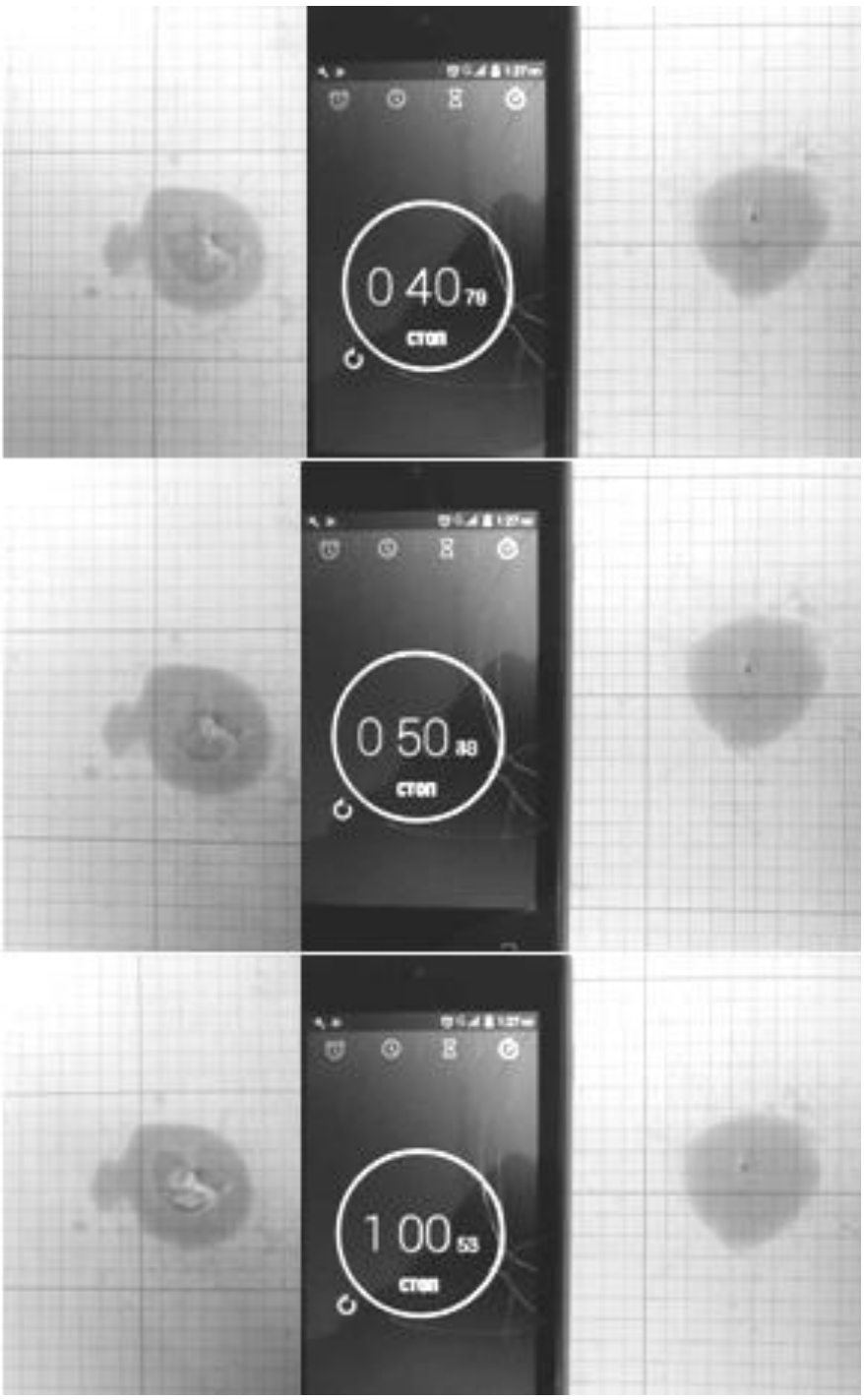
Кратность измерения показателей впитываемости составляла 5, 10, 20, 30, 40, 50 и 60 с.

Сравнение показателей увеличения площади впитываемости распылённого топлива приведены ниже (рисунок 4.14).

В левой части расположены результаты эксперимента, относящиеся к необработанному топливу, в правой - к обработанному в устройстве обработанному в устройстве ультразвуковой обработки.



а



б

Рисунок 4.14 - Увеличение площади смачиваемой поверхности по времени необработанным (слева) и обработанным (справа) топливом: а - 5 - 30 с, б - 40 - 60 с

На фотографиях, сделанных сразу же после распыла топлива форсункой на масштабную бумагу (рисунок 4.14), хорошо видно, что обработанное топливо меньше «разбрызгивается» и оставляет более правильный по геометрической форме след.

Спустя 40 с после распыла топлива форсункой на масштабную бумагу хорошо заметно, что обработанное топливо распространяется по бумаге медленнее, чем не обработанное, что позволяет предположить меньшую по сравнению с необработанным топливом дозу впрыска.

После 60 секунд наблюдения при сравнении увеличения площади смачиваемой поверхности (рисунок 4.15) становится заметно, что площадь смачиваемости бумаги в случае с необработанным топливом выше, чем с обработанным.

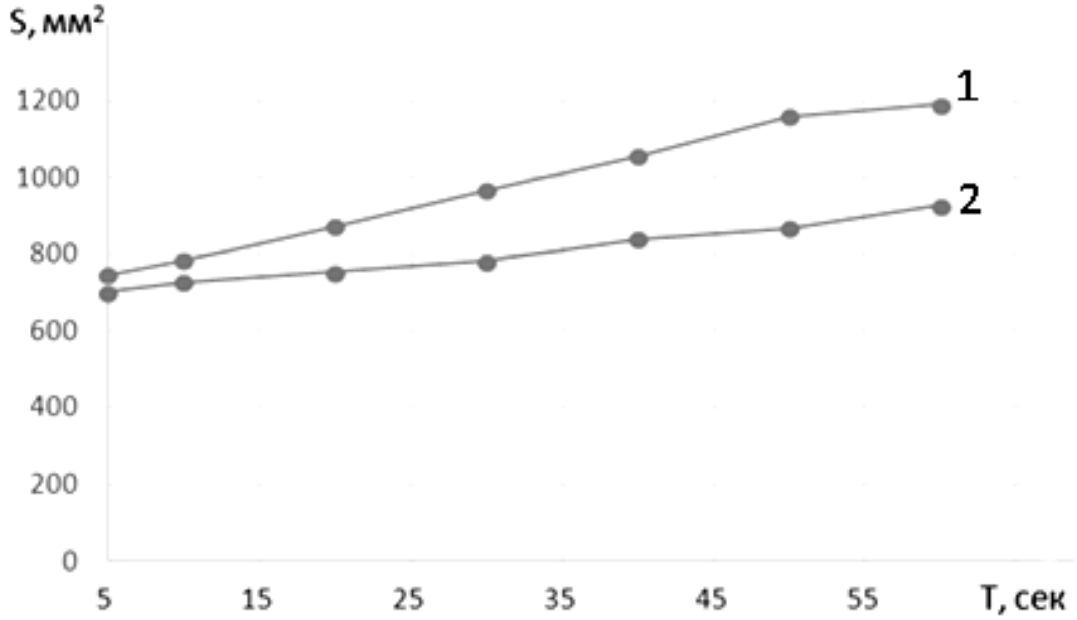


Рисунок 4.15 - Сравнение увеличения площади смачиваемой поверхности по времени необработанным и обработанным топливом: 1 - необработанное топливо; 2 - обработанное топливо

У образца с необработанным топливом бумага в месте попадания впрыска топлива достаточно хорошо намокла и начинает немного «расползаться». В случае же с обработанным топливом, подобного не наблюдается и даже более того, бумага начала показывать начальные признаки высыхания, что говорит о меньшей дозировке впрыска.

Также прослеживается неравномерность между распределением необработанного и обработанного топлива при смачивании бумаги. Данная

зависимость была определена в результате «метода наложения круга» (рисунок 4.16).

Рисунок 4.16 - Определение неравномерности при увеличении площади смачиваемой поверхности по времени необработанным (слева) и обработанным (справа) топливом методом наложения круга

На используемые для изучения показателей увеличения площади впитываемости топлива в волокна масштабной бумаги образцы, был наложен контрольный круг диаметром 20 мм (рисунок 4.16). Произведён подсчёт смачиваемой вне контрольного круга площади в зависимости от времени нахождения топлива на бумаге. Площадь образца, смачиваемого необработанным топливом, заметно больше площади образца, смачиваемого обработанным топливом (рисунок 4.17), что позволяет сделать вывод о более высоком качестве распыления - без разбрызгивания или «струйного выливания» топлива.

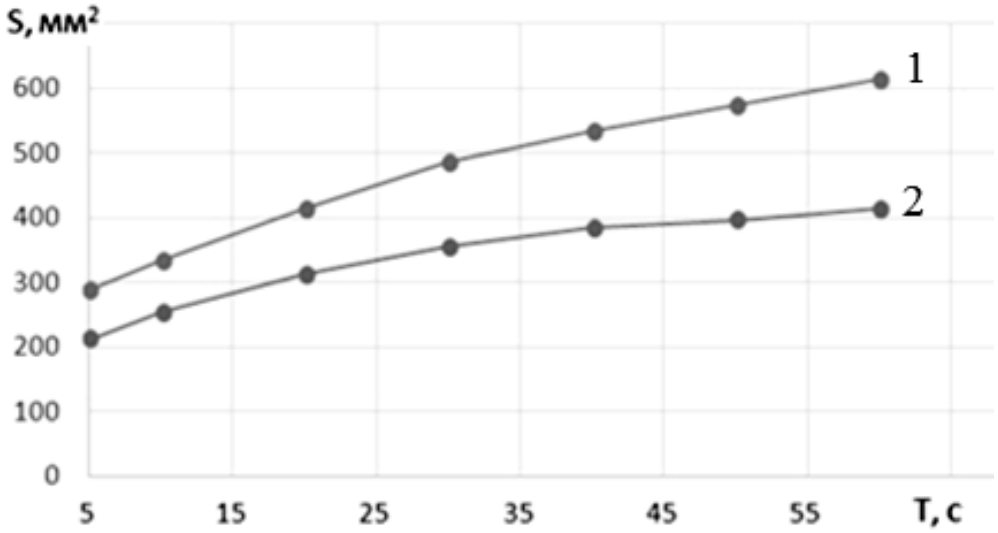


Рисунок 4.17 - Неравномерность площади смачиваемой поверхности:
1 - необработанное топливо; 2 - обработанное топливо

Таким образом, в случае распыла топлива, обработанного в устройстве ультразвуковой обработки топлива, факел распыла форсунки имеет более «узкую» форму (рисунок 4.18) без крупнокапельного и струйного разбрызгивания, что способствует улучшению качества приготовления топливовоздушной смеси в камере сгорания двигателя, а за счёт снижения объема впрыскиваемого топлива – снижает его расход во время эксплуатации.

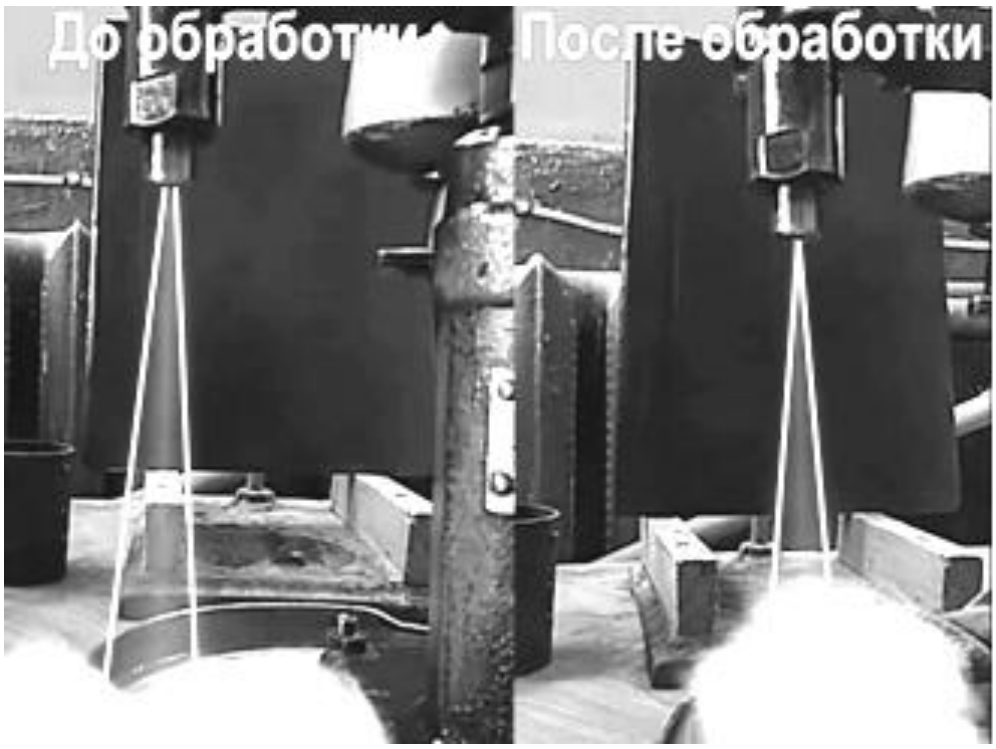


Рисунок 4.18 - Сравнение формы распыла порции топлива до и после обработки его в устройстве ультразвуковой обработки топлива.

4.3. Экспериментальные исследования воспламеняемости топлива

Для определения наличия изменений цетанового числа дизельного топлива ДТ ГОСТ 305-2013 после его обработки в устройстве для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1), был проведён эксперимент с применением установки ИДТ-90.

Методика проведения эксперимента соответствует ГОСТ 32508-2013 «Топлива дизельные. Определение цетанового числа» [23].

Перед началом эксперимента согласно инструкции по эксплуатации ИТД-90 были проверены все необходимые для его проведения настройки и рабочие параметры, а именно:

- зазоры в клапанах (для всасывающего клапана - 0,20 мм, для выхлопного клапана - 0,25 мм.);

- фазы газораспределения в градусах поворота коленчатого вала (начало открытия всасывающего клапана - 10° ±2° после ВМТ, конец закрытия всасывающего клапана - 34° ± 2° после НМТ, начало открытия выхлопного

клапана - 40° ± 2° до НМТ, конец закрытия выхлопного клапана - 15° ±2° после ВМТ, перекрытие клапанов - 5° ± 2°) согласно диаграмме газораспределения (рисунок 4.20).

Двигатель включен и прогрет в течение 1 часа, проведена проверка рабочих характеристик на контрольных топливах [91].

Все рабочие режимы прогретого двигателя, работающего на стандартном дизельном топливе, находились в норме.

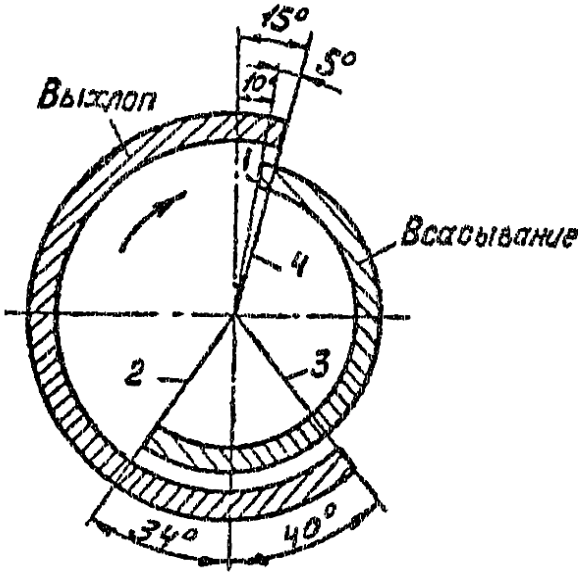


Рисунок 4.19 - Диаграмма газораспределения ИТД-90 (1-открытие всасывающего клапана; 2-закрытие всасывающего клапана; 3-открытие выхлопного клапана; 4-закрытие выхлопного клапана)

В пустой топливный бак №1 залито необработанное дизельное топливо, топливная бюретка, промыта, удалён весь воздух из топливопровода, ведущего к насосу, топливный кран установлен в позицию, соответствующую работе двигателя на данном топливе.

Проверен расход топлива и отрегулирован топливный насос микрометром так, чтобы получить расход, равный 13 см^3/мин. Окончательно измерен расход за полный период (60 ± 1) с.

После установки расхода топлива отрегулирован угол опережения впрыска так, чтобы получить значение опережения впрыска, равное (13,0 ± 0,2)°.

Установлен ручной маховик механизма изменения степени сжатия так, чтобы получить значение угла задержки воспламенения (13,0 ± 0,2)°.

Проведена окончательная регулировка ручного маховика в направлении по часовой стрелке (глядя на двигатель спереди) для устранения люфта в механизме изменения степени сжатия и исключения потенциальной ошибки.

Достигнута стабильность показаний.

В пустой топливный бак №2 залито дизельное топливо после его обработки в устройстве в течение 600 с, топливная бюретка, промыта удалён весь воздух из топливопровода, ведущего к насосу, топливный кран установлен в позицию, соответствующую работе двигателя на данном топливе.

Проверен расход топлива и отрегулирован топливный насос микрометром так, чтобы получить расход, равный 13 см^3/мин.

Окончательно измерен расход за полный период (60 ± 1) с.

После установки расхода топлива отрегулирован угол опережения впрыска так, чтобы получить значение опережения впрыска, равное (13,0 ± 0,2)°.

Установлен ручной маховик механизма изменения степени сжатия так, чтобы получить значение угла задержки воспламенения (13,0 ± 0,2)°.

Проведена окончательная регулировка ручного маховика в направлении по часовой стрелке (глядя на двигатель спереди) для устранения люфта в механизме изменения степени сжатия и исключения потенциальной ошибки.

Достигнута стабильность показаний.

Далее, по формуле [97]

$$CN_s = CN_{LRF} + \left(\frac{HW_S - HW_{LRF}}{HW_{HRF} - HW_{LRF}}\right) \cdot (CN_{HRF} - CN_{LRF}) , \qquad (4.1)$$

где CN_{LRF}- цетановое число низкоцетанового эталонного топлива;

HW_S- показание маховика для образца;

HW_{LRF} - показание маховика для низкоцетанового эталонного топлива;

HW_{HRF}- показание маховика для высокоцетанового эталонного топлива;

CCN_{HRF}- цетановое число высокоцетанового эталонного топлива,

произведено вычисление цетанового числа CNs, которое для обоих образцов составило 51,4 единицы (таблица 4.4).

Таким образом, проведённый эксперимент позволил сделать вывод, что после обработке дизельного топлива в устройстве, цетановое число не изменяется.

Таблица 4.4 - Результаты эксперимента

			Мощность излучателя, Вт			Мощность излучателя, Вт	Разница CNs между обработанным и необработанным топливом, ед.
	Время включения устройства	10:00	60	Время выключения устройства	10:10	0	
	Время выключения устройства	10:10	60	Время окончания	10:20	0	
Цетановое число CNs, ед.			51,4			51,4	0
	Время включения устройства	11:00	30	Время выключения устройства	11:10	0	
	Время выключения устройства	11:10	30	Время окончания	11:20	0	
Цетановое число CNs, ед.			51,4			51,4	0

4.4. Экспериментальные исследования оценки времени обработки топлива

Так как опытный образец камеры ультразвуковой обработки устройства для ультразвуковой обработки топлива предусматривает возможность различных вариантов подачи топлива в камеру устройства для ультразвуковой обработки топлива, были опробованы три варианта [73].

Эксперимент по оценке времени обработки дизельного топлива ДТ ГОСТ 305-2013 после его обработки в устройстве для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1) состоял в макетной визуализации процесса прохождения топлива через камеру ультразвуковой обработки, в зависимости от способа его подачи через различные штуцеры.

Первый вариант (рисунок 4.20) предусматривал подачу топлива через штуцер №9, выход обработанного в устройстве топлива осуществлялся через штуцер №1.

Рисунок 4.20 - Первый вариант подачи топлива в камеру ультразвуковой обработки топлива

Второй вариант (рисунок 4.21) предусматривал подачу топлива через штуцер №7, выход обработанного топлива осуществлялся через штуцер №1.

Рисунок 4.21- Второй вариант подачи топлива в камеру ультразвуковой обработки топлива

Третий вариант (рисунок 4.22) предусматривал подачу топлива через штуцер №2, выход обработанного топлива осуществлялся через штуцер №1.

Рисунок 4.22 - Третий вариант подачи топлива в камеру ультразвуковой обработки топлива

В зависимости от времени заполнения камеры ультразвуковой обработки топлива, время нахождения топлива в ней до выхода через штуцер №1 увеличивалось.

Так, время заполнения камеры ультразвуковой обработки топлива при первом варианте подачи топлива (рисунок 4.20) составило более 12 с, при втором - 9 с (рисунок 4.21), при третьем - 8 с (рисунок 4.22).

Учитывая, что при подаче топлива через штуцер №2 (рисунок 4.22)

дополнительно создавался эффект завихрения потока, обеспечивая циркуляцию топлива внутри камеры ультразвуковой обработки, в данном случае топливо находилось в камере ультразвуковой обработки топлива дольше, чем при подаче через штуцера №9 и №7.

Основываясь на полученных результатах, был проведён эксперимент по практической проверке изменения расхода дизельного топлива ДТ ГОСТ 305-2013 при работе на дизельном двигателе YANMAR 4TNV88-BGGE до и после обработки его в камере ультразвуковой обработки устройства для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1) в зависимости от способа подачи и времени нахождения в камере обработки топлива.

Выход обработанного топлива из камеры обработки в топливный насос двигателя для последующей его подачи в камеру сгорания на протяжении всего эксперимента осуществлялся через штуцер №1. Подача топлива в камеру обработки осуществлялась через штуцера № 9, 7 и 2. Кратность измерений в различных режимах подачи составляла 7 минут, количество контрольных сессий - 6.

Проведя анализ результатов эксперимента (таблица 4.5), можно сделать вывод о прямой зависимости повышения эффективности работы устройства при различных вариантах подачи топлива в камеру обработки.

Результаты эксперимента показывают, что эффективность работы устройства меняется в зависимости от времени нахождения топлива в камере обработки, которое напрямую зависит от способа его подачи.

Таким образом, результаты проведения эксперимента [74], составляющие следующие показатели:

- при подаче через штуцер №9 экономия топлива составила 3%;.
- при подаче через штуцер №7 экономия топлива составила 6%;
- при подаче через штуцер №2 экономия топлива составила 7,5%,

можно считать вполне объяснимыми.

Результаты эксперимента приведены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 - Результаты эксперимента

	Подключение к штуцерам (вход-выход), №			Масса контрольного резервуара, гр.			Масса контрольного резервуара, гр.	Разница масс между израсходованным обработанным и необработанным топливом, гр.	Разница масс между израсходованным обработанным и необработанным топливом, %.
	9 - 1	Время включения устройства	15:00	2484	Время выключения	15:07	2419		
	9 - 1	Время выключения устройства	15:07	2419	Время окончания сессии	15:14	2352		
Масса израсходованного топлива, гр.				65			67	2	3,0
	7 - 1	Время включения устройства	15:30	2546	Время выключения	15:37	2483		
	7 - 1	Время выключения устройства	15:37	2483	Время окончания сессии	15:44	2416		
Масса израсходованного топлива, гр.				63			67	4	6,0
	2 - 1	Время включения устройства	16:00	2612	Время выключения	16:07	2550		
	2 - 1	Время выключения устройства	16:07	2550	Время окончания сессии	16:14	2483		
Масса израсходованного топлива, гр.				62			67	5	7,5

4.5 Экспериментальные исследования оценки расхода топлива и мощности излучателя

Согласно общей методике исследований были проведены экспериментальные исследования по изменению расхода дизельного топлива ДТ ГОСТ 305-2013 при работе на дизельном двигателе YANMAR 4TNV88-BGGE до и после обработки его в устройстве для ультразвуковой обработки топлива [73]. Эксперимент учитывал предварительно полученные данные в ходе выполнения аналогичных испытаний [13, 19, 61, 84, 87, 92].

Для обработки топлива использовалось устройство для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1). Разница масс определялась на электронных весах SF-400 с размером платформы 145 мм, позволяющим разместить контрольный резервуар с топливом, 4-х разрядным цифровым дисплеем, пределом взвешивания в 7000 г и точностью измерений ±1 г.

Объектом эксперимента выступало топливо дизельное ДТ ГОСТ 305-2013, имеющее, согласно паспорту качества, следующие показатели:

- плотность, кг/м^3 - 840;
- цетановое число - 51,4;
- кинематическая вязкость при 20 С, мм^2/с (Сст) - 4,91;
- температура застывания, °С - минус 14;
- температура помутнения, °С - минус 7;
- коэффициент фильтруемости - 1,3;
- температура вспышки, °С - 79;
- массовая доля серы, % - 0,035;
- масса, кг - 3.

Конструкция камеры ультразвуковой обработки топлива устройства не препятствует свободному проходу топлива при выключенном устройстве, что позволяло двигателю часть времени работать с включенным устройством, часть - с выключенным. Определение расхода топлива производилось взвешиванием контрольного резервуара с дизельным топливом на весах в определённый отрезок

времени работы двигателя. Кратность измерений составляла 7 мин, количество контрольных сессий - 6. Эксперимент происходил следующим образом: после сборки установки для измерения массы израсходованного при работе двигателя топлива (рисунок 4.23), камера обработки устройства была установлена в разрыве топливопровода двигателя (рисунок 4.24), между контрольным резервуаром с дизельным топливом и топливным насосом высокого давления двигателя. К камере обработки электрическим кабелем подсоединён электронный блок управления устройством. Дизельное топливо находилось в контрольном резервуаре, установленном на электронных весах и, посредством разряжения, создаваемого топливным насосом двигателя, проходит через камеру обработки устройства для ультразвуковой обработки топлива.

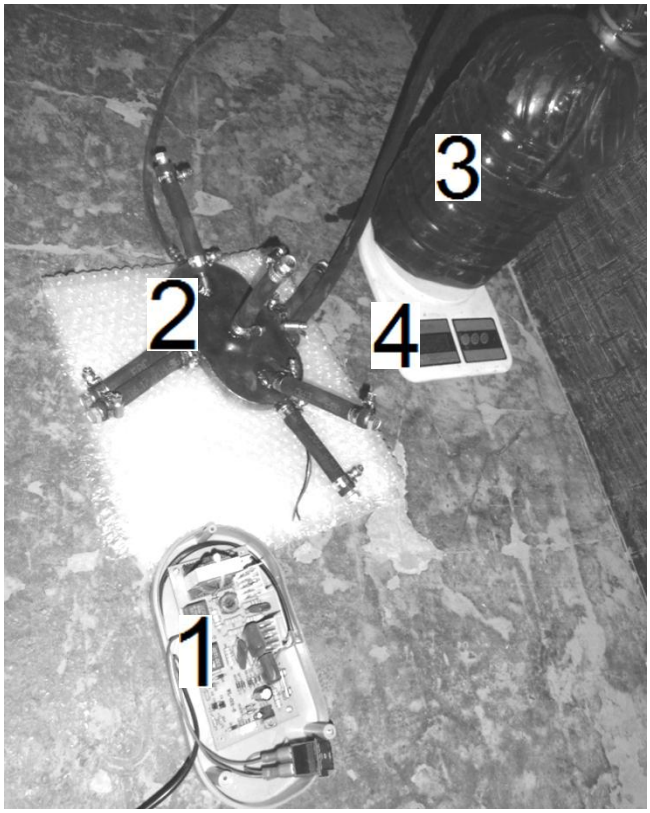


Рисунок 4.23 - Установка для измерения массы израсходованного топлива при работе двигателя: 1 - блок управления; 2 - камера обработки топлива; 3 -контрольный резервуар с топливом; 4 -весы электронные SF-400

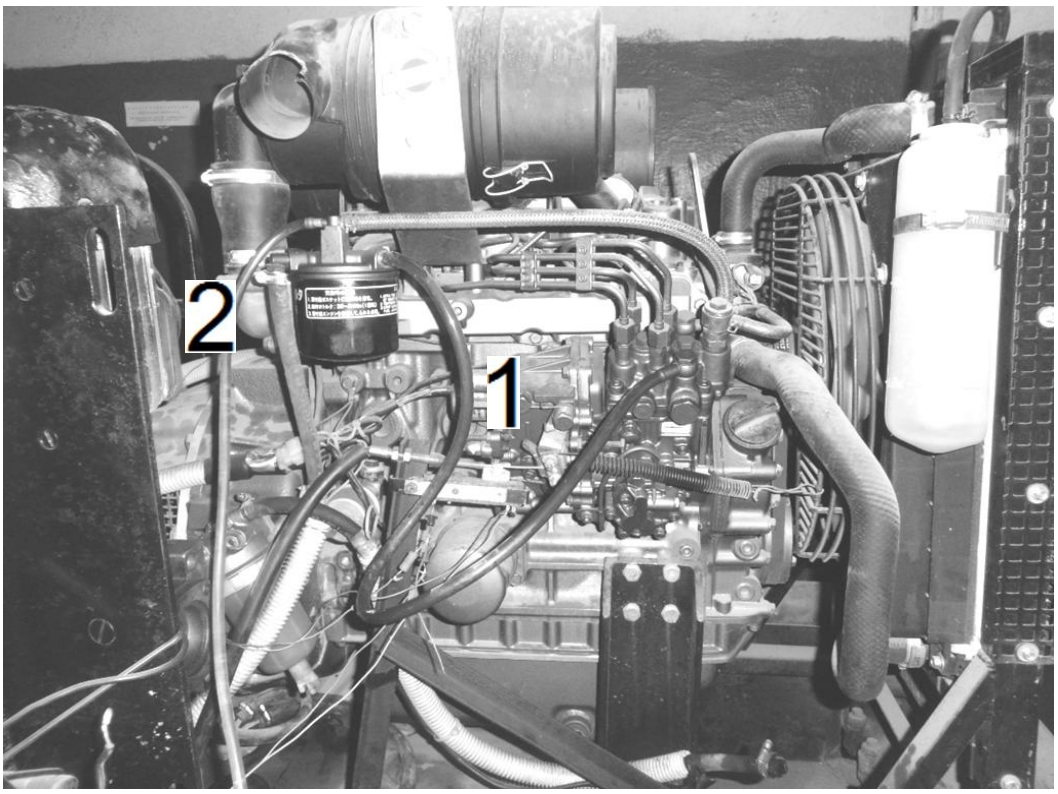


Рисунок 4.24 - Двигатель дизельный YANMAR 4TNV88-BGGE с подсоединённым к топливной системе устройством для ультразвуковой обработки топлива:
1 - двигатель; 2 -топливопровод с установленной на нём камерой обработки топлива

Двигатель был запущен и прогрет до рабочей температуры (t=80°C), установлена частота вращения коленчатого вала 900 об/мин.

Далее была проведена первая часть эксперимента - проверка изменения расхода дизельного топлива при работе на дизельном двигателе, до и после обработки его в устройстве, состоящая из шести последовательных сессий.

Вычисление разницы масс между израсходованным обработанным и необработанным топливом, производилось по формуле 3.10. Результаты приведены в таблице 4.6.

Проведённый эксперимент позволил сделать вывод о положительном результате в виде снижения расхода дизельного топлива при его обработке ультразвуком на величину 7,5…..9%.

Таблица 4.6 - Результаты эксперимента

			Масса контрольного резервуара, гр.			Масса контрольного резервуара, гр.	Разница масс между израсходованным обработанным и необработанным топливом, гр.	Разница масс между израсходованным обработанным и необработанным топливом, %.
	Время включения устройства	14:00	2612	Время выключения	14:07	2551		
	Время выключения устройства	14:07	2551	Время включения	14:14	2484		
Масса израсходованного топлива, гр.			61			67	6	9
	Время включения устройства	14:14	2484	Время выключения	14:21	2422		
	Время выключения устройства	14:21	2422	Время включения	14:28	2355		
Масса израсходованного топлива, гр.			62			67	5	7,5
	Время включения устройства	14:28	2355	Время выключения	14:35	2293		
	Время выключения устройства	14:35	2293	Окончание работы	14:42	2226		
Масса израсходованного топлива, гр.			62			67	5	7,5

Устройство для ультразвуковой обработки топлива имеет возможность работать в двух режимах - 30 Вт и 60 Вт, что производится простым однократным переключением клавиши выбранного мощностного режима. При проведении экспериментов по оценке расхода топлива, были проведены исследования по оценке мощности излучателя в обоих возможных режимах (таблица 4.7).

Таблица 4.7 - Результаты эксперимента

	Мощность включенного устройства, Вт		Масса контрольного резервуара, гр.	Мощность включенного устройства, Вт		Масса контрольного резервуара, гр.	Разница масс между режимами работы 30 и 60 Вт, гр.
	30	18:00	2758	60	18:07	2696	
	30	18:07	2696	60	18:14	2634	
Масса израсходованного топлива, гр.			62			62	0
	30	18:14	2634	60	18:21	2572	
	30	18:21	2572	60	18:28	2510	
Масса израсходованного топлива, гр.			62			62	0
	30	18:28	2510	60	18:35	2448	
	30	18:35	2448	60	18:42	2386	
Масса израсходованного топлива, гр.			62			62	0

Результаты проведения эксперимента оказались аналогичными для 30 Вт и 60 Вт - отличия в расходе топлива двигателем не выявлено.

4.6 Экспериментальные исследования экологических показателей

Для определения наличия изменений коэффициента избытка воздуха при работе дизельного двигателя Д-240 на топливе ДТ ГОСТ 305-2013 после его обработки в устройстве для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1) был

проведён эксперимент по выявлению наличия изменений в качестве рабочей смеси (приложение В) с применением газоанализатора МЕТА АВТОТЕСТ МП (рисунок 3.16).

На двигатель Д-240 (рисунок 4.25), в разрыв топливопровода, перед ТНВД, была установлена камера ультразвуковой обработки устройства (рисунок 4.26).

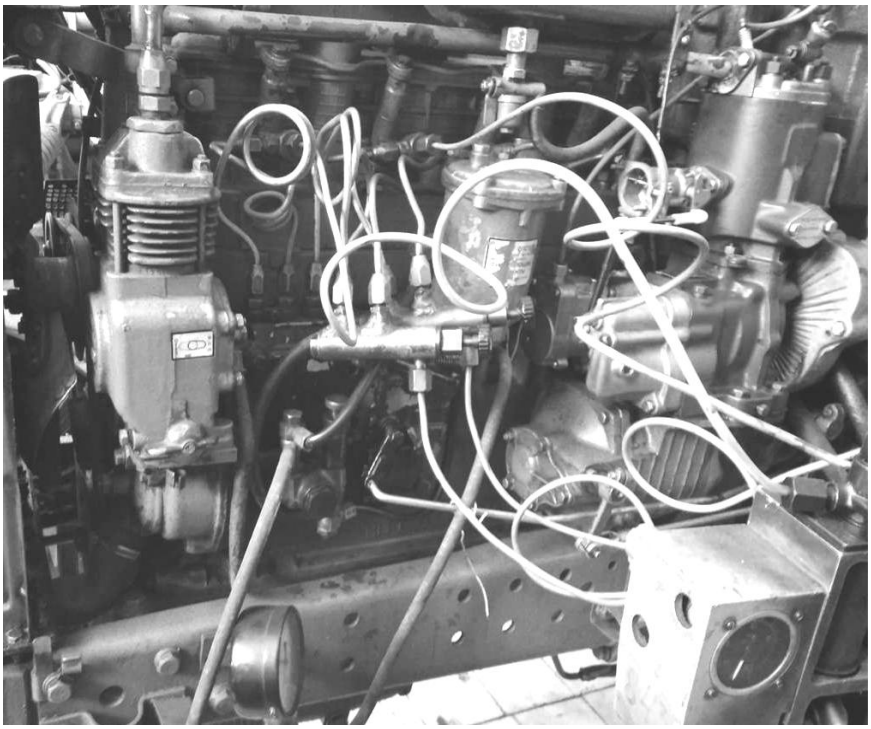


Рисунок 4.25 - Двигатель Д-240

Рисунок 4.26 - Камера ультразвуковой обработки топлива в топливопроводе двигателя Д-240

Двигатель был запущен и прогрет до рабочей температуры, установлена частота вращения коленчатого вала 900 об/мин. В выхлопную трубу двигателя помещён пробозаборный зонд газоанализатора МЕТА АВТОТЕСТ МП. После снятия показаний, для необработанного топлива ДТ ГОСТ 305-2013 качество смеси составило 22,4:1 (рисунок 4.27).

Рисунок 4.27 - Определение качества смеси для необработанного топлива

Далее, было включено устройство для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1). После 60 с работы двигателя были сняты показания качества смеси, которые составили 25,7:1 (рисунок 4.28).

Рисунок 4.28 - Определение качества смеси для обработанного топлива

Далее, по формуле

$$\alpha = V_{\text{вд}}/V_{\text{вО}}, \tag{4.2}$$

где α- коэффициент избытка воздуха,

$V_{вд}$ - действительный объём подаваемого воздуха,

$V_{вО}$ - теоретический объём воздуха, необходимый для сгорания 1 кг дизельного топлива, равный 14,5 кг,

получаем

α_1 =22,4/14,5 = 1,54 для необработанного топлива

α_2 = 25,7/14,5 = 1,77 для обработанного топлива.

Проведённый эксперимент позволил сделать вывод, что при работе на топливе, обработанном в устройстве ультразвуковой обработки топлива, коэффициента избытка воздуха α в отработавших газах увеличился с 1,54 до 1,77, то есть на 14,7%.

Оценка показателей дымности. Для определения наличия изменений показателей дымности отработавших газов, был проведён эксперимент с использованием измерителя дымности отработавших газов МЕТА - 01 МП (рисунок 4.30). Двигатель был запущен и прогрет до рабочей температуры, установлена частота вращения коленчатого вала 900 об/мин. В выхлопную трубу двигателя помещён пробозаборный зонд измерителя дымности отработавших газов МЕТА - 01 МП. После снятия показаний, получены следующие значения (рисунок 4.29):

Рисунок 4.29 - Показания для необработанного топлива

- коэффициент поглощения К составил 0,32 $м^{-1}$;

- коэффициент ослабления N составил 12,7%;

- массовая концентрация сажи (согласно таблице 3.3) составила 0,047 $г/м^3$

Далее, было включено устройство для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1). После 60 с работы двигателя были повторно сняты показания тех же значений (рисунок 4.30):

Рисунок 4.30 - Показания для обработанного топлива

- коэффициент поглощения К составил 0,28 $м^{-1}$;

- коэффициент ослабления N составил 11,2%;

- массовая концентрация сажи (согласно таблице 3.3) составила 0,038 $г/м^3$

Таким образом, эксперимент показал снижение показателей дымности при работе дизельного двигателя на топливе, предварительно обработанном в устройстве (рисунок 4.1), а именно:

- коэффициент поглощения К - на 11%;

- коэффициент ослабления N - на 12%;

- массовая концентрация сажи - на 17%,

что свидетельствует об улучшении экологических характеристик двигателя, оборудованного устройством для ультразвуковой обработки топлива.

Выводы по четвёртой главе

1. Эксперимент по определению изменения динамической вязкости дизельного топлива показал его снижение после обработки топлива ультразвуком в течение 60 с при мощности излучателя 60 Вт и частоте 44 кГц на 0,07 Па·с (2%).

2. Эксперимент по определению изменения коэффициента поверхностного натяжения дизельного топлива был проведён двумя методами - отрыва кольца и капельным - и показал увеличение коэффициента поверхностного натяжения дизельного топлива после его обработки на мощности 60 Вт и частоте 44 кГц в зависимости от времени нахождения дизельного топлива в камере ультразвуковой обработки. Замеры производились с кратностью 10 с до достижении 1 минуты, затем - 1,5 минут, 2 минут и 10 минут. Основные изменения по увеличению коэффициента поверхностного натяжения произошли до 50-й секунды (увеличение с 26,49 Н/м до 28,73 Н/м, что составляет 8,5%). Дальнейшее увеличение с 28,73 Н/м до 29,28 Н/м (2,1%) зафиксировано при обработке в диапазоне 1…10 мин.

3. Эксперимент по определению изменения плотности дизельного топлива показал ее снижение с 830 кг/м^3 до 828 кг/м^3 через 30 с после обработки и до 825 кг/м^3 после 60 с обработки. Мощность ультразвукового излучателя составляла 60 Вт, частота - 44 кГц.

4. Эксперимент по определению коэффициента светопропускания дизельного топлива показал отсутствие изменений: необработанное топливо имеет коэффициент светопропускания 96%, после его обработки в течение 60 с при мощности ультразвукового излучателя 60 Вт и частоте 44 кГц коэффициент светопропускания остался на прежнем уровне - 96%.

5. Эксперименты по исследованию характеристик впрыска дизельного топлива показали, что после ультразвуковой обработки топлива при мощности 60 Вт и частоте 44 кГц в течение 60 с площадь пятна распыла для необработанного топлива больше площади пятна распыла, обработанного

ультразвуком топлива, на 28%, а неравномерность распыла топлива после его ультразвуковой обработки уменьшилась на 35%.

6. Эксперимент по определению цетанового числа CNs дизельного топлива показал отсутствие изменений значения: цетановое число необработанного топлива составляет 51,4 ед. и после его обработки в течение 60 с при мощности ультразвукового излучателя 60 Вт и частоте 44кГц цетановое число топлива также составило 51,4 ед.

7. Эксперимент по оценке времени полной обработки всего объёма поступающего в камеру обработки топлива показал, что меняется время его нахождения в ней в зависимости от варианта подачи топлива через штуцеры: время заполнения составляло 8 с, 9 с и 12 с для штуцеров 2, 7 и 9, соответственно.

8. Эксперимент по оценке расхода топлива дизельным двигателем YANMAR 4TNV88-BGGE при наилучшем варианте подачи топлива в камеру обработки составил 7,5…9%, при этом изменение мощности излучателя с 30 Вт до 60 Вт не привело к изменению расхода топлива.

9. Эксперимент по оценке экологических показателей продемонстрировал увеличение коэффициента избытка воздуха на 14,7% и снижение дымности на 17%.

5. Производственная проверка предложенных решений и оценка их экономической эффективности

5.1. Выбор параметров устройства и методик для расчета экономической эффективности

Основываясь на результатах испытаний устройства для ультразвуковой обработки топлива на дизельном двигателе YANMAR 4TNV88-BGGE [61], определим параметры для расчёта.

Дизельный двигатель YANMAR 4TNV88-BGGE имеет рабочий объём 2190 см^3 и мощность 29 л.с. при частоте вращения коленчатого вала 1800 об/мин. На режиме работы холостого хода в 900 об/мин двигатель, согласно результатам вышеуказанного эксперимента, потребляет 8,9 г или 10,7 мл дизельного топлива в минуту, что соответствует потреблению 531,5 г/ч или 642 мл/ч.

Максимальное возможное время нахождения дизельного топлива при данном режиме работы можно определить по формуле:

$$T = \frac{V}{S}, \tag{5.1}$$

где T - время нахождения топлива в камере ультразвуковой обработки, с;

V - объём камеры ультразвуковой обработки, мл;

S - скорость заполнения камеры ультразвуковой обработки, мл/мин.

При объёме камеры ультразвуковой обработки топлива в 200 мл расчет по (5.1) приводит к результату Т = 18 минут 42 секунды.

Рассматриваемые в диссертационной работе дизельные двигатели семейства Д-240/243/245 имеют рабочий объём 4750 см^3 и норму расхода топлива от 5,5 л/маш.час, что составляет 92 мл дизельного топлива в минуту. Согласно (5.1), время заполнения камеры ультразвуковой обработки топлива в этом случае составит 2 минуты 11 секунд. Учитывая, что для получения необходимого эффекта по энергонасыщению топлива, последнему вполне достаточно непрерывной обработки в 50 с (рисунок 4.10), так как основные изменения

коэффициента поверхностного натяжения (увеличение на 5,7%) происходят именно к этому времени (таблица 4.3), имеющегося объёма камеры ультразвуковой обработки топлива 200 мл достаточно для работы двигателя с расходом топлива до 13,75 л/маш.час.

Камера ультразвуковой обработки топлива имеет овальную форму, обеспечивающую при подаче в неё дизельного топлива дополнительный эффект завихрения.

Проведённый эксперимент по заполнению макета камеры ультразвуковой обработки [74] показал, что для смешивания вновь поступившего дизельного топлива с уже находящимся в камере ультразвуковой обработки, достаточно от 7 до 12 с (рисунки 4.21 - 4.23).

Принимая во внимание тот факт, что во время циркуляции дизельного топлива в камере ультразвуковой обработки топлива относительно небольшая часть его практически сразу же попадает через выходной штуцер в топливопровод двигателя, время его полной обработки будет несколько меньше вышеуказанного промежутка.

Таким образом, ёмкости камеры ультразвуковой обработки в 200 мл будет вполне достаточно как для применяемого в экспериментах дизельного двигателя YANMAR 4TNV88-BGGE, так и для наиболее распространённых в сельском хозяйстве Д-240/243/245 объёмом в 4750 см^3.

Экспериментальный образец устройства для ультразвуковой обработки топлива оснащён ультразвуковым излучателем с рабочей частотой 44 кГц и имеет возможность работать в двух режимах - 30 Вт и 60 Вт.

Проведённые эксперименты по изменению мощности излучателя во время работы устройства для ультразвуковой обработки топлива показали, что на дизельном двигателе YANMAR 4TNV88-BGGE эффективность работы устройства не меняется (таблица 4.7).

Однако, для повышения эффективности обработки топлива при высоких оборотах двигателя, а также для дизельных двигателей с бóльшим объемом, целесообразнее использовать мощность излучателя 60 Вт.

Таким образом, основными параметрами устройства для ультразвуковой обработки топлива являются:

- объём камеры ультразвуковой обработки топлива - 200 мл;
- рабочая частота ультразвукового излучателя - 44 кГц;
- мощность ультразвукового излучателя - 60 Вт.

Устройство для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1) состоит из двух частей: камеры ультразвуковой обработки и блока управления устройством, смонтированном в отдельном корпусе и соединённых между собой электрическим кабелем.

Для изготовления камеры ультразвуковой обработки используется холоднокатаный лист из коррозионно-стойкой стали толщиной 1,5 миллиметра без дополнительной обработки поверхности марки AISI 430 (08Х17, 12Х17).

На днище камеры ультразвуковой обработки топлива закреплён ультразвуковой излучатель (рисунок 5.1).

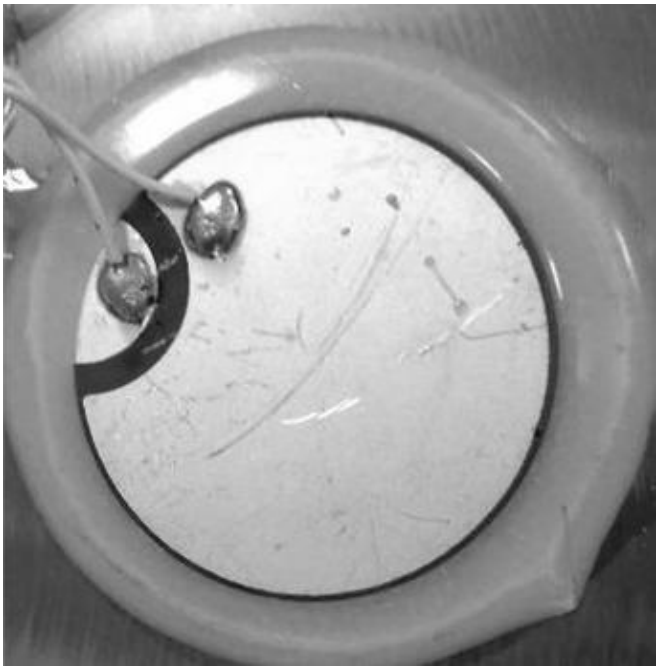


Рисунок 5.1 - Ультразвуковой излучатель 44 кГц, 60 Вт

Корпус блока управления экспериментального образца устройства для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 5.2) изготовлен из прозрачного пластика ПВХ толщиной 3 мм.

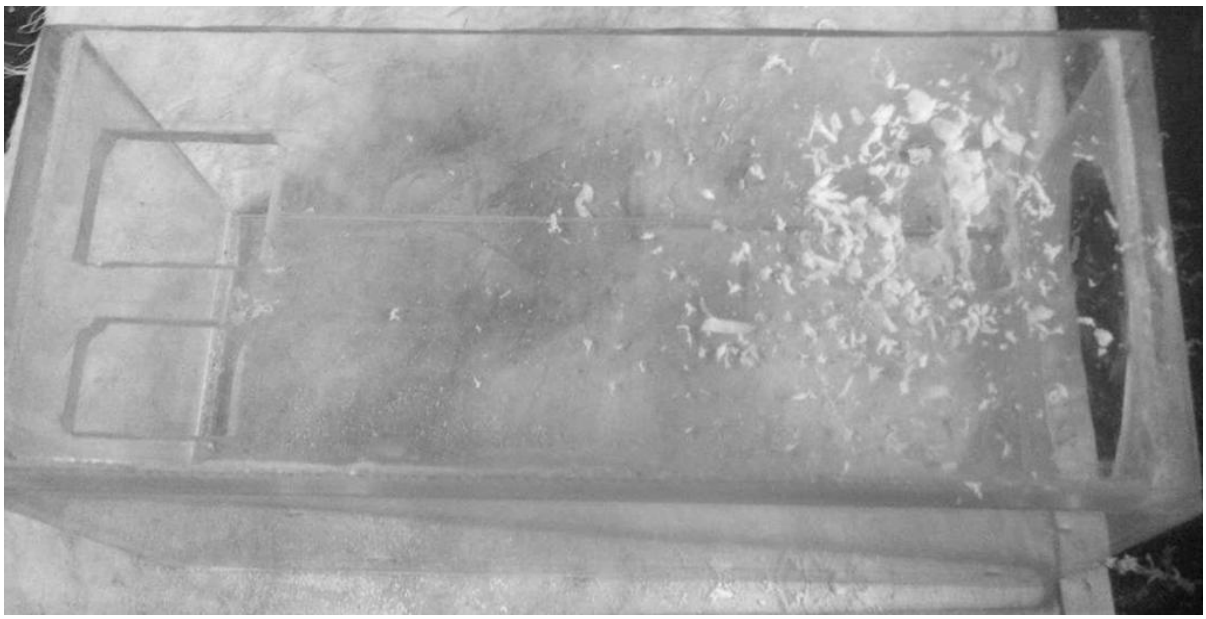


Рисунок 5.2 - Корпус блока управления

Для предотвращения перегрева деталей блока управления, в корпусе предусмотрена установка вентилятора охлаждения (рисунок 5.3).

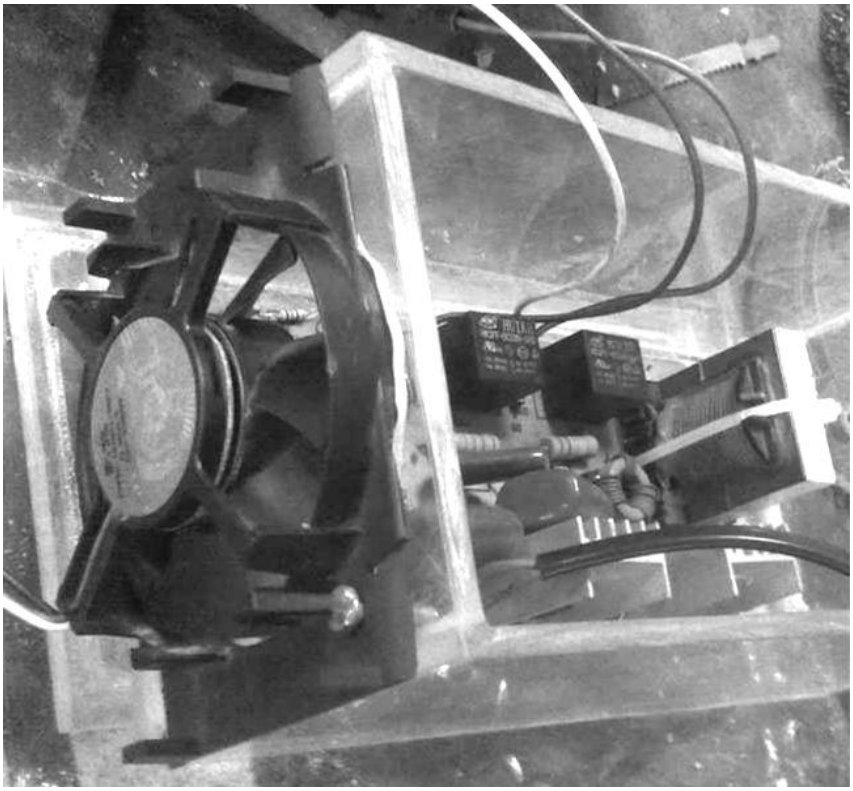


Рисунок 5.3 - Вентилятор охлаждения блока управления

Принципиальная электрическая схема блока управления представлена на рисунке 5.4.

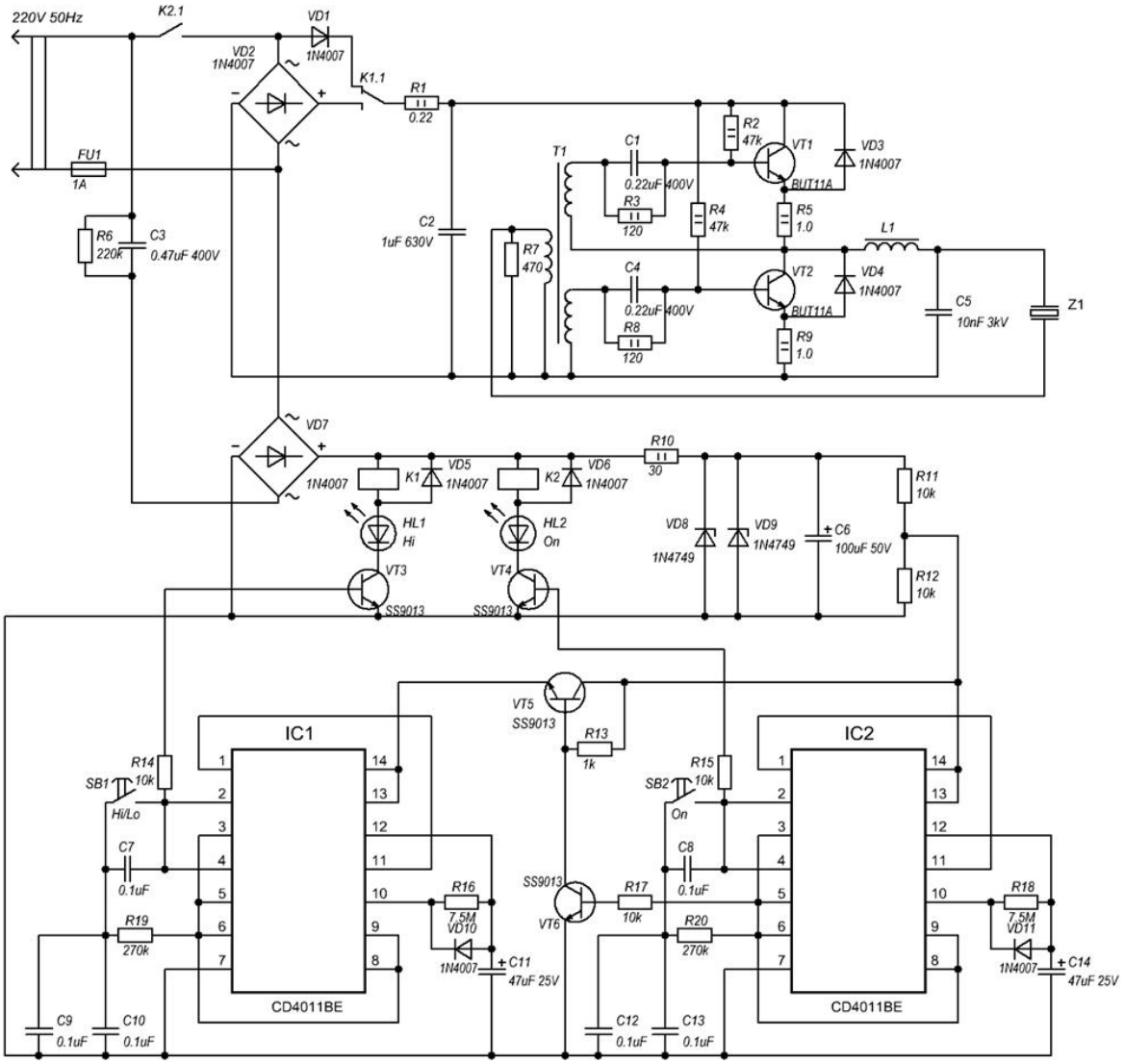


Рисунок 5.4 - Принципиальная электрическая схема блока управления

Рабочее напряжение опытного образца устройства для ультразвуковой обработки топлива составляет 220 В. Бортовые сети автомобилей, тракторов и другой сельскохозяйственной техники могут иметь различное бортовое напряжение - как 24 В, так и 12 В, поэтому при установке данного устройства в сельскохозяйственную технику, в зависимости от напряжения бортовой сети, используется автомобильный инвертор напряжения, с 12 В либо 24 В на 220 В, мощностью от 100 Вт.

Конструктивно-технологическая схема измененной системы питания дизельного двигателя семейства Д-240 с применением устройства ультразвуковой обработки топлива представлена на рисунке 5.5. Часть топлива при работе двигателя через фильтр тонкой очисти [26, 81] возвращается в топливный бак, благодаря чему появляется эффект аккумулирования обработанного топлива.

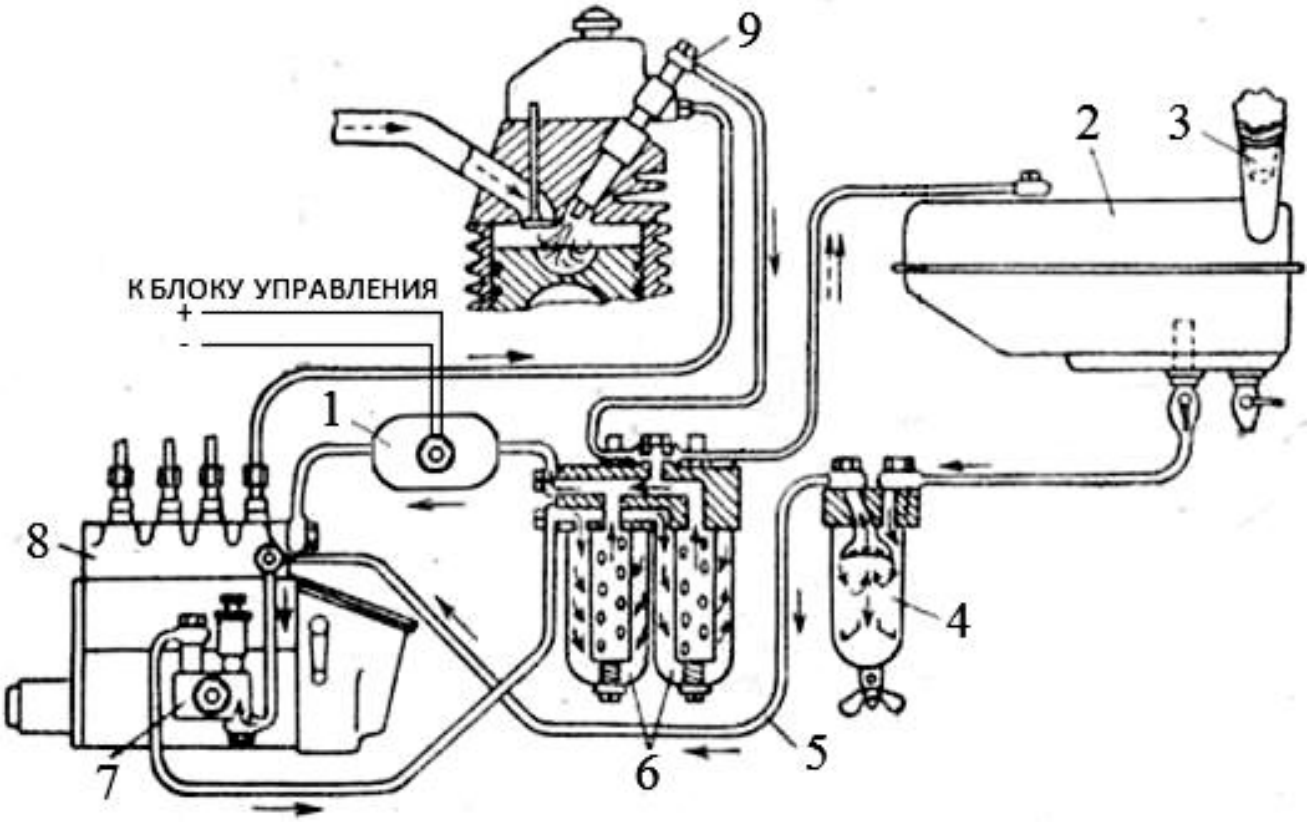


Рисунок 5.5 - Конструктивно-технологическая схема измененной системы питания дизельного двигателя с применением устройства для ультразвуковой обработки топлива: 1 - камера ультразвуковой обработки топлива, 2 - топливный бак, 3 - заливная горловина, 4 - фильтр грубой очистки, 5 - топливопровод, 6 - фильтр тонкой очистки, 7 - подкачивающий насос,
8 - ТНВД, 9 - форсунка

Затраты на изготовление устройства для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1) и его установку представлены в таблице 5.1.

Затраты на модернизацию определялись по формуле:

$$Зм = Зод + Зпд + Зпр + Зоп, \quad (5.2)$$

где Зод - работы по изготовлению оригинальных деталей камеры ультразвуковой обработки топлива, руб;

$З_{пд}$ - цена покупных деталей и материала для изготовления камеры ультразвуковой обработки топлива, руб;

$З_{пр}$ - фонд заработной платы производственных рабочих, занятых на работах по изготовлению устройства, руб;

$З_{оп}$ - общепроизводственные расходы по установке устройства для ультразвуковой обработки топлива в единицу сельскохозяйственной техники, руб.

Таблица 5.1 - Расчёт затрат на изготовление устройства для ультразвуковой обработки топлива

Наименование	Стоимость, руб
Материал для изготовления камеры ультразвуковой обработки топлива (листовой металл нерж. 0,5 $м^2$ + 2 штуцера с «нарезкой» 8 мм Нерж)	1 200
Ультразвуковой излучатель	1 000
Работы по изготовлению камеры ультразвуковой обработки топлива (раскрой, формовка, сварка 44 см шва по 200 р + вварка 2 штуцера по 500 р и пр.)	12 800
Материал для изготовления корпуса блока управления устройства ультразвуковой обработки топлива (пластик ПВХ 3 мм по 3000 р за лист)	600
Работы по изготовлению корпуса блока управления устройства ультразвуковой обработки топлива	1 400
Детали для блока управления устройства ультразвуковой обработки топлива	4 000
Работы по изготовлению электрической части блока управления устройства ультразвуковой обработки топлива и его окончательная сборка	8 000
Разъёмы, выключатели, кабели соединительные и пр. для блока управления устройства ультразвуковой обработки топлива	5 000
Инвертор автомобильный (12 или 24В на 220В от 100Вт)	6 000
Шланги, хомуты, переходники, кронштейны и пр. для установки устройства для ультразвуковой обработки топлива на единицу сельскохозяйственной техники	2 000
Работы по установке устройства для ультразвуковой обработки топлива в единицу сельскохозяйственной техники	4 000
Общая стоимость	46 000

Общая стоимость изготовления и установки одного устройства для ультразвуковой обработки топлива составляет 46 000 рублей.

5.2. Оценка экономической эффективности дизеля, укомплектованного устройством для энергонасыщения топлива

Для оценки экономической эффективности дизеля, укомплектованного устройством для энергонасыщения топлива, приняты данные, полученные в результате производственных испытаний результатов данной работы.

Производственные испытания устройства для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1) проводились на базе ИП Масягин С.А. (приложение Г).

Целью производственных испытаний было сравнение показателей расхода топлива серийной системы топливоподачи автомобиля МАЗ-4370 «Зубрёнок» с двигателем ММЗ Д-245.9-540, экологический класс Евро 1, 2003 года выпуска, государственный номер О454СУ 62 и системы топливоподачи, укомплектованной экспериментальным устройством для ультразвуковой обработки топлива (рисунок 4.1).

Технические характеристики дизельного двигателя ММЗ Д-245.9-540 указаны в приложении Д.

В данной модели автомобиля для непосредственного доступа к двигателю необходимо откидывать кабину водителя, поэтому для удобства контроля камера ультразвуковой обработки топлива была установлена в передней части автомобиля, под открывающимся капотом, с левой стороны (рисунок 5.6).

Такой вариант размещения позволяет не только повысить удобство использования при эксплуатации, но и безопасно хранить сельскохозяйственную технику в межсезонье, проводить плановые работы по диагностике и выявлению неисправностей [8, 14]. Топливоподача осуществлялась через топливные шланги с нитяным усилением, соответствующие требованиям ГОСТ 10362-76.

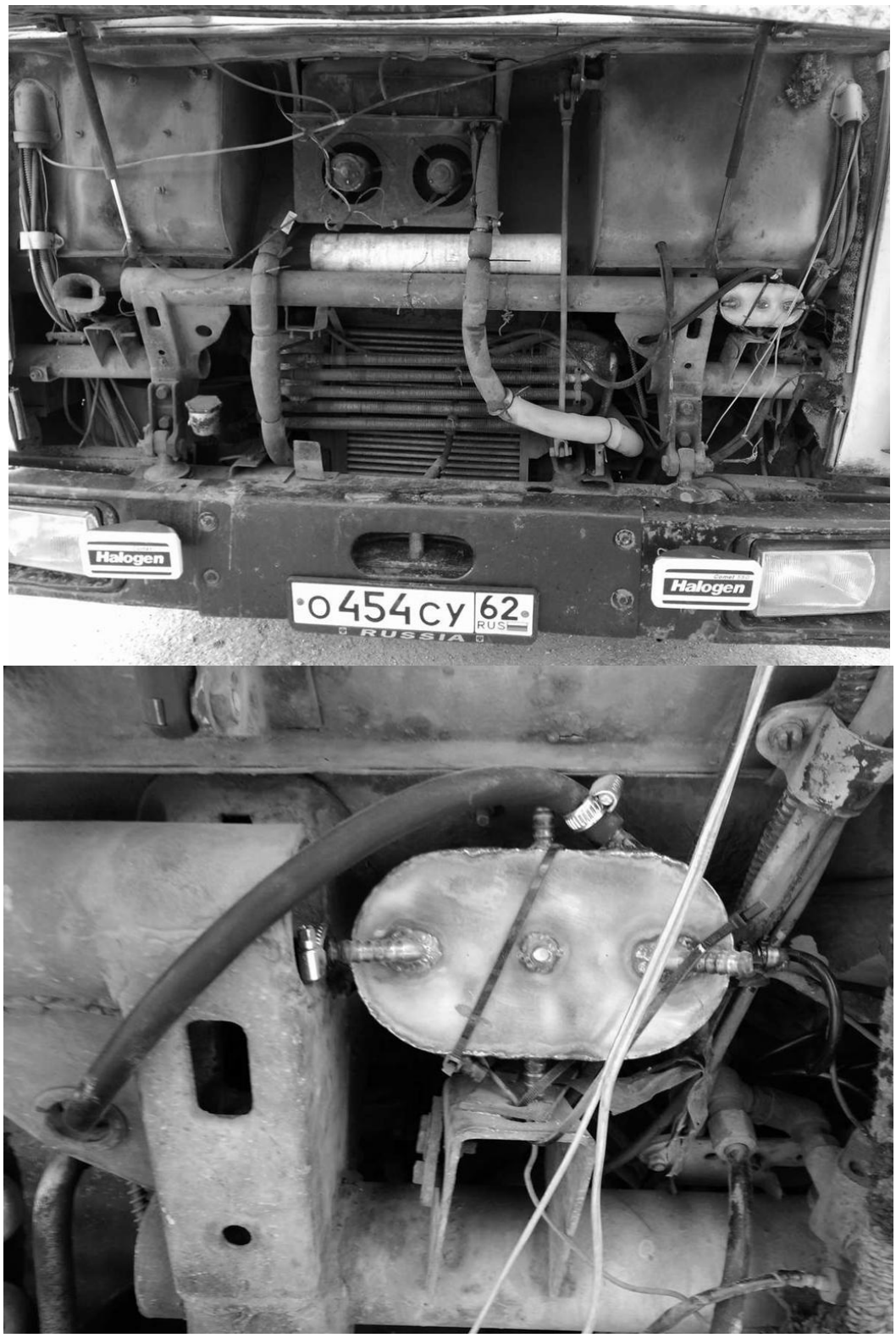


Рисунок 5.6 - Расположение камеры ультразвуковой обработки топлива под капотом автомобиля МАЗ-4370 «Зубрёнок»

Блок управления устройства ультразвуковой обработки топлива был установлен в кабине водителя, под откидывающейся вверх крышкой передней панели (рисунок 5.7), обеспечивая необходимые удобства пользователя и

оперативную возможность визуального контроля.

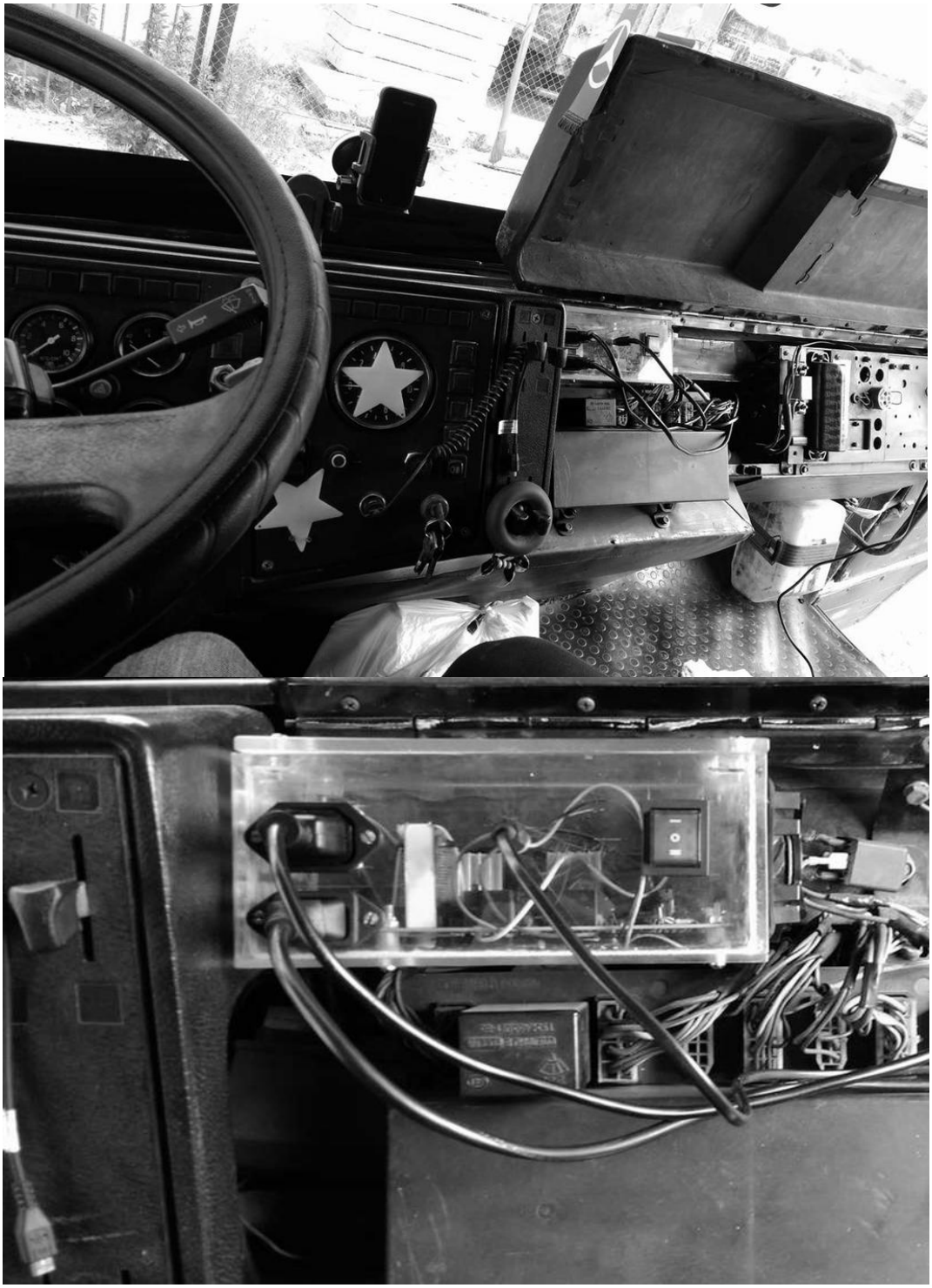


Рисунок 5.7 - Расположение блока управления камеры ультразвуковой обработки топлива в кабине водителя автомобиля МАЗ-4370 «Зубрёнок»

Сравнительные испытания проводились в течение 10 месяцев, в период с 02.08.2017 г. по 01.06.2018 г., пробег автомобиля за этот период составил 38 080 км, при этом половина этого пробега реализована со штатной системой

топливоподачи, а половина - с укомплектованной экспериментальным устройством для ультразвуковой обработки топлива.

В ходе проведения сравнительных испытаний установлено, что при эксплуатации автомобиля со штатной системой топливоподачи (устройство ультразвуковой обработки топлива выключено) израсходовано 4 379 л дизельного топлива, что составляет 23 л на 100 км.

При эксплуатации автомобиля с включенным устройством ультразвуковой обработки топлива было израсходовано 4 064 л дизельного топлива, что составляет 21,35 л на 100 км.

Таким образом, производственные испытания показали снижение расхода топлива у двигателя, система топливоподачи которого укомплектована экспериментальным устройством для ультразвуковой обработки топлива, на 7,2% по отношению к штатной системе топливоподачи.

Экономия топлива предоставила возможность ИП Масягину С.А. получить экономический эффект в размере 13 188 рублей за счет экономии топлива (за основу взята средняя цена топлива между 02.08.2017 г. и 01.06.2018 г.).

Для определения экономической эффективности устройства для ультразвуковой обработки топлива следует рассчитать величину эксплуатационных расходов, включающих также и амортизационные отчисления.

Амортизационные отчисления определяются по формуле

$$A_0 = \frac{C \cdot B}{100}, \tag{5.3}$$

где С - балансовая стоимость устройства, руб;

В - норма годовых амортизационных отчислений, %.

Устройство для ультразвуковой обработки топлива, согласно шифру 44024 «Генераторы высокочастотные», имеет годовую норму амортизационных отчислений в размере 12,5%.

Исходные данные для расчёта экономической эффективности представлены в таблице 5.2.

Таблица 5.2 - Экономическая эффективность применения устройства для ультразвуковой обработки топлива

№ п/п	Показатели	Устройство для ультразвуковой обработки топлива
1	Стоимость устройства с монтажем, руб	46 000
2	Амортизационные отчисления, руб	5 750
3	Расчётный годовой пробег автомобиля*, км	45 700
4	Величина уменьшения расхода топлива, л	754
5	Расчётная годовая экономия, руб**	32 799
6	Срок окупаемости, лет	1,23

* расчётный годовой пробег вычислен по показателям ежедневного пробега автомобиля МАЗ-4370 «Зубрёнок» за время производственных испытаний

** при стоимости дизельного топлива 43,5 руб на 12.06.2018 г

Расчетная годовая экономия при годовом пробеге автомобиля в 45 700 км за счет установки устройства для ультразвуковой обработки топлива на автомобиль МАЗ-4370 «Зубрёнок» с двигателем ММЗ Д-245.9-540 составляет 32 799 руб., срок окупаемости - 1,23 года (1 год и 3 месяца).

Выводы по пятой главе

1. Затраты на изготовление и установку устройства для ультразвуковой обработки топлива для типового дизельного двигателя (на примере Д-245.9-540), широко применяемого в агропромышленном комплексе, составили 46 000 рублей.

2. Модернизация штатной системы питания дизельного двигателя Д-245.9-540 автомобиля МАЗ-4370 «Зубрёнок» установкой устройства ультразвуковой обработки топлива позволила уменьшить расход топлива на 7,2%, с 23 л до 21,35 л дизельного топлива на 100 км.

3. При существующем в исследуемом хозяйстве пробеге в размере 45700 км в год, предприятие сможет экономить 32 799 рублей, а, следовательно, окупить затраты на модернизацию за 1 год 3 месяца. При условии более интенсивного использования автомобиля МАЗ-4370 «Зубрёнок», период окупаемости устройства ультразвуковой обработки топлива будет снижаться.

Заключение и предложения производству

В рамках проведения исследований и подготовки диссертационной работы достигнуты следующие результаты:

1. Проведённый анализ существующих методов воздействия на топливо, улучшающих эксплуатационные характеристики двигателей, показал, что прогнозируемое улучшение их показателей может быть достигнуто за счет совершенствования процессов топливоподготовки (топливообработки), позволяющих изменить физико-механические и/или химические характеристики, структуру и состав топлива. При этом, исследования, проведенные по деароматизации, ультразвуковой, электромагнитной и электростатической обработке, омагничиванию, эмульгированию, нагреву и охлаждению топлива носят несистематизированный характер - довольно часто просто констатируется улучшение различных параметров двигателей без объяснения физических основ происходящих процессов.

2. Изменены аналитические зависимости, связывающие коэффициент поверхностного натяжения топлива и критическую энергию, затрачиваемую на образование кавитационного пузырька, с объяснением эффектов охлаждения топлива и повышения эффективности его распыла, которые могут присутствовать на микроуровне, при этом установлено изменение коэффициента поверхностного натяжения топлива от времени его обработки ультразвуком. Уточнены уравнения, описывающие суммарное количество теплоты, затраченное на образование невзаимодействующих друг с другом вакуумных пузырьков при стационарной паровой кавитации в жидкости, а также отобранная от жидкости теплота для n-пузырьков, образующихся при ультразвуковой кавитации в дизельном топливе.

3. Проведенная оценка воздействия ультразвуковой обработки топлива на его основные характеристики, а также характеристики двигателя, показала следующее:

- коэффициент поверхностного натяжения топлива σ увеличивается с 26,49 Н/м до 29,27 Н/м (+10,6%, при этом до 50 секунды на +8,5% и, далее, до 600 секунды еще на +2,1%), динамическая вязкость η уменьшается с 3,52 Па·с до

3,45Па·с (-2%), а плотность ρ - с 830 кг/м^3 до 825 кг/м^3 (-0,6%);

- неравномерность распыла ΔS топлива форсункой снижается на 35%, при этом не изменяются коэффициент светопропускания (96%) и цетановое число CNs дизельного топлива (51,4 ед.);
- на экономию топлива двигателем (3…7,5%) влияет время нахождения топлива в зоне ультразвуковой обработки и не влияет мощность ультразвукового излучателя (в пределах 30…60 Вт), при этом обработка ультразвуком увеличивает коэффициент избытка воздуха с 1,54 до 1,77 (+14,7%) и снижает дымность с 0,047 г/м^3 до 0,038 г/м^3 (-17%).

4. Одна из разработанных конструктивно-технологических схем устройств для ультразвуковой обработки топлива запатентована (патент №2647355), а для второго варианта устройства, интегрированного в топливную систему двигателя Д-245.9-540 автомобиля МАЗ-4370 (камера ультразвуковой обработки топлива установлена в топливопроводе перед ТНВД, а блок управления устройством - в кабине автомобиля), проведены производственные испытания и оценена его экономическая эффективность. При этом затраты на изготовление и установку устройства составили 46000 руб, а модернизация штатной системы питания двигателя позволила уменьшить расход топлива на 7,2% (с 23 л до 21,35 л на 100 км) при пробеге автомобиля 19040 км. Расчётная годовая экономия составила 32799 руб, а срок окупаемости устройства - 1,23 года.

Предложения производству

Для снижения общих затрат и экономии топлива автотракторными дизельными двигателями, используемыми в АПК, рекомендуется установка на них устройства для ультразвуковой обработки топлива.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Необходимо продолжить работу по оптимизации конструктивных параметров устройства в зависимости от характеристик применяемых дизельных двигателей и условий эксплуатации мобильных сельскохозяйственных агрегатов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство СССР 39485, МПК F 02 B 47/02, 1934.
2. Аганбегян, А.Г. Экономика России на распутье… Выбор посткризисного пространства [Текст] / А.Г. Аганбегян. - Москва: АСТ. 2010
3. Анализ методов диагностирования топливной аппаратуры автотракторных дизелей и разработка математической модели топливного насоса высокого давления [Текст]/ Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Юхин, И.А. Успенский, Г.Д. Кокорев, А.В. Шемякин, М.Ю. Костенко, Г.К. Рембалович, А.М. Кравченко, С.Д. Полищук, Б.П. Загородских, А.В. Смольянов, И.К. Данилов // Научный журнал КубГАУ. - 2016. - № 123. - С. 169-192.
4. Артемов, И. И. Эксплуатационные материалы: учеб. Пособие [Текст]/ И. И. Артемов, Ю. В. Гуськов, А. П. Уханов. - Пенза: Изд-во ПГУ, 2014. - 204 с.
5. Бушуев, В.В. Основные положения Энергетической Стратегии России-2035 [Электронный ресурс]/ В.В. Бушуев // Сайт Института Энергетической стратегии - Режим доступа: http://www.energystrategy.ru/projects/energystrategy.htm
6. Габдрафиков, Ф.З. Повышение энергетической эффективности машинно-тракторных агрегатов интенсификацией процесса впрыскивания топлива [Текст]/ Ф.З. Габдрафиков, А.П. Иншаков, А.Ф. Шарифуллин // В сборнике : Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Межвузовский сборник научных трудов - Саранск, 2016. - С. 217-221.
7. Давыдков, Б.Н. Системы и агрегаты наддува транспортных двигателей: учебное пособие [Текст] / Б.Н. Давыдков, В.Н. Каминский. - Москва : Кафедра ТГТД МГТУ «МАМИ», 2011. - 126 с.
8. Диагностика современного автомобиля [Текст]/ Ю.Н. Храпов, И.А. Успенский, Г.Д. Кокорев, С.Д. Полищук, М.Ю. Костенко, А.В. Шемякин, И.А. Юхин, С.В. Колупаев, П.С. Синицин, В.В. Салтан, О.В. Филюшин, В.А. Шафоростов, С.Н. Гусаров//Научный журнал КубГАУ. - 2016. - № 118. - С. 1001-1025.

9. Дорфман, Я.Г. Магнитные свойства и строение вещества [Текст] / Я.Г. Дофман. - Москва : Издательство Гостехиздат, 1955. - 376 с.

10. Загородских, Б.П. Опыт эксплуатации тракторов, оснащённых газобаллонным оборудованием[Текст]/ Б.П. Загородских, В.П. Захаров, Н.А. Ченцов// Новости науки Казахстана. 2014. № 4. С. 118-126.

11. Загородских, Б.П. Результаты экологических исследований трактора К-700, работающего по газодизельному циклу [Текст]/ Б.П. Загородских, В.В. Володин, Е.В. Бебенин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2014. № 1(33). С. 193-196.

12. Загородских, Б.П. Совершенствование системы подачи газообразного топлива для повышения эффективности использования газобаллонных тракторов [Текст]/ Б.П. Загородских, В.В. Володин, Е.В.Бебенин // Технология колесных и гусеничных машин. 2014. № 2. С. 33-41.

13. Инновационные методы топливообработки [Текст] / А.А. Симдянкин, В.Н. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский, И.А. Юхин // Техника и оборудование для села. - 2014. - №3. - С.16-19.

14. Инновационные технологии оценки ресурса фильтров тонкой очистки топлива системы [Текст]/ Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, А.А. Симдянкин, И.А. Успенский, Синицин П.С. // Техника и оборудование для села .- 2014.-N 2.- С. 9-12.

15. Иншаков, А.П. Анализ существующих конструкций подогревателей для биотоплива на основе рапсового масла для дизельных двигателей [Текст]/ А.П. Иншаков, С.Ю. Городсков, // В сборнике: Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы Международная конференция. - 2014. - С. 63-68.

16. Иншаков, А.П. Методы подогрева биотопливных композиций на основе рапсового масла в тракторных дизелях с жидкостным и воздушным охлаждением [Текст]/ А.П. Иншаков, С.Ю. Городсков, С.Е. Федоров // В сборнике: Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы

Международная конференция. - 2014. - С. 59-63.

17. Иншаков, А.П. Подогреватель растительно-минеральных топлив [Текст]/ А.П. Иншаков, Ю.Н. Рыжов, А.А. Курочкин // В сборнике: Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Межвузовский сборник научных трудов, посвященный 100-летию со дня рождения первого декана факультета механизации сельского хозяйства МГУ им. Н. П. Огарева доцента Д. С. Пилипко (1913 - 1989 гг.). Саранск, 2013. - С. 274-278.

18. Использование альтернативных моторных топлив в дизельных двигателях [Текст]/ В.А. Марков, В.В. Володин, Б.П. Загородских, В.В. Фурман.// АвтоГазоЗаправочный комплекс + Альтернативное топливо. 2015. № 6. С. 28-35.

19. Конструктивное исполнение устройства для энергонасыщения топлива [Текст]/ А.А. Симдянкин, Г.З. Кайкацишвили // Нива Поволжья. - 2012. - №1. - С.87-91.

20. Лянденбурский, В.В. Совершенствование диагностирования и восстановления деталей автоматической муфты опережения впрыскивания топлива дизелей. [Текст]/ В.В. Лянденбурский, А.В. Смольянов, Н.В. Раков // Монография. Пенза, 2017. - 184 с.

21. Маргулис, М.А. Основы звукохимии (химические реакции в акустических полях): учебное пособие для хим. и хим.-технол. спец. Вузов [Текст] /М.А. Маргулис. - Москва : Высшая школа, 1984. - 272 с.

22. Маркин, С. Ю. Эффективность применения биотоплива в АПК / С. Ю. Маркин, Г. А. Бахматова [Текст] / Никоновские чтения. - №14. -2009. - С. 116-118.

23. Межгосударственный стандарт ГОСТ 32508 — 2013. Топлива дизельные. Определение цетанового числа [Текст] / Москва :Стандартинформ, 2014. - 42 с.

24. Новицкий, Б.Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах [Текст]/ Б.Г. Новицкий. - Москва: Химия, 1983. - 192 с.

25. Оценка топливопотребления двигателей при ультразвуковой обработке топлива [Текст] / А.А. Симдянкин, Р.В. Пуков и др. // Техника и

оборудование для села. - 2017. - № 11 (245) . - С.12-17.

26. Оценка фильтрующего элемента фильтра тонкой очистки топлива на основе изменения разряжения в топливопроводе системы питания COMMON RAIL [Текст]// А.А. Симдянкин, Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский, Г.Д. Кокорев, И.А. Юхин, П.С. Синицин, А.А. Клиншов, М.С. Лучков // Научный журнал КубГАУ. - 2014. - № 104. - С. 211-221.

27. Патент на изобретение № 2006634 РФ, F02D1/00, F02D23/00. Центробежный регулятор дизеля с турбонаддувом / Крутов В.И., Марков В.А., Парфенов Б.П (РФ). № 4799954/06; Заявлено 07.03.1990; Опубликовано 30.01.1994. Бюл. № 3.

28. Патент на изобретение № 2009174 РФ, C10L1/18, C10L1/22. Присадка к углеводородному топливу / Климова Т.А.; Глинчак С.И.; Котин Е.Б.; Шафигуллин К.М.; Емельянов В.Е.; Скотников А.А.; Богатырев Е.Л.; Скворцов В.Н.; Тарасова Т.Ф.; Попова О.В (РФ). № 92 5050503; Заявлено 02.07.1992; Опубликовано 15.03.1994. Бюл. № 5.

29. Патент на изобретение № 2018699 РФ, F02B 37/16, F02B 37/18, F02B 37/22, F02D 23/00. Система турбонаддува двигателя внутреннего сгорания / Журов В.А., Курин М.С (РФ), № 2011115582/06;Заявлено 20.04.2011; Опубликовано 20.01.20. Бюл. №2.

30. Патент на изобретение № 2118339 РФ, C10L1/18, C10L1/22. Антидымная присадка для моторных топлив / Сыркин В.Г.; Лебедев С.Р.; Скачков А.Н (РФ). № 97116251/04; Заявлено: 25.09.1997; Опубликовано 27.08.1998. Бюл. № 19.

31. Патент на изобретение № 2120562 РФ, F02M27/08, F02M43/00, F02M37/20. Способ обработки тяжелого топлива перед впрыском в камеру сгорания двигателя внутреннего сгорания или котла и система топливоподготовки для многотопливного дизеля / Браславский М.И.; Шляхтов В. А (РФ). № 96120125/06; Заявлено 08.10.1996; Опубликовано 20.10.1998. Бюл. № 23.

32. Патент на изобретение № 2129587 РФ, C10L1/18, C10L1/22. Состав жидкого топлива и концентрат присадок / Б.У.Дэвис; К.Льютас; А.Ломбарди

(GB). Патентообладатель: Эксон КемикэлПейтентс Инк. (US). № 95113443/04; Заявлено 21.10.1993; Опубликовано 27.04.1999. Бюл. № 12.

33. Патент на изобретение № 2168052 РФ, F02M27/04, F02B51/04. Устройство магнитной обработки топлива для карбюраторных двигателей / Самойлов П.Ф (РФ). № 98122260/06; Заявлено 03.12.98; Опубликовано 27.05.2001. Бюл. № 15.

34. Патент на изобретение № 2193673 РФ, F02B39/10, F02B37/12. Система управляемого турбонаддува / Потанин В.А., Павлов М.И (РФ). № 2001104141/06; Заявлено 15.02.2001; Опубликовано 27.11.2002. Бюл. № 25.

35. Патент на изобретение № 2201429 РФ, C10G27/14, C10G32/02, F02M25/10, F02M27/04. Способ модификации углеводородного топлива и устройство для его осуществления / Гандельман Л.Я., Ляпин А.Г (РФ). № 2001119622/04; Заявлено 17.07.2001; Опубликовано 27.03.2003. Бюл. № 9.

36. Патент на изобретение № 2224586 РФ, B01F13/08, B01J8/16. Активатор жидкости / Романов В.А.; Шумилов А.А.; Карт М.А.; Романов М.А.; Шумилова О.В.; Елецких Л.В (РФ). № 2002130181/15; Заявлено 11.11.2002; Опубликовано 27.02.2004. Бюл. № 6.

37. Патент на изобретение № 2235113 РФ, C10G32/02, C10G27/14, F02M27/04, F02M25/10. Способ модификации жидкого котельного топлива и устройство для его осуществления / Воронцов Ю.Н, Ерошенко В.М, Ляпин А.Г., Першуков В.А, Петренко А.С, Хритин А.А (РФ). № 2002133881/04; Заявлено 17.12.2002; Опубликовано 27.08.2004. Бюл. № 24.

38. Патент на изобретение № 2244845 РФ, F02M27/00. Способ подготовки углеводородного топлива / Бухаркин А.К.; Калинин Е.В.; Кутовой А.И.; Макаров О.К (РФ). № 2002108643/06; Заявлено 05.04.2002; Опубликовано 20.01.2005. Бюл. № 2.

39. Патент на изобретение № 2254358 РФ, C10L1/18, C10L1/22. Присадка к углеводородному топливу / Никитина Е.А.; Емельянов В.Е.; Крылов И.Ф.; Рудяк К.Б.; Логинов С.А.; Вижгородский Б.Н.; Мельников Е.И.; Долганова В.Г.; Федорова А.В.; Никитин С.Ф.; Барсуков А.В (РФ). № 2004104726/04; Заявлено

19.02.2004; Опубликовано 20.06.2004. Бюл. № 17.

40. Патент на изобретение № 2260144 РФ, F02M25/022. Устройство подачи воды в двигатель внутреннего сгорания. / Бакланов Ю.Г., Чайкин П.И., Кирьянов А.П., Парфенов И.И.,Иванов В.И (РФ). № 2003127878/06; Заявлено 17.09.2003; Опубликовано 10.09.2005. Бюл. № 29.

41. Патент на изобретение № 2269025 РФ, F02M27/04. Устройство для магнитной обработки жидкого топлива в двигателях внутреннего сгорания / Харитонов В.А.; Александров А.Б.; Александров Б.Л (РФ). № 2004125207/06; Заявлено 17.08.2004; Опубликовано 27.01.2006. Бюл. № 3.

42. Патент на изобретение № 2270231 РФ, C10L1/18, C10L1/30. Присадка для бензинов и дизельных топлив и содержащая ее топливная композиция / Усольцев А.А.; Аликовский А.В.; Овсянников В.В (РФ). № 2004134021/04; Заявлено 22.11.2004; Опубликовано 20.02.2006. Бюл. № 5.

43. Патент на изобретение № 2278283 РФ, F02B51/02. Способ снижения токсичности выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания / Геркен А.В.; Сафронов В.Г.; Кошелев В.А (РФ). № 2004109827/06; Заявлено 01.04.2004; Опубликовано 20.06.2006. Бюл. № 17.

44. Патент на изобретение № 2293871 РФ, F02M27/04, B01D35/06, B03C5/00. Устройство для электростатической обработки жидкого топлива / Татарнов В.В.; Егин Н.Л.; Татарнов В.П.; Долгиер А.Г (РФ). № 2001124413/06; Заявлено 03.09.2001; Опубликовано 20.02.2007. Бюл. № 5.

45. Патент на изобретение № 2294448 РФ, F02M 25/022, F02B 47/02. Способ для получения и подачи водно-топливной эмульсии / Воробьев Ю.В., Тетерюков В.Б (РФ). № 2007142073/06; Заявлено 05.05.2011; Опубликовано 20.12.2012. Бюл. № 30.

46. Патент на изобретение № 2296238 РФ, F02M27/04. Устройство для обработки топлива / Заплаткин А.А; Медведев В.И; Микипорис Ю.А; Наганова И.В; ПавловА.Н; Печенов В.П (РФ). № 2005126687/06; Заявлено 23.08.2005; Опубликовано 27.03.2007. Бюл. № 9.

47. Патент на изобретение № 2299339 РФ, F02B47/02, F02B47/08,

F02B75/02. Способ повышения эффективности ДВС и устройство его реализации / Захаров А.М (РФ). № 2005128417/06; Заявлено 12.09.2005; Опубликовано 20.05.2007. Бюл. № 18.

48. Патент на изобретение № 2306448 РФ, F02M27/04. Способ обработки топлива и устройство для его осуществления / Скотин В.А.; Степанов Ю.Б (РФ). № 2005110094/06; Заявлено 07.04.2005; Опубликовано 20.09.2007. Бюл. № 26.

49. Патент на изобретение № 2319846 РФ, F02M29/02, F02D19/10, F02B43/06. Способ подачи горючего газа в рабочие цилиндры газодизеля / Бондаренко Л.М., Жданов В.А., Никольский Н.К., Сазонов И.В., Троицкий А.П., Фролов Г.В (РФ). № 2006122902/06; Заявлено 28.06.2006; Опубликовано 20.03.2008. Бюл. № 8.

50. Патент на изобретение № 2319854 РФ, F02M27/04. Устройство для магнитной обработки жидкого топлива / Красильников А.М., Купцов А.А (РФ). № 2005134706/06; Заявлено 10.11.2005; Опубликовано 20.03.2008. Бюл. № 8.

51. Патент на изобретение № 2324838 РФ, F02M27/04. Магнитный активатор топлива / Карбушев А.А.; Антонян Е.В.; Карбушева Г.Н.; Карбушев В.Ф.; Милокостенко Т.П (РФ). № 2006111123/06; Заявлено 05.04.2006; Опубликовано 20.05.2008. Бюл. № 14.

52. Патент на изобретение № 2330984 РФ, F02M27/04. Устройство для обработки жидкого углеводородного топлива (варианты) / Туев С.В.; Мамченко В.М.; Багрянцев А.В (РФ). № 2007125612/06; Заявлено 03.07.2007; Опубликовано 10.08.2008. Бюл. № 22.

53. Патент на изобретение № 2386849 РФ, F02M27/04, F02M37/22. Устройство для предварительной обработки углеводородного топлива / Кучеров Д.А.; Цветков В.Б (РФ). № 2008136275/06; Заявлено 08.09.2008; Опубликовано 20.04.2010. Бюл. № 11.

54. Патент на изобретение № 2388916 РФ, F02B19/18. Способ работы двигателя внутреннего сгорания, устройство для осуществления комбинированного смесеобразования / Дорохов А.Ф.; Исаев А.П.; Колосов К.К.; Малютин Е.А (РФ). № 2008123665/06; Заявлено 10.06.2008; Опубликовано

10.05.2010. Бюл. № 13.

55. Патент на изобретение № 2391551 РФ, F02M27/00. Фильтр магнитной очистки и обработки автомобильного топлива экомаг-10 / Голиков Ю.И (РФ). № : 2008134540/06; Заявлено 27.08.2008; Опубликовано 10.06.2010. Бюл. № 16.

56. Патент на изобретение № 2404228 РФ, C10G 65/00, C10G 65/14. Способ получения дизельного топлива из остаточного нефтяного сырья / Хавкин В.А.; Гуляева Л.А.; Галиев Р.Г.; Капустин В.М.; Шуверов В. М.; Забелинская Е.Н.; Пресняков В.В.; Тульчинский Э.А.; Бабынин А.А.; Чернышева Е.А (РФ). № 2009104016/04; Заявлено 09.02.2009; Опубликовано 20.11.2010. Бюл. № 32.

57. Патент на изобретение № 2424443 РФ, F02P19/02, F02D41/00. Способ и система управления запитываемой низковольтным напряжением вставкой для предварительного нагрева топливовоздушной смеси дизельного двигателя / Коле Ф.(FR); Рот Р.(FR); Паланк Н.(FR) Патентообладатель - РЕНО С.А.С. (FR) № 2008137810/07; Заявлено 05.02.2007; Опубликовано 20.07.2011. Бюл. № 20.

58. Патент на изобретение № 2430778 РФ, B01J21/12, B01J23/40, B01J23/42, B01J 21/06, B01J 21/12, B01J 23/42, B01J 23/44, B01J 37/02, B01J 37/08, C10G 45/52. Стойкий к отравляющему действию серы, содержащий благородный металл катализатор гидрирования ароматических соединений и способ получения и применения такого катализатора / Смигал Д.Э.(US); Ван Вен Йоханес А.Р.(NL). Патентообладатель - ШЕЛЛ ИНТЕРНЭШНЛ РИСЕРЧ МААТСХАППИЙ Б.В. (NL). № 2009101474/04; Заявлено 27.07.2010; Опубликовано 10.10.2011. Бюл. № 28.

59. Патент на изобретение № 2435649 РФ, B05B1/00. Топливный кавитатор / Потапков Д.В.; Любинский С.В (РФ). № 2010128402/05; Заявлено 08.07.2010; Опубликовано 10.12.2011. Бюл. № 34.

60. Патент на изобретение № 2461605 РФ, C10L1/18. Многофункциональная присадка к дизельному топливу / Мирошников А.М.; Цыганков Д.В.; Текутьев И.Б (РФ). № 2011114173/04; Заявлено 11.04.2011; Опубликовано 20.09.2012. Бюл. № 26.

61. Патент на изобретение № 2463472 РФ, F02M 27/04, F02B 51/04,

F02M 29/00. Устройство для энергонасыщения жидкого топлива / Симдянкин А.А., Симдянкина Е.Е., Кайкацишвили Г.З. (РФ). № 2010112901/06; Заявлено 02.04.2010; Опубликовано 10.10.2012, Бюл. №28.

62. Патент на изобретение № 2469789 РФ, B01J21/12, B01J23/40, B01J23/42, B01J23/44, B01J35/10, B01J37/04, C07C5/02, C07C5/10. Катализатор гидрирования ароматических углеводородов и способ получения и применения такого катализатор / Аккерман Р.Г.(US); Мишел К.Г.(US); Смигал Д.Э.(US); Ван Вен Йоханес А.Р.(NL). Патентообладатель - ШЕЛЛ ИНТЕРНЭШНЛ РИСЕРЧ МААТСХАППИЙ Б.В. (NL). № 2010111760/04; Заявлено 25.08.2008; Опубликовано 20.12.2012. Бюл. № 35.

63. Патент на изобретение № 2480612 РФ, F02M27/04. Устройство для магнитной обработки углеводородного топлива на основе постоянных магнитов / Тумашев А.С.; Хайрулин Р.М (РФ). № 2011111840/06; Заявлено 29.03.2011; Опубликовано 27.04.2013. Бюл. № 28.

64. Патент на изобретение № 2490510 РФ, F02M53/00, F02M31/00. Система подачи топлива для двигателя внутреннего сгорания / Хомма М.(JP); Като К.(JP); Цукимото Х.(JP); Табу Ф.(JP) Патентообладатель - МИЦУБИСИ ДЗИДОСЯ КОГИО КАБУСИКИ КАЙСЯ (JP). № 2011149784/06.; Заявлено 07.12.2011; Опубликовано 20.08.2013. Бюл. № 23.

65. Патент на изобретение № 2493416 РФ, F02M27/04. Устройство для магнитной обработки жидкого топлива в двигателях внутреннего сгорания / Александров А.Б.; Александров Б.Л.; Кузин Н.Н.; Степанова А.Н.; Дайбова Л.А (РФ). № 2012110442/06; Заявлено 19.03.12; Опубликовано 20.09.2013. Бюл. № 26.

66. Патент на изобретение № 2511878 РФ, F02D, F02B. Способ управления частотой вращения турбонагнетателя поршневого двигателя и система управления для поршневого двигателя с турбонаддувом /ЯрвиАрто (FI), Делнери Диего (IT), ТробергМикаэль (IT), Каас Том (FI), Мянтюля Юкка (FI), Эстман Фредрик (FI). Патентообладатель: ВЯРТСИЛЯ ФИНЛАНД ОЙ (FI). № 2011124881/06; Заявлено 27.12.2002; Опубликовано 10.04.2014. Бюл. № 10.

67. Патент на изобретение № 2514916 РФ, C10G. Способ получения

товарного дизельного топлива из высокозернистых дизельных фракций и устройство, его реализующее / Гаврисяк Е.М.(PL). Патентообладатель - Дженерейшн Инжиниринг Лтд (VG). № 2012158396/04; Заявлено 28.12.2012; Опубликовано 10.05.2014. Бюл. № 13.

68. Патент на изобретение № 2519466 РФ, B01F3/08, C10L1/00. Установка для приготовления топливных смесей / Кривошеин Ю.А.; Житков О.В (РФ). № 2013103953/05; Заявлено 29.01.2013; Опубликовано 10.06.2014. Бюл. № 16.

69. Патент на изобретение № 2529762 РФ, F01D. Система управления устройствами с изменяемой геометрией в турбомашинах и турбомашина, содержащая такую систему / Бурю, Мишель (FR), Голли, Брюно (FR). Патентообладатель: СНЕКМА (FR). № 2011117534/06;Заявлено 10.11.2012; Опубликовано 27.09.2014. Бюл. № 27.

70. Патент на изобретение № 2532663 РФ, C10L 10/12, C07C 203/04, C07C 201/02, C10L 1/23, C10L. Способ получения цетаноповышающих присадок к дизельному топливу / Данов С.М.; Орехов С.В.; Федосов А.Е.; Федосова М.Е.; Есипович А.Л.; Белоусов А.С.; Рогожин А.Е (РФ). № 2013123231/04; Заявлено 21.05.2013; Опубликовано 10.11.2014. Бюл. № 31.

71. Патент на изобретение № 2647355 РФ, F02M 37/08, F02M 37/14, F02M 27/08. Бензонасос с гомогенизацией топлива / Пуков Р.В., Симдянкин А.А., Юхин И. А., Бышов Н.В, Борычев С.Н., Успенский И.А., Кокорев Г.Д. (РФ). № 2016123834; Заявлено 15.06.2016; Опубликовано 15.03.2018. Бюл. № 8.

72. Повышение экологической безопасности дизельного топлива [Текст] / А.А. Калашников, Ю.П. Асьян, Л.И. Калашникова // Современные наукоемкие технологии. - 2010. - № 8 - С. 152-153.

73. Пуков, Р.В. Испытания дизеля YANMAR 4TNV88-BGGE, укомплектованного устройством для энергонасыщения топлива / [Электронный ресурс] Р.В. Пуков //Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: межвузов. сб. науч. тр. /редкол.: П. В. Сенин [и др.] ; отв. за вып. А. В. Безруков. - Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2017. - С59. - Режим доступа : http://journal.mrsu.ru/tech/ehnergoehffektivnye-tekhnologii-i-sistemy

74. Пуков, Р.В. Оценка времени нахождения топлива в зоне ультразвуковой обработки [Текст]/ Р.В. Пуков, С.А. Кожин // Совершенствование системы подготовки и дополнительного профессионального образования кадров для агропромышленного комплекса : Материалы Национальной научно-практической конференции. Рязань, 14 декабря 2017 г. - Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2018 - С. 165-169.

75. Результаты экспериментального исследования устройства для энергонасыщения топлива на дизеле Д-243 [Текст] / Г. З. Кайкацишвили, А. А. Симдянкин, Н. В. Бышов, С. Н. Борычев, И. А. Успенский, И. А. Юхин // Научный журнал КубГАУ. - 2014. - № 100(06) . - С.12-13.

76. Рекомендации по эксплуатации дизельных электростанций [Электронный ресурс] Правила эксплуатации дизель-генератора // Режим доступа :http://cons-systems.ru/rekomendatcii-po-kspluatatcii-dizelnykh-lektrostantciy

77. Розенберг, Л.Д. Кавитационная область. Мощные ультразвуковые поля [Текст]/ Л.Д. Розенберг. - Москва : Наука, 1968. - Ч. 6. - С. 221 - 266.

78. Рыжов, Ю.Н. Двухтопливная система тракторного дизеля с многоступенчатым подогревом [Текст]/ А.П. Иншаков, Ю.Н. Рыжов, А.А. Курочкин// Тракторы и сельхозмашины. - 2014. - №6. - С. 11-13.

79. Савельев, Г.М. Опыт доводки и производства турбокомпрессоров автомобильных дизелей [Текст] / Г.М. Савельев, Б.Ф. Лямцев, Э.В. Аболтин. - Москва, 1985 - 94 с.

80. Сивухин, Д. В. Общий курс физики: учебное пособие для вузов. В 5 т. Т.III. Термодинамика и молекулярная физика [Текст] / Д.В. Сивухин.- 5-е изд., испр. - Москва : Физматлит, 2005. - §108.

81. Синицин, П.С. Методика оценки загрязнённости фильтра тонкой очистки дизельного топлива [Текст]/ П.С. Синицин, А.А. Симдянкин, И.А. Успенский // Научный журнал КубГАУ. - 2014. - № 95. - С. 327-346.

82. Сиротюк, М.Г. Экспериментальные исследования ультразвуковой кавитации. Мощные ультразвуковые поля [Текст] / М.Г. Сиротюк, под ред. Л.Д.

Розенберга. - Москва : Наука, 1968. - Ч. 5. - С. 168 - 220.

83. Скрипов, В.П. Метастабильная жидкость [Текст] В.П. Скрипов. - Москва : Наука, 1972. 307 с.

84. Смешивание многокомпонентного топлива [Текст]/ А.А. Симдянкин, Г.З. Кайкацишвили // Вестник РГАТУ. - 2013. - №1. - С.68-72.

85. Смольянов А.В. Снижение интенсивности изнашивания деталей автоматической муфты опережения впрыскивания топлива восстановлением изношенных поверхностей методом электроискровой обработки / А. В. Смольянов, Н. В. Раков, Ю. В. Шумкин // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы: межвуз. сб. науч. тр. / редкол.: А.В. Котин [и др.]. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013. – С.287-292.

86. Смольянов, А.В. Повышение долговечности топливной аппаратуры двигателей КамАЗ-740 восстановлением деталей автоматической муфты опережения впрыскивания топлива [Текст] / А.В. Смольянов, Н.В. Раков, Ю.Ю. Калашникова // В сборнике: Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Межвузовский сборник научных трудов – Саранск: 2016. – С. 178-184.

87. Стендовые испытания дизеля, укомплектованного устройством для энергонасыщения топлива [Текст]/ А.А. Симдянкин, Г.З. Кайкацишвили // Тракторы и сельхозмашины. - 2013. - №10. - С.26-28.

88. Теренченко, А.С. Экологическая безопасность автомобильных дизелей в полном жизненном цикле : дис. … канд. техн. наук : 05.04.02 [Текст] /Теренченко Алексей Станиславович. - Москва, 2003. - 175 с.

89. Уменьшение энергетических затрат в сельскохозяйственном производстве (на примере картофеля) [Текст]/ Н.В. Бышов, С.Н. Борычев, И.А. Успенский, Г.Д. Кокорев, М.Ю. Костенко, Г.К. Рембалович, Н.А. Костенко, И.А. Юхин, А.А.Голиков, С.В. Колупаев, А.С. Колотов, П.С. Синицин, О.В. Филюшин.//Научный журнал КубГАУ. - 2016. - № 120. - С. 375-398. .

90. Урбанович, Л.И. Рост системы паровых пузырьков при объемной кавитации [Текст] / Л.И. Урбанович, Е.М. Крамченков, В.Я. Губарев // Труды 4-й

РНКТ 23-27.10.2006. Том 4. Кипение, кризисы кипения, закризисный теплообмен. - Москва, 2006. - С. 224-227.

91. Устройство для ультразвуковой обработки топлива [Текст] / Р.В. Пуков //Вестник РГАТУ. - 2015. -№ 1. - С. 127-131.

92. Устройство для энергонасыщения топлива [Текст]/ А.А. Симдянкин, Е.Е. Симдянкина, Г.З. Кайкацишвили // Тракторы и сельхозмашины. - 2012. - №3. - С. 6-8.

93. Федоренко, В.Ф. Инновационное развитие альтернативной энергетики: науч. изд. - Ч. 1. [Текст]/ В.Ф. Федоренко, Н.Т. Сорокин, Д.С. Буклагин, Н.П. Мишуров, В.С. Тихонравов - Москва: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. - 348 с.

94. Федоренко, В.Ф. Развитие биоэнергетики, экологическая и продовольственная безопасность: научн. изд. [Текст] /В.Ф. Федоренко и др.- Москва: ФГНУ «Росинформагротех», - 2009. - 144с.

95. Федоренко, В.Ф.Состояние и развитие производства биотоплива: науч. аналит. обзор [Текст] /В.Ф. Федоренко и др.- Москва: ФГНУ «Росинфорагротех», 2007. - 130с.

96. Филаткин, А.Н. Магнитная активация жидкости как метод борьбы с осложнениями в нефтепромысловом оборудовании [Текст] / А.Н. Филаткин, А.В. Третьяков А.В. // Сборник тезисов докладов научно-практической конференции молодых ученых и специалистов нефтяной и геологоразведочной отрасли Ханты-Мансийского автономного округа. - Когалым: КогалымНИПИнефть, 2003. - 210 с.

97. Хмелёв, В.Н. Выявление оптимальных режимов и условий ультразвукового воздействия для распыления вязких жидкостей [Электронный ресурс] / В.Н. Хмелёв, А.В. Шалунов, Р.Н. Голых, А.В. Шалунова // Электронный журнал «Техническая акустика» . - 2011. - № 10. - с.1-15- Режим доступа : http://www.ejta.org/ru/khmelev9.

98. Цифровой UV-VIS спектрофотометр PD-303UV. Руководство пользователя.

99. Чернецов, Д. А. Загрязнение окружающей среды сельскохозяйственной техникой [Текст] / Д. А. Чернецов // Вопросы современной

науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. - № 1 (32). - 2011. - С. 23-27.

100. Шуберт, М. Экологическая безопасность малогабаритных двигателей внутреннего сгорания в жизненном цикле :дис. … канд. техн. наук : 05.04.02 [Текст] / Шуберт Менян. - Москва, 2006. - 126 с.

101. Шутилов, В.А. Основы физики ультразвука: учебное пособие [Текст]/ В.А. Шутилов. - Ленинград : Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. - 280 с.

102. Экспериментальные исследования газодизельного двигателя трактора К-700А [Текст]/ В.В. Володин, Б.П. Загородских, В.А. Марков, В.В. Фурман.// Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 10. С. 7-9.

103. Энергетический бюллетень. Динамика цен на моторное топливо. - [Электронный ресурс]/ Аналитический центр при правительстве Российской Федерации - Режим доступа: http://ac.gov.ru/files/publication/a/5012.pdf

104. AMS ALP.07.07.0102-2 К-т охлаждения топлива (через кондиционер) под OEM рейки для NISSAN GT-R R35 [Электронный ресурс] / Режим доступа : https://www.atomic-shop.ru/part/87091-ALP.07.07.0102-2/

105. http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/ режим доступа 02.06.2018.

106. https://www.vedomosti.ru/auto/articles/2016/04/22/638819-volkswagen-rashodi-162-mlrd-evro mlrd-evro Режим доступа:02.06.2018.

107. G. Flynn., Physics of acoustic cavitation in liquids. In: W. Mason (ed.) Physical acoustics, vol. 1 B, (Academic Press, 1964) pp. 7-138

108. https://www.autoblog.com/2018/03/30/vw-storing-300000-diesels-dieselgate/ Режим доступа :02.06.2018.

109. https://www.stern.de/politik/deutschland/hamburg-fuehrt-als-erste-stadt-fahrverbote-fuer-diesel-fahrzeuge-ein-7994216.html Режим доступа:02.06.2018.

110. NASA report «End-zone water injection as a means of suppressing knock in a spark-ignition engine» Cleveland, Ohio. September 1944.

111. Neppiras E.A. Acoustic cavitation // Phys. Repts. - 1980. - V. 61, N 3. - P. 159 - 251.

112. Patent No.: US 8,006,675 B2 «DIESEL FUEL COOLING SYSTEM AND CONTROL STRATEGY», Timothy Chyo, Dearborn, MI (US); Peter Kanefsky, West Bloomfield, MI (US); Carlos Armesto, Canton, MI (US); Anil Shah, Canton, MI (US); Douglas Schoen, Plymouth, MI (US); Date of Patent: Aug. 30, 2011.

113. Reynolds O., The causes of the racing of the engines of screw steamers Investigated theoretically and by experiment Tr. Inst. Naval Arch. V14 Sc. Papers, 1, 56—57, 1873.

114. S. Pearsall., Cavitation. Mills and Boon Limited London, 1972.

115. Plesset M.S. Zwick S.A. The Growth of Vapour Bubbles in Superheated Liquids // Journal of Applied Physics. 1954. V. 25. № 4. P. 38-43.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Основные технические характеристики цифрового UV-VIS спектрофотометра PD-303UV:

Диапазон измерения:	190 - 1000 нм;
Полоса светопропускания:	5 нм (во всем диапазоне);
Дифракционная решетка:	с частотой 1200 линий/мм;
Источники света:	- вольфрамовая галогеновая лампа (6В, 10Вт); - дейтериевая лампа (75В, 5Вт);
Методы расчета концентрации:	- расчет по линейному уравнению (с 1 или 2 стандартами); - расчет по калибровочной кривой (с 3 или 4 стандартами);
Режимы измерения:	- обычный режим; - таймерный режим (интервал измерения 1 - 60 с, общий предел времени 1 - 5940 с);
Дисплей:	жидкокристаллический дисплей, 2 строки, 20 знаков;
Детектор:	высокочувствительный кремниевый фотодиод;
Объем пробы:	минимум 1,0 (0,5) мл;
Стандартный держатель проб:	4 позиции для квадратных кювет 10 х 10 х 45 мм;
Тестовые емкости:	- квадратные кюветы (10 х 10 х 45 мм); - квадратные полумикрокюветы (10 х 4 х 45 мм); - круглые пробирки (12 х 105 мм); - кварцевые кюветы.
Интерфейсы:	RS-232C.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Основные технические характеристики установки ИДТ-90:

Двигатель: одноцилиндровый, четырехтактный, форкамерный, с воспламенением от сжатия

Диаметр цилиндра, мм: 85;

Ход поршня, мм: 115;

Рабочий объем цилиндра, л: 0,652;

Степень сжатия: переменная, от 7 до 23;

Число оборотов двигателя (при работе на топливе), об/мин: 900±9;

Вращение коленчатого вала: по часовой стрелке;

Смазка: принудительная, под давлением;

Сорт масла: МС-20 ГОСТ 21743;

Температура масла, град С: 57 ± 8;

Давление масла, кПа (кгс/см): 157-215(1,9±0,3);

Охлаждение цилиндра: жидкостное, термосифонноиспарительного типа;

Охлаждающая жидкость: дистиллированная вода (при барометрическом давлении ниже 724 мм рт. от, с добавкой этиленгликоля);

Температура охлаждающей жидкости, град С: 100 ± 2;

Температура воды, охлаждающей форсунку, град С: 38 ±3;

Питание топливом: от насоса непосредственного впрыска;

Давление открытия распылителя форсунки, МПа: 10,3 ±0,34;

Питание воздухом: из атмосферы;

Температура всасываемого воздуха, град С: 66 ±0,5 (поддерживается автоматически);

Запуск и поддержание постоянных оборотов двигателя: асинхронным электродвигателем мощностью 5,5 кВт при скорости вращения 1500 об/мин;

Способ определения цетановых чисел топлив: по ГОСТ Р 52709 с применением аппаратуры ИПЗВ-2;

ОКОНЧАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Б

Габаритные размеры ДхШхВ, мм:	1270х1340х1470;
Масса установки, кг:	850;
Потребляемая мощность при U=380 В, кВт:	8.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО РГАТУ

_____ Л.Н. Лазуткина

«5» июля 2018 г.

АКТ

о проведении лабораторных исследований устройства для ультразвуковой обработки топлива

Мы, нижеподписавшиеся, представители федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А.Костычева» в лице заведующего кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта», профессора кафедры ТЭТ д.т.н., И.А. Успенского, профессора кафедры ТЭТ, д.т.н., А.А. Симдянкина, аспиранта кафедры ТЭТ Р.В. Пукова, заведующего кафедры «Технология металлов и ремонта машин», д.т.н., доцента Г.К. Рембаловича, профессора кафедры ТМиРМ, д.т.н., доцента М.Ю. Костенко составили настоящий акт в том, что 5 июля 2018 года были проведены лабораторные исследования изменения экологических показателей дизельного двигателя Д-240 в процессе работы с применением дизельного топлива ДТ ГОСТ 305-2013 с устройством для ультразвуковой обработки топлива в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева».

Для исследования экологических показателей были изучены значения коэффициента избытка воздуха и показатели дымности. В ходе эксперимента установлено, что наиболее значимыми параметрами являются параметры

качества рабочей смеси, коэффициент поглощения и коэффициент ослабления.

Для определения наличия изменений в качестве рабочей смеси использовался газоанализатор «МЕТА АВТОТЕСТ МП».

Для определения наличия изменений показателей дымности отработавших газов применялся измеритель дымности «МЕТА - 01 МП».

Камера ультразвуковой обработки топлива установлена в разрыв топливопровода, перед ТНВД. Двигатель работает попеременно, с выключенным и включенным устройством для ультразвуковой обработки топлива. Результаты эксперимента по исследованию изменения экологических показателей представлены в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты эксперимента по исследованию влияния ультразвуковой обработки топлива на экологические показатели дизельного двигателя

Коэффициент избытка воздуха до обработки, α	Коэффициент избытка воздуха после обработки, α	Изменение качества смеси, %
1,54	1,77	+14,7
Массовая концентрация сажи до обработки, г/м^3	Массовая концентрация сажи после обработки, г/м^3	Изменение качества смеси, %
0,047	0,038	-17,0

Определение изменения коэффициента избытка воздуха производилось по следующей методике. По формуле:

$$\alpha = V_{вд}/V_{вО}, \quad (1)$$

где α- коэффициент избытка воздуха,

$V_{вд}$ - действительный объём подаваемого воздуха,

$V_{вО}$ - теоретический объём воздуха, необходимый для сгорания 1 кг дизельного топлива, равный 14,5 кг,

получаем

α_1 =22,4/14,5 = 1,54 для необработанного топлива

α_2 = 25,7/14,5 = 1,77 для обработанного топлива.

Далее, была проведена оценка изменений показателей дымности. Коэффициент поглощения К для необработанного и обработанного топлива составил 0,32 $м^{-1}$ и 0,28 $м^{-1}$, соответственно. Коэффициент ослабления N для необработанного и обработанного топлива составил 12,7% и 11,2%, соответственно.

Согласно таблице 2, была определена массовая концентрация сажи.

Таблица 2 – Соотношение единиц измерения

Коэффициент ослабления %	Коэффициент поглощения $м^{-1}$	Массовая концентрация $г/м^3$	Коэффициент ослабления %	Коэффициент поглощения $м^{-1}$	Массовая концентрация $г/м^3$
10	0,25	0,033	30	0,83	0,133
11	0,27	0,038	31	0,86	0,138
12	0,30	0,042	32	0,90	0,144
13	0,32	0,047	33	0,93	0,150
14	0,35	0,052	34	0,97	0,156
15	0,38	0,057	35	1,00	0,162
16	0,41	0,062	36	1,04	0,168
17	0,43	0,066	37	1,07	0,174
18	0,46	0,071	38	1,11	0,181
19	0,49	0,076	39	1,15	0,187
20	0,52	0,081	40	1,19	0,193
21	0,55	0,086	41	1,23	0,199
22	0,58	0,091	42	1,27	0,206
23	0,61	0,096	43	1,31	0,213
24	0,64	0,101	44	1,35	0,220
25	0,67	0,106	45	1,39	0,227
26	0,70	0,111	46	1,43	0,234
27	0,73	0,117	47	1,48	0,241
28	0,76	0,122	48	1,52	0,248
29	0,80	0,127	49	1,57	0,256

ОКОНЧАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ В

В результате проведения лабораторных исследований установлено следующее, что при использовании устройства для ультразвуковой обработки топлива, коэффициент избытка воздуха увеличивается на 14,7%, а дымность (массовая концентрация сажи) снижается на 17%.

Исполнители:

Заведующий кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта»,
д.т.н. , профессор _____ И.А. Успенский

Профессор кафедры ТЭТ, д.т.н., _____ А.А. Симдянкин

Аспирант кафедры _____ Р.В. Пуков

Заведующий кафедрой «Технология металлов и ремонта машин»,
д.т.н. , доцент _____ Г.К. Рембалович

Профессор кафедры ТМиРМ, д.т.н. доцент _____ М.Ю. Костенко

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе

_____ Л.Н. Лазуткина

«_5_» ___июня___ 2018 г.

АКТ

о внедрении законченной научно-исследовательской, опытно-конструкторской и технологической работы

Мы, нижеподписавшиеся, представитель федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева», в лице научного руководителя научно-исследовательской (опытно-конструкторской) работы

_____д.т.н., профессора Симдянкина Аркадия Анатольевича_____

и представитель ИП Масягин С.А.__ __г. Рязань_____

в лице Масягина Станислава Александровича, составили настоящий акт в том, что результаты научно-исследовательской работы на тему «Улучшение показателей автотракторных дизельных двигателей путем ультразвуковой обработки топлива», выполненной кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта» ФГБОУ ВО РГАТУ в 2015-2018 гг., внедрены у ИП Масягин С.А. г. Рязань. При внедрении были проведены сравнительные испытания серийной системы топливоподачи автомобиля МАЗ-4370 «Зубрёнок» с двигателем ММЗ Д-245.9-540 2003 года выпуска, гос. номер О 454 СУ 62 и системы топливоподачи, укомплектованной экспериментальным устройством для энергонасыщения топлива, базовым элементом которого является ультразвуковой излучатель (патент №2647355 опубл. 15.03.2018 Бюл. №8).

Внедрение результатов исследования дало возможность предприятию (организации) получить следующий технико-экономический эффект:

ОКОНЧАНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Г

1. Снизить расход дизельного топлива при использовании устройства для энергонасыщения топлива на 7,2% по сравнению с расходом топлива дизельного двигателя, оборудованного штатной системой топливоподачи.
2. Снизить затраты на топливо за период использования устройства для энергонасыщения топлива (с 02.08.2017 г. по 01.06.2018 г) на 13 188 рублей.

Замечания и предложения о дальнейшей работе по внедрению: _____

1. Признать конструкцию устройства для энергонасыщения топлива, позволяющую минимизировать расход дизельного топлива в автотракторных дизельных двигателях, целесообразной и экономически обоснованной.

2. Совместно с кафедрой «Техническая эксплуатация транспорта» ФГБОУ ВО РГАТУ продолжить исследования по оптимизации конструктивных параметров устройства и способов его размещения в зависимости от характеристик применяемых дизельных двигателей и условий эксплуатации мобильных сельскохозяйственных агрегатов.

В научно-исследовательской работе принимали участие:

Аспирант кафедры ТЭТ _____Р.В. Пуков.

Представитель ФГБОУ ВО РГАТУ,
научный руководитель работы
д.т.н., профессор
_____ А.А.Симдянкин
(подпись)
«05» июня 2018 г.

ИП Масягин С.А.
г. Рязань
_____ С.А. Масягин
(подпись)
М.П. «05» июня 2018 г.

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Основные технические характеристики дизельного двигателя ММЗ Д-245.9-540

Рабочий объем цилиндров, л:	4,75;
Номинальная мощность (при 2400 об/мин.), л/с:	136;
Крутящий момент, max (при 1300 об/мин.), Нм:	460;
Количество цилиндров/компоновка:	4/рядно-вертикальная;
Диаметр цилиндра, мм:	110;
Ход поршня, мм:	125;
Степень сжатия:	15,1;
Количество клапанов:	8;
Количество клапанов на цилиндр:	2;
Последовательность работы цилиндров:	1-3-4-2;
Система подачи дизельного топлива:	непосредственный впрыск топлива;
Удельный расход топлива, min, г/кВт*час:	215+5%;
Система смазки:	комбинированная (под давлением + разбрызгивание);
Объем моторного масла, л:	10.8;
Моторное масло:	5W-40 (зима), 15W-40 (лето);
Система охлаждения:	жидкостная, замкнутого типа, с принудительной вентиляцией;
Объём охлаждающей жидкости, л:	17;
Охлаждающая жидкость:	ТС-40 или ТС-65;
Габаритные размеры, ДхШхВ, мм:	965,5х676х968;
Масса сухого мотора, кг:	500;
Моторесурс, мото-час:	8 000.

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **2 647 355** (13) **C2**

(51) МПК
F02M 37/08 (2006.01)
F02M 37/14 (2006.01)
F02M 27/08 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
F02M 37/046 (2017.08); F02M 27/08 (2017.08)

(21)(22) Заявка: **2016123834, 15.06.2016**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
15.06.2016

Дата регистрации:
15.03.2018

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **15.06.2016**

(43) Дата публикации заявки: **20.12.2017** Бюл. № **35**

(45) Опубликовано: **15.03.2018** Бюл. № **8**

Адрес для переписки:
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1, ФГБОУ ВО РГАТУ, Голиков А.А.

(72) Автор(ы):
Пуков Роман Владимирович (RU),
Симдянкин Аркадий Анатольевич (RU),
Юхин Иван Александрович (RU),
Бышов Николай Владимирович (RU),
Борычев Сергей Николаевич (RU),
Успенский Иван Алексеевич (RU),
Кокорев Геннадий Дмитриевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева" (ФГБОУ ВО РГАТУ) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **RU 2065529 C1, 20.08.1996. SU 1343078 A1, 07.10.1987. US 4105004 A1, 08.08.1978. DE 102007042559 A1, 12.03.2009.**

RU 2647355 C2

(54) БЕНЗОНАСОС С ГОМОГЕНИЗАЦИЕЙ ТОПЛИВА

(57) Реферат:

Изобретение может быть использовано в системах топливоподачи двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Предложен бензонасос, состоящий из впускного штуцера 1, компенсационной камеры 2, соединенной с входом впускного клапана 3, выход которого соединен с накопительной камерой 4, которую образуют корпус 5 и мембрана 6, закрепленная на штоке 7, являющимся сердечником электромагнита 8. Электромагнит 8 соединен с выходом преобразователя сигнала симметричный-асимметричный 9, на вход которого поступает сигнал с модулятора 10, один вход которого соединен с генератором ультразвуковых колебаний 11, второй - с преобразователем напряжение-частота 12. Вход преобразователя напряжение-частота 12 соединен с выходом датчика положения дроссельной заслонки 13. Накопительная камера 4 соединена с выпускным клапаном 14. Благодаря используемому в устройстве эффекту кавитации производится обработка жидкого топлива вязких и высоковязких типов, тем самым обеспечивая повышение экологической чистоты выхлопных газов двигателя за счет более полного сгорания топливовоздушной смеси и снижения расхода топлива. 1 ил.

RU 2647355 C2

RUSSIAN FEDERATION

FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 647 355** (13) **C2**

(51) Int. Cl.
F02M 37/08 (2006.01)
F02M 37/14 (2006.01)
F02M 27/08 (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(52) CPC
F02M 37/046 (2017.08); F02M 27/08 (2017.08)

(21)(22) Application: **2016123834, 15.06.2016**

(24) Effective date for property rights:
15.06.2016

Registration date:
15.03.2018

Priority:
(22) Date of filing: **15.06.2016**

(43) Application published: **20.12.2017** Bull. № **35**

(45) Date of publication: **15.03.2018** Bull. № **8**

Mail address:
390044, g. Ryazan, ul. Kostycheva, 1, FGBOU VO RGATU, Golikov A.A.

(72) Inventor(s):
Pukov Roman Vladimirovich (RU),
Simdyankin Arkadij Anatolevich (RU),
Yukhin Ivan Aleksandrovich (RU),
Byshov Nikolaj Vladimirovich (RU),
Borychev Sergej Nikolaevich (RU),
Uspenskij Ivan Alekseevich (RU),
Kokorev Gennadij Dmitrievich (RU)

(73) Proprietor(s):
Federalnoe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego obrazovaniya "Ryazanskij gosudarstvennyj agrotekhnologicheskij universitet imeni P.A. Kostycheva" (FGBOU VO RGATU) (RU)

(54) GASOLINE PUMP WITH FUEL HOMOGENISATION

(57) Abstract:

FIELD: engines and pumps.

SUBSTANCE: gasoline pump comprises an intake pipe 1 and a compensation chamber 2 connected to input of intake valve 3, the output of which is connected to accumulation chamber 4 which form a body 5 and a membrane 6 fixed on a rod 7 which is the core of electromagnet 8. The electromagnet 8 is connected to output of symmetrical-asymmetric signal converter 9, which input receives signal from a modulator 10, which one input is connected to an ultrasonic oscillator 11, the second one is connected to voltage-to-frequency converter 12. The input of the voltage-to-frequency converter 12 is connected to position sensor output of the throttle valve 13. The accumulator chamber 4 is connected to the output valve 14. Due to the cavitation effect used in the device, liquid fuel of viscous and highly viscous types is processed.

EFFECT: increased ecological purity of engine exhaust gases due to more complete combustion of fuel-air mixture and reduced fuel consumption.

1 dwg

RU 2647355 C2

RU 2647355 C2

Изобретение относится к двигателестроению и может быть использовано для подготовки топлива перед подачей его в камеру сгорания путем его энергонасыщения внешним комбинированным воздействием.

Известно устройство для энергонасыщения жидкого топлива [1], обеспечивающее обработку топлива за счет воздействия на его дипольные частицы магнитных полей, индуцируемых катушками индуктивности при подаче на них управляющих сигналов различных типов, а также за счет снижения коэффициента поверхностного натяжения топлива, достигаемого путем придания колебательного или вращательного движения постоянному магниту, занимающему - в зависимости от управляющих сигналов - определенное положение относительно векторов или результирующего вектора магнитной индукции катушек индуктивности.

Недостаток устройства заключается в том, что оно является пассивным и для обеспечения прохождения через него топлива необходимо использование дополнительного внешнего насоса.

Из известных технических решений наиболее близким по технической сущности является ультразвуковой гидродинамический излучатель [2], предназначенный для получения мелкодисперсных эмульсий. При работе такого устройства жидкость поступает в вихревую камеру излучателя через входные тангенциальные отверстия и под воздействием центробежных сил образует в вихревой камере закрученный жидкостный вихревой поток. При этом в вихревой камере образуется зона разряжения. В выходном сопле происходит дополнительная закрутка газожидкостного потока и еще более интенсивное диспергирование жидкости. Описанный гидродинамический излучатель позволяет проводить обработку жидкости в потоке.

Недостаток устройства состоит в том, что не достигается достаточно высокой степени гомогенизации и диспергирования жидкости во всем диапазоне частот вращения коленчатого вала двигателя, поскольку эмульсирование топлива зависит от скорости подачи жидкости.

Существующие устройства топливоподачи двигателей, например топливные насосы типа 2101-1106010 [3], не осуществляют предварительную подготовку топлива с целью повышения эффективности его сгорания в двигателе, осуществляя только перекачку из топливного бака. Насос укреплен на боковой стенке картера двигателя двумя болтами. Наружный конец рычага привода упирается в эксцентрик распределительного вала. Вращающийся распределительный вал своим эксцентриком при каждом обороте нажимает на наружный конец рычага привода и отклоняет его. В это же время внутренний конец рычага привода, опускаясь, тянет шток и связанную с ним диафрагму вниз. Пружина, находящаяся под диафрагмой, сжимается, а над диафрагмой, зажатой между корпусом и крышкой, создается разрежение, под действием которого в камеру из бака через фильтр-отстойник и открывшийся впускной клапан всасывается топливо. Когда выступ эксцентрика сходит с наружного конца рычага привода, диафрагма со штоком под действием пружины перемещается вверх, в камере над диафрагмой создается давление, и топливо вытесняется через нагнетательный клапан в выпускной канал, а затем по трубке в поплавковую камеру карбюратора. Воздух, находящийся в камере над нагнетательным клапаном, сжимаясь, уменьшает резкость пульсации топлива. Упругость нагнетательной пружины подобрана с таким расчетом, чтобы при заполненной поплавковой камере напор топлива не мог принудительно открыть игольчатый клапан карбюратора, и подача топлива в поплавковую камеру при этом прекращается. Диафрагма со штоком и внутренним концом рычага привода в этом случае будет находиться в нижнем положении неподвижно, а наружный конец рычага

привода качается вхолостую вследствие зазора между концами рычагов привода, установленных на оси.

Недостаток устройства заключается в том, что оно предназначено только для перекачки топлива без изменения его физико-механических свойств.

Предлагаемое изобретение направлено на непрерывную обработку топлива внешним комбинированным воздействием (электромагнитным и акустическим) с последующей его подачей в камеру сгорания двигателя.

Сущность: топливоподача регулируется электромагнитным способом за счет изменения частоты огибающей модулированного сигнала, несущая которого вызывает кавитационные процессы в топливе, протекающем через накопительную камеру топливного насоса.

Сопоставимый анализ с прототипом показывает, что заявленное устройство соответствует критерию «новизна», так как имеет существенные отличия от прототипа: механизм управления штоком состоит из электромагнита, соединенного с выходом преобразователя сигнала симметричный-асимметричный, на вход которого поступает сигнал с модулятора, один вход которого соединен с генератором ультразвуковых колебаний, а второй - с преобразователем напряжение-частота, при этом вход преобразователя напряжение-частота соединен с выходом датчика положения дроссельной заслонки.

Технический результат от использования устройства заключается в повышении экологической чистоты выхлопных газов двигателя за счет более полного сгорания топливовоздушной смеси и снижения расхода топлива.

Технический результат достигается тем, что подача топлива осуществляется за счет управления перемещением штока мембраны электромагнитом с одновременным наложением высокочастотных колебаний на его возвратно-поступательные движения. Перемещение сердечника электромагнита, жестко связанного со штоком мембраны, управляется преобразователем сигнала, который преобразует поступающий с модулятора симметричный сигнал в асимметричный - относительно оси времени - двухполярный. При этом на вход модулятора с генератора высокочастотных колебаний поступает несущая частота, достаточная для возникновения кавитационных процессов в топливе (8…44 кГц), а огибающая формируется преобразователем напряжение-частота, на вход которого поступает сигнал с датчика положения дроссельной заслонки. При нажатии на педаль акселератора напряжение на выходе датчика положения дроссельной заслонки увеличивается, что приводит к увеличению частоты, формируемой преобразователем напряжение-частота. Это, в свою очередь, приводит к увеличению частоты огибающей сигнала модулятора, и, следовательно, частоты низкочастотной составляющей сигнала на выходе преобразователя сигнала. В результате частота перемещения сердечника электромагнита и, следовательно, штока мембраны увеличивается, что приводит к увеличению объема поступления топлива в камеру сгорания двигателя, вызывая увеличение его оборотов. В течение всего процесса прохождения топлива через накопительную камеру насоса оно подвергается ультразвуковой обработке за счет воздействия несущей частоты модулированного сигнала, вызывающей высокочастотные колебания штока мембраны. При отпускании педали акселератора происходят обратные процессы: напряжение с выхода датчика положения дроссельной заслонки снижается, вызывая снижение частоты сигнала с выхода преобразователя напряжение-частота, что приводит к снижению частоты огибающей модулированного сигнала с выхода модулятора и, соответственно, с выхода преобразователя сигнала - частота перемещения штока мембраны снижается и

уменьшается объем топлива, прокачиваемого насосом.

Благодаря используемому в устройстве эффекту кавитации, производится обработка жидкого топлива вязких и высоковязких типов, тем самым обеспечивая повышение экологической чистоты выхлопных газов двигателя за счет более полного сгорания топливовоздушной смеси и снижения расхода топлива.

Изобретение сопровождается поясняющим рисунком, на котором схематически изображена общая схема устройства (чертеж, стрелками показано движение топлива).

Устройство содержит:

1 - штуцер впускного канала;

2 - компенсационная камера;

3 - впускной клапан;

4 - накопительная камера;

5 - корпус;

6 - мембрана;

7 - шток;

8 - электромагнит;

9 - преобразователь сигнала симметричный-асимметричный (ПССА);

10 - модулятор;

11 - генератор ультразвуковых колебаний;

12 - преобразователь напряжение-частота;

13 - датчик положения дроссельной заслонки (ДПДЗ);

14 - выпускной клапан;

15 - штуцер выпускного канала.

Устройство (бензонасос) состоит из штуцера 1 впускного канала, один конец которого закреплен в топливопроводе двигателя, а противоположный - в компенсационной камере 2, соединенной с входом впускного клапана 3, а его выход соединен с накопительной камерой 4, которую образуют корпус 5 и мембрана 6, закрепленная на штоке 7, являющимся сердечником электромагнита 8. Электромагнит 8 соединен с выходом преобразователя сигнала симметричный-асимметричный 9, на вход которого поступает сигнал с модулятора 10, один вход которого соединен с генератором ультразвуковых колебаний 11, второй - с преобразователем напряжение-частота 12. Вход преобразователя напряжение-частота 12 соединен с выходом датчика положения дроссельной заслонки 13. В свою очередь, накопительная камера 4 соединена с выпускным клапаном 14, через который обработанное топливо подается в штуцер 15 выпускного канала и далее в направлении камеры сгорания двигателя.

Работа устройства для энергонасыщения жидкого топлива осуществляется следующим образом. При включении двигателя ДПДЗ 13 вырабатывает сигнал, пропорциональный углу открытия дроссельной заслонки, и передает его на преобразователь напряжение-частота 12, который, в свою очередь, преобразовывает напряжение в низкочастотный гармонический сигнал, поступающий на один из входов модулятора 10. На второй вход модулятора 10 поступает высокочастотный сигнал с генератора ультразвуковых колебаний 11, начинающий вырабатывать сигнал при включении двигателя. Модулятор 10 модулирует низкочастотный сигнал (огибающая) высокочастотным сигналом (несущая). Модулированный сигнал поступает с выхода модулятора 10 на вход ПССА 9, который формирует асимметричный по отношению к оси «время» (в координатах «амплитуда-время») двухполярный сигнал и передает его на вход электромагнита 8. В отрицательный полупериод низкочастотной составляющей (огибающей) шток 7 электромагнита 8 с закрепленной на нем мембраной

6 перемещается в сторону, противоположную компенсационной камере 2, тем самым вызывая в ней разряжение. При этом впускной клапан 3 открывается и топливо через штуцер 1 впускного канала, соединенный с компенсационной камерой 2, попадает в накопительную камеру 4 корпуса 5 (в этот момент выпускной клапан 13 закрыт). В положительный полупериод низкочастотной составляющей (огибающей) шток 7 электромагнита 8 перемещается в сторону компенсационной камеры 2, создавая в накопительной камере 4 избыточное давление, при этом впускной клапан 3 закрывается, а выпускной клапан 14 открывается и обработанное топливо через штуцер 15 выпускного канала поступает в топливопровод - в направлении камеры сгорания двигателя.

Во время нахождения топлива в накопительной камере 4 - вследствие высокочастотных колебаний мембраны 6, закрепленной на штоке 7 электромагнита 8, вызываемых несущей модулированного сигнала, поступающего с ПССА 9, - в топливе происходят интенсивные кавитационные процессы (так называемый «разрыв сплошности жидкости»), снижающие коэффициент поверхностного натяжения.

Для увеличения оборотов двигателя необходимо увеличить угол открытия дроссельной заслонки, что вызовет увеличение напряжения с ДПДЗ 13. При этом преобразователь напряжение-частота 12 увеличит частоту выходного сигнала (огибающей) пропорционально увеличению напряжения. Это приведет к тому, что частота огибающей модулированного сигнала, формируемого модулятором 10, также увеличится. Соответственно, увеличится частота низкочастотной составляющей сигнала с выхода ПССА 9, что приведет к более частому изменению направления перемещения штока 7 электромагнита 8 с закрепленной на нем мембраной 6. В результате объем проходящего через устройство топлива увеличится, тем самым увеличивая обороты двигателя.

Чтобы снизить обороты двигателя, необходимо уменьшить угол открытия дроссельной заслонки, что вызовет уменьшение напряжения с ДПДЗ 13. Преобразователь напряжение-частота 12 уменьшит частоту выходного сигнала пропорционально снижению напряжения. Частота огибающей модулированного сигнала, формируемого модулятором 10, также уменьшится. Соответственно, снизится частота огибающей с выхода ПССА 9, что приведет к снижению частоты перемещения штока 7 электромагнита 8 с закрепленной на нем мембраной 6. В результате объем проходящего через устройство топлива уменьшится, и уменьшится частота вращения коленчатого вала двигателя.

При этом независимо от частоты вращения коленчатого вала двигателя, топливо, находящееся в накопительной камере, подвергается ультразвуковой обработке.

Эксперименты показали, что оптимальным диапазоном несущей частоты модулированного сигнала является 10…25 кГц. Экспериментальная установка была апробирована в лабораторных условиях и показала высокую эффективность (снижение часового расхода топлива на дизеле Д-240 до 9,2%).

Используемые источники

1. Патент Российской Федерации RU 2463472. Устройство для энергонасыщения жидкого топлива. Симдянкин А.А. Симдянкина Е.Е. Кайкацишвили Г.З. Опубликовано 10.10.2012.

2. СССР SU 1532083. Ультразвуковой гидродинамический излучатель. Мутовкин В.В. Шаповал И.Ф. Чижов В.И. Якубовский Е.П. Опубликовано 30.12.1989.

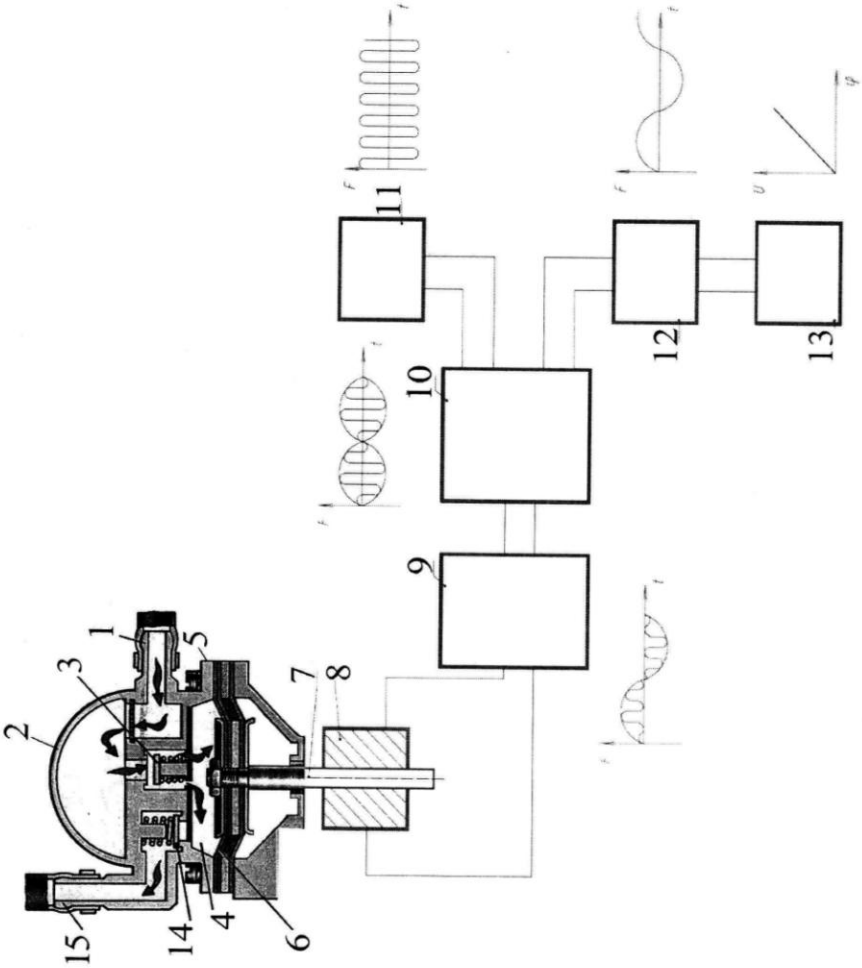
3. В. Вершигора, В. Зельцер. Каталог деталей автомобиля «Жигули» моделей ВАЗ-2101, ВАЗ-2102, ВАЗ-21011, ВАЗ-2103. – М.: Машиностроение, 1977. - 224 с.

ПРОДОЛЖЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЯ Е

RU 2 647 355 C2

(57) Формула изобретения

Бензонасос, включающий штуцер впускного канала, один конец которого закреплен в топливопроводе двигателя, а противоположный - в компенсационной камере, соединенной с входом впускного клапана, а его выход соединен с накопительной камерой, которую образуют корпус и мембрана, закрепленная на штоке, отличающийся тем, что механизм управления штоком состоит из электромагнита, соединенного с выходом преобразователя сигнала симметричный-асимметричный, на вход которого поступает сигнал с модулятора, один вход которого соединен с генератором ультразвуковых колебаний, а второй - с преобразователем напряжение-частота, при этом вход преобразователя напряжение-частота соединен с выходом датчика положения дроссельной заслонки.

RU 2 647 355 C2

1