

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

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук

Рязань - 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» (ФГБОУ ВО РГАТУ)

Научный руководитель: **Симдянкин Аркадий Анатольевич**, доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Загородских Борис Павлович**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ, профессор кафедры «Технический сервис и технология конструкционных материалов»

Синицин Павел Сергеевич, кандидат технических наук, ООО «Силумин», директор

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева» (ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева»)

Защита диссертации состоится 10 декабря 2018 года в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.057.03 при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева» по адресу 390044, Рязанская область, г. Рязань, ул. Костычева, д.1, зал заседаний диссертационного совета

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО РГАТУ, на сайте: www.rgatu.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak3.ed.gov.ru.

Автореферат разослан «___»_____2018 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



И.А. Юхин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 самокупаемости, 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/м³ до 0,038 г/м³). 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.

Краткое содержание работы

Во введении обоснована актуальность работы, сформулирована цель, отмечены научная новизна и практическая значимость работы, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследования» рассмотрены проблемы рациональности и эффективности использования существующих энергоресурсов, повсеместного внедрения технологий энергосбережения и поиска возобновляемых источников энергии.

Рассмотрены требования, предъявляемые к используемому моторному топливу, и проведён анализ уже существующих устройств для снижения расхода топлива, рассмотрены способы и устройства для обработки топлива (электромагнитная и ультразвуковая обработка, омагничивание и пр.), а также достоинства и недостатки рассматриваемых конструкций.

На основании проведенного анализа состояния проблемы и в соответствии с поставленной в работе целью сформулированы **задачи исследований:**

- 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.

Во второй главе «Кавитационные процессы в жидкостях и их теоретическое описание» проведены теоретические исследования по уточнению аналитических зависимостей, связывающих образование кавитационных пузырьков с коэффициентом поверхностного натяжения, и оценке эффектов охлаждения топлива на микроуровне.

Известно, что критическая энергия, затрачиваемая на образование кавитационного пузырька, может быть выражена следующей зависимостью:

$$W_k = \frac{4}{3} \pi \sigma R_k^2, \quad (1)$$

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:

$$\left(\frac{\partial R}{\partial \tau}\right)_{n=0} = \sqrt{\frac{3}{\pi}} \cdot \frac{\lambda \Delta T_{\text{п}}}{r \rho'' a^{0,5}} \tau^{-0,5}, \quad (2)$$

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; кг/м³;

a - коэффициент температуропроводности жидкости, м²/с;

τ - время, с;

$n=0$ - область, относящаяся к поверхности пузыря.

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

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

Из (1) и (3) выводится формула, описывающая суммарное количество теплоты, затраченное на образование невзаимодействующих друг с другом вакуумных пузырьков при стационарной паровой кавитации в жидкости:

$$Q_{\Sigma} = N_{\text{п}} \cdot [(i + 1)W_k + \sum_{i=0}^k Q_n(i\Delta\tau)], \quad (4)$$

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

i - номер шага по времени (при итерации).

При этом, 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:

$$\varepsilon = N_{\text{п}} W_k \quad (5)$$

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 и времени ее воздействия, а при оценке суммарного количества теплоты по формуле (4) они не были учтены.

Предлагается метод учета изменения коэффициента поверхностного натяжения жидкости в случае присутствия в ней вибрационной или акустической кавитации, основанный на его связи со временем обработки топлива.

В качестве экспериментальной жидкости было выбрано дизельное топливо ДТ ГОСТ 305-2013, которое обрабатывалось в течение от 0 с до 600 секунд в устройстве для ультразвуковой обработки топлива при частоте колебаний 44 кГц и мощности источника колебаний 60 Вт.

Замеры коэффициента поверхностного натяжения производились методом отрыва капель (таблица 1).

Таблица 1 - Зависимость коэффициента поверхностного натяжения топлива от времени его обработки ультразвуком

$t, \text{с}$	0	10	20	30	40	50	60	90	120	600
$\sigma_{\text{эксп}} \cdot 10^{-3}, \text{Н/м}$	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, незначительный 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. В результате интенсивность роста коэффициента поверхностного натяжения снижается более чем в 4 раза.

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

$$\sigma_{\text{аппр}} = \sigma_{\text{эксп}} + 0,00004t^3 - 0,0037t^2 + 0,13t, \quad (6)$$

где t - время обработки, с.

Коэффициенты при t^3 , t^2 , t имеют размерности Н/(м·с³), Н/(м·с²) и Н/(м·с), соответственно.

Для оценки возможности практического использования уравнения (6) оно было проверено на адекватность с использованием критерия Фишера (табл.2).

Таблица 2 - Оценка адекватности уравнения (6)

t, c	$\sigma_{\text{эсп}}, \text{ Н/м}$ (по табл.1)	$\sigma_{\text{эсп}}, \text{ Н/м}$ (по (6))	Стандартное отклонение t	Стандартное отклонение σ	Коэффициент вариации t	Коэффициент вариации σ	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	$F_{\text{выч}}$	$F_{\text{табл}}$	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									

Следовательно, в уравнение (1) можно ввести поправки, установленные уравнением (6):

$$W_k = \frac{4}{3}\pi(\sigma + 0,00004t^3 - 0,0037t^2 + 0,13t)R_k^2. \quad (7)$$

Тогда уравнение (4) также может быть изменено:

$$\varepsilon = N_{\text{п}} \left[\frac{4}{3}\pi(\sigma + 0,00004t^3 - 0,0037t^2 + 0,13t)R_k^2 \right], \quad (8)$$

Аналогично изменится уравнение (5), описывающее суммарное количество теплоты:

$$Q_{\Sigma} = N_n \cdot \left[(i+1) \left[\frac{4}{3}\pi(\sigma + 0,00004t^3 - 0,0037t^2 + 0,13t)R_k^2 \right] + \sum_{i=0}^k Q_n(i\Delta\tau) \right], \quad (9)$$

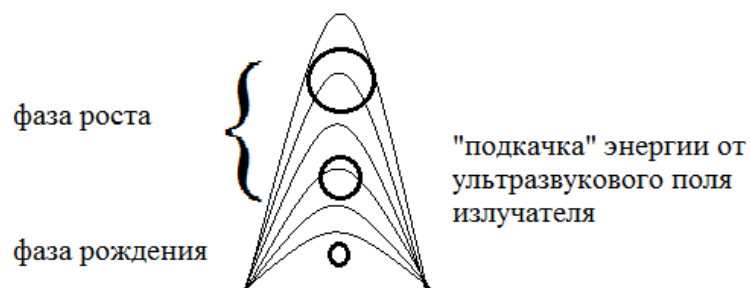
В результате можно сделать вывод, что от топлива будет отбираться энергия, зависящая от времени существования в нем акустической или вибрационной кавитации, и она будет больше на 5...10% относительно значений, полученных по (4).

Физика происходящих процессов может быть описана следующим образом (рис.1).

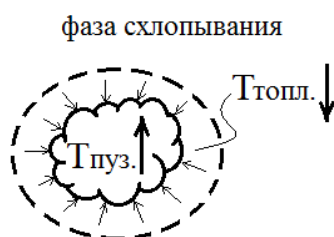
1 этап. Энергия, передающаяся от ультразвукового излучателя, вызывает в жидкости разрывы её сплошности, при этом происходит образование парогазовых пузырьков, получающих в процессе своего роста «подкачку» энергии от ультразвукового поля, формируемого излучателем.

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 10000 К, что приводит - согласно уравнению (1) - к отбору энергии от близлежащих слоёв жидкости и их охлаждению.

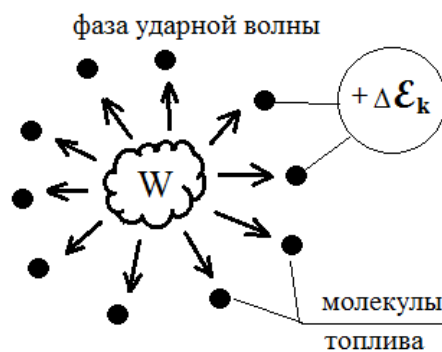
1 этап



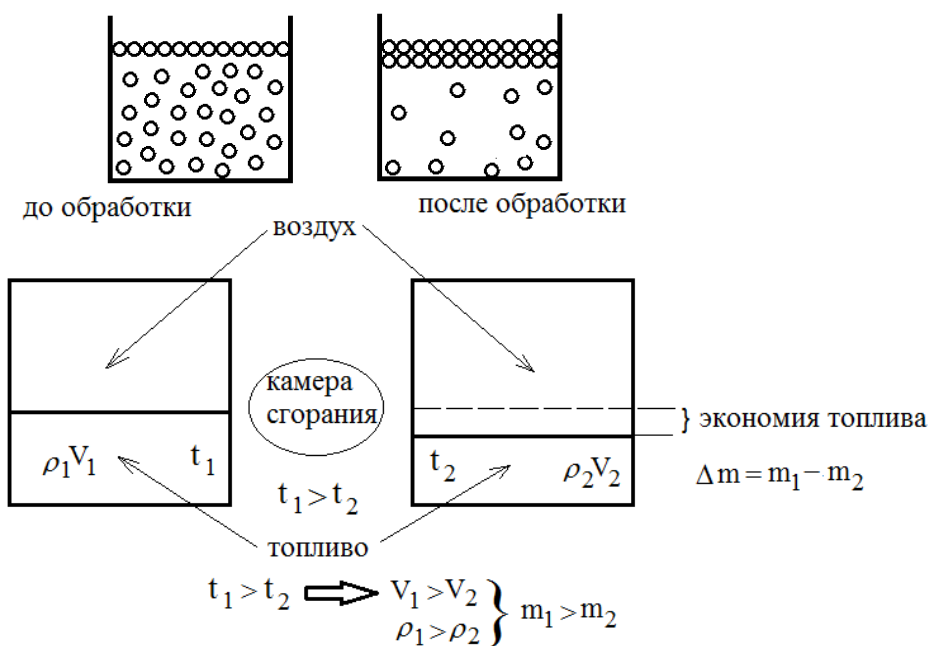
2 этап



3 этап



4 этап



5 этап

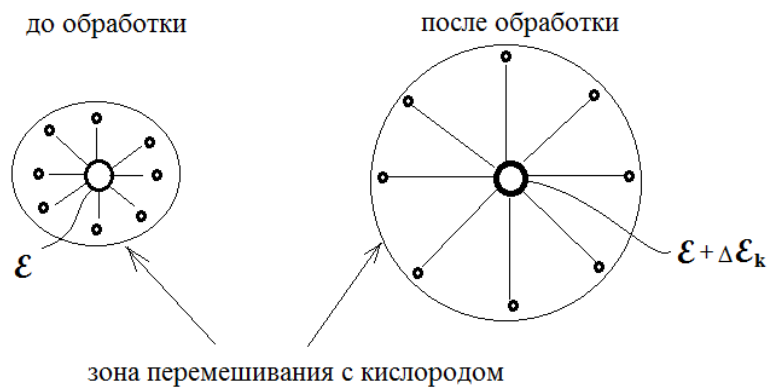


Рисунок 1 - Этапы происходящих процессов при обработке топлива ультразвуком

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 её плотность в зоне схлопывания.

4 этап. Снижение температуры жидкости приводит к уменьшению её объёма, который подаётся в камеру сгорания, что вызывает рост объёма подаваемого в камеру сгорания воздуха. При этом уменьшение плотности жидкости - в сочетании с уменьшением её объёма - приводит к уменьшению массы подаваемой в камеру сгорания жидкости, обеспечивая снижение её 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 большем объёме, повышая, тем самым, качество приготовления топливовоздушной смеси, что положительно влияет на полноту её сгорания.

В третьей главе «Общая и частные методики исследования» представлены программа и методика экспериментальных исследований на основании существующих методик и стандартов.

Программа исследований предусматривала исследования динамической вязкости, которые производились с применением микровискозиметра Нааке; исследования коэффициента поверхностного натяжения (двумя методами - отрыва кольца и капельным); оценку характеристик впрыска топлива, производимую с применением стенда-форсунки; оценку характеристик воспламеняемости топлива, производимую с применением установки ИДТ-90; оценку времени обработки топлива, включающую в себя различные варианты подачи топлива в камеру ультразвуковой обработки для изменения времени нахождения топлива в ней; оценку расхода топлива и мощности излучателя, производимого на модернизированной системе питания дизельного двигателя, в топливопровод которой (до ТНВД) была установлена камера ультразвуковой обработки устройства; оценку экологических показателей, которые проводились с применением газоанализатора Мета Автотест МП и измерителя дымности отработавших газов МЕТА - 01 МП, согласно ГОСТ Р 52160-2003 и ГОСТ Р 41.24-200 при работе дизельного двигателя с выключенным и включенным устройством для ультразвуковой обработки топлива.

Описаны основные параметры, требующие определения в ходе проведения лабораторных и производственных испытаний, сделаны выводы.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований устройства для ультразвуковой обработки топлива» согласно вышеуказанным методам проведены экспериментальные исследования с последующей их статистической обработкой. Разработанное устройство для ультразвуковой обработки топлива (рис.2) имело следующие характеристики: объём камеры обработки - 200 мл; частота излучателя - 44 кГц; мощность излучателя - 60 Вт.



Рисунок 2 - Камера обработки топлива с пронумерованными (1 - 9) штуцерами и блок управления устройством для ультразвуковой обработки топлива

Эксперимент по выбору штуцеров для входа и выхода дизельного топлива с точки зрения максимального времени его нахождения в зоне ультразвуковой обработки был проведен с использованием макета камеры (рис.3) и показал, что в случае использования штуцеров №1 для входа и №9, №7 и №2 для выхода время составляет 12 с, 9 с и 8 с, соответственно.



Рисунок 3 – Один из вариантов макета камеры со штуцерами №1, №7 и №9

Для выбранных штуцеров №9, №7 и №2 проведен эксперимент по оценке влияния подачи топлива через них на экономию топлива двигателем, установленным на стенде (табл.3), который показал, что оптимальным является штуцер №2 для подачи топлива в камеру обработки (штуцер №1 использовался для отвода топлива в направлении к ТНВД).

Экспериментальные исследования коэффициента поверхностного натяжения $\sigma_{\text{дт}}$ (рис.4) проводились двумя методами - методом отрыва кольца и капельным методом. Метод отрыва кольца показал увеличение $\sigma_{\text{дт}}$ на 11,%, с 27,1 Н/м до 30,2 Н/м. Исследования капельным методом подтвердили результаты предыдущего эксперимента и показали увеличение $\sigma_{\text{дт}}$ на 10,6%, с 26,49 Н/м до 29,27 Н/м.

Эксперимент по исследованию плотности ρ дизельного топлива до и после

его обработки показал уменьшение плотности с 830 кг/м^3 до 825 кг/м^3 , при этом была установлена зависимость коэффициента поверхностного натяжения от плотности топлива (рис.5), которая подтверждает выдвинутые предположения по описанию физики процесса ультразвуковой обработки (рис.1, этап 4).

Таблица 3 - Экономия топлива двигателем за счет разного подвода в камеру ультразвуковой обработки

Номера штуцеров (вход- выход)	Режим работы устройства	Масса контрольного резервуара, г		Разница масс	
		до запуска двигателя	после остановки двигателя	контроль- ного резервуа- ра, г	израсходован- ного обрабо- танного и не- обработанного топлива, %
9 - 1	Включено	2484	2419	65	3
9 - 1	Выключено	2419	2352	67	
7 - 1	Включено	2546	2483	63	6
7 - 1	Выключено	2483	2416	67	
2 - 1	Включено	2612	2550	62	7,5
2 - 1	Выключено	2550	2483	67	

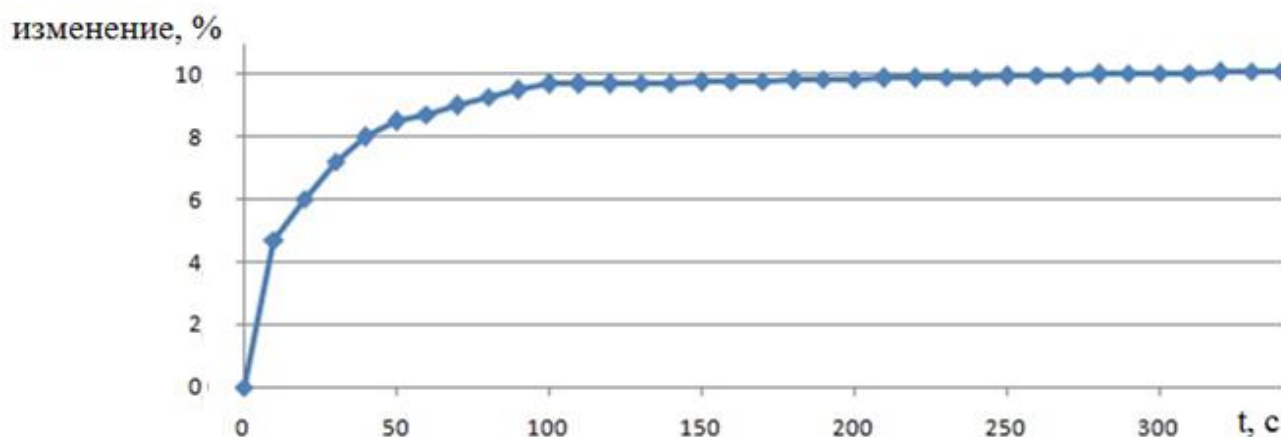


Рисунок 4 - Изменение коэффициента поверхностного натяжения топлива в зависимости от времени его обработки ультразвуком

Эксперимент по оценке характеристик впрыска топлива показал, что после его обработки в устройстве неравномерность распыла ΔS топлива форсункой снизилась на 35% (рис.6).

Эксперимент по оценке экологических показателей продемонстрировал увеличение коэффициента избытка воздуха λ на 14,7% (с 1,54 до 1,77), что подтверждает выдвинутые предположения об охлаждении топлива и уменьшении его объема (рис.1, этапы 2 и 4).

Кроме того зарегистрировано снижение дымности на 17% (с $0,047 \text{ г/м}^3$ до $0,038 \text{ г/м}^3$), что подтверждает выдвинутые предположения о повышении качества подготовки топливовоздушной смеси (рис.1, этап 5).

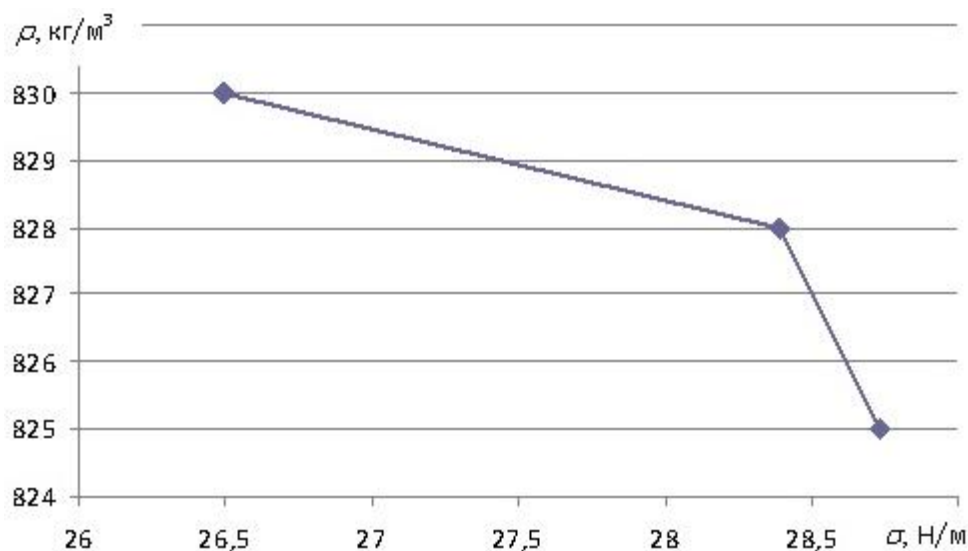


Рисунок 5 - Изменение плотности дизельного топлива в зависимости от изменения коэффициента поверхностного натяжения

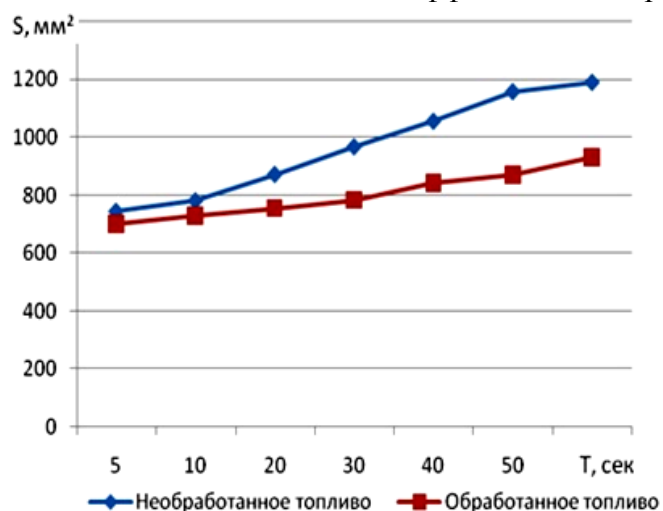


Рисунок 6 - Изменение неравномерности распыла

Эксперимент по оценке коэффициента светопропускания топлива до и после его обработки ультразвуковым показал отсутствие изменений - в обоих случаях светопропускание составило 96%.

Изменение мощности ультразвукового излучателя в пределах от 30 Вт до 60 Вт на расход топлива двигателем влияния не оказывает.

Изменение цетанового числа CNs с использованием установки ИДТ-90 для дизельного топлива ДТ ГОСТ 305-2013 до и после его обработки не выявлено - в обоих случаях оно составило 51,4 единицы.

В пятой главе «Производственная проверка предложенных решений и оценка их экономической эффективности» устройство для ультразвуковой обработки топлива было интегрировано в топливную систему двигателя Д-245.9-540 автомобиля МАЗ-4370. Камера ультразвуковой обработки топлива была установлена в передней части автомобиля - под капотом с левой стороны в разрыве топливопровода перед ТНВД (рис.7). Топливоподача осуществлялась

через топливные шланги с нитяным усилением (ГОСТ 10362-76). Блок управления устройства ультразвуковой обработки топлива был установлен в кабине водителя - под откидывающейся вверх крышкой передней панели (рис.8) - и соединён с камерой ультразвуковой обработки электрическим кабелем.



Рисунок 7 - Расположение камеры ультразвуковой обработки топлива под капотом автомобиля МАЗ-4370



Рисунок 8 - Расположение блока управления камеры ультразвуковой обработки топлива в кабине водителя автомобиля МАЗ-4370

За время проведения производственной апробации (с 02.08.2017 г. по 01.06.2018 г.) зафиксировано снижение расхода топлива при пробеге автомобиля 19040 км на 7,2% (с 23 л до 21,35 л на 100 км пробега). Экономия топлива предоставила возможность ИП «Масягин С.А.» при перевозке сельскохозяйственной продукции в таре получить экономический эффект в размере 13188 рублей (за основу взята средняя цена дизельного топлива в период между 02.08.2017 г. и 01.06.2018 г.). При этом, затраты на изготовление устройства и модернизацию штатной системы питания двигателя Д-245.9-540 автомобиля МАЗ-4370 составили 46000 руб, расчётная годовая экономия - 32799 руб, срок окупаемости устройства - 1,23 года.

Заключение

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 п-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 3,45 Па·с (-2%), а плотность ρ - с 830 кг/м³ до 825 кг/м³ (-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/м³ до 0,038 г/м³ (-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.

Положения диссертации и полученные результаты отражены в следующих основных публикациях:

Статьи в рецензируемых изданиях из списка ВАК РФ

1. Пуков, Р.В. Повышение экономичности автотракторных дизелей [Текст] / Р.В. Пуков// Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева, 2016. - № 2 (30). - С. 118-123.

2. Пуков, Р.В. Оценка экономической эффективности применения устройств ультразвуковой обработки топлива [Электронный ресурс] / А.А. Симдянкин, Р.В. Пуков, И.К.Данилов //КубГАУ. - 2017. - № 3. - Режим доступа :<http://ej.kubagro.ru/2017/02/pdf/03.pdf>

3. Пуков, Р.В. Устройство для ультразвуковой обработки топлива [Текст] / Р.В. Пуков // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева, 2017. - № 3 (35). - С. 127-131.

4. Пуков, Р.В. Оценка топливопотребления двигателей при ультразвуковой обработке топлива [Текст] / Р.В.Пуков, А.А. Симдянкин, И.А.Успенский, М.Б. Угланов, И.А.Юхин, Б.А.Нефедов// Техника и оборудование для села, 2017. - № 11 (245). - С. 12-15.

Патент

1. 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, Бoryчев С.Н., Успенский И.А., Кокорев Г.Д. (РФ). № 2016123834; Заявлено 15.06.2016; Опубликовано 15.03.2018. Бюл. № 8.

Статьи в других изданиях

1. Пуков, Р.В. Улучшение эксплуатационных характеристик автотракторных дизелей за счёт энергонасыщения топлива [Текст] / Р.В. Пуков // Эксплуатация автотракторной техники: опыт, проблемы, инновации, перспективы. II Международная научно-практическая конференция. Сборник статей. - Пенза, 2015.- С. 61-64.

2. Пуков, Р.В. Топливный насос с гомогенизацией топлива [Текст] / Р.В. Пуков // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Современное состояние прикладной науки в области механики и энергетики». - Чебоксары, 2016.- С. 496-503.

3. Пуков, Р.В. Улучшение экологических характеристик автотракторных дизелей за счёт энергонасыщения топлива [Текст] / Р.В. Пуков // Принципы и технологии экологизации производства в сельском, лесном и рыбном хозяйстве. Материалы 68-ой Международной научно-практической конференции, посвященной Году экологии в России. II Международная научно-практическая конференция. Сборник статей. - Рязань, 2017.- С. 251-254.

4. Пуков, Р.В. Испытания дизеля YANMAR 4TNV88-BGGE, укомплектованного устройством для энергонасыщения топлива [Текст] / Р.В. Пуков // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Межвузовский сборник научных трудов. - Саранск : Издательство Мордовского университета, 2017.- С. 59-64.

5. Пуков, Р.В. Стендовые испытания бензинового двигателя, укомплектованного устройством для ультразвуковой обработки топлива [Текст] / Р.В. Пуков // Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. Межвузовский сборник научных трудов. - Саранск : Издательство Мордовского университета, 2017.- С. 64-68.

6. Пуков, Р.В. Оценка времени нахождения топлива в зоне ультразвуковой обработки [Текст] / Р.В. Пуков, С.А. Кожин // В сборнике: Совершенствование системы подготовки и дополнительного профессионального образования кадров для агропромышленного комплекса. Материалы Национальной науч.-практ. конф., 2017. - С. 165-169.

*Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать лазерная
Усл. печ. л. 1 Тираж 100 экз. Заказ № 1395
подписано в печать 09.10.2018 г
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Рязанский государственный агротехнологический университет
имени П. А. Костычева»
390044, г. Рязань, ул. Костычева, 1
Отпечатано в издательстве учебной литературы и
учебно-методических пособий
ФГБОУ ВО РГАТУ
390044 г. Рязань, ул. Костычева, 1*