

На правах рукописи



Мещеряков Александр Геннадьевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО
УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ И АКТИВАЦИИ ДИЗЕЛЬНОГО
СМЕСЕВОГО ТОПЛИВА**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Мичуринск – наукоград РФ, 2022

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

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Нагорнов Станислав Александрович

Официальные оппоненты: **Хохлов Алексей Леонидович,**
доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация мобильных машин и технологического оборудования» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина»
Улюкина Елена Анатольевна,
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Материаловедение и технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет - Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева»

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вятский государственный агротехнологический университет»

Защита диссертации состоится 30 июня 2022 года в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 999.179.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» по адресу: 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101, зал заседаний диссертационных советов, тел./факс (47545) 3-88-13, e-mail: dissov@mgau.ru.

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

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

Автореферат разослан « ___ » _____ 2022 г.

Учёный секретарь диссертационного совета, кандидат технических наук, доцент



Н.В. Михеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В современном мире с каждым годом все более остро встает вопрос топливной эффективности и экологичности техники с дизельными силовыми установками. Однако, оснащенность данной техникой, отвечающей требованиям современных реалий, в сельском хозяйстве остается на низком уровне. Согласно данным департамента растениеводства, механизации, химизации и защиты растений Минсельхоза России средний возраст тракторов АПК составляет 19,95 лет. Это побуждает научное сообщество к разработке технических средств, позволяющих решить данную проблему автотракторной техники.

Согласно статистическому сборнику «Сельское хозяйство в России. 2021» средние цены на дизельное топливо, приобретенное сельскохозяйственными организациями с 2010 по 2020 гг. выросли с 17 058 тыс. рублей до 48 063 тыс. рублей соответственно, рост в указанный период составил более, чем в 2,8 раза. Постоянно ужесточающиеся требования к экологическим нормативам дизельного топлива заставляют производителей уменьшать в его составе серосодержащих соединений. Это дополнительно удорожает его, и пагубно влияет на эксплуатационные показатели топливной аппаратуры. Кроме того, доля некондиционного топлива в общем объеме постоянно растет. Так по данным департамента растениеводства, механизации химизации и защиты растений Минсельхоза России с 2014 по 2017 гг. рост составил 13,3 %, а именно, в 2014 году из 185 взятых проб некондиционных оказалось – 38, что составило 20,5%, в 2017 году из 145 проб – 49, а это уже 33,8%.

Таким образом, производители сельхозпродукции становятся заложниками битвы за экологические показатели с одной стороны, и финансовыми издержками на покупку топлива и ремонт техники с другой. На рынке получается ситуация, при которой подорожанию топлива способствует и растущие цены на нефть, и дополнительные расходы нефтеперерабатывающих заводов на требуемую очистку топлива.

Для производителей сельхозпродукции более выгодна ситуация, при которой часть топлива будет восполняться за счет собственных ресурсов, и расходоваться более эффективно. Другими словами, необходимо перейти на дизельное смесевое топливо. Однако, данный переход имеет и ряд не решенных вопросов. К ним можно отнести короткий срок хранения, ухудшение физико-химических свойств, снижение мощностных показателей дизельных двигателей. Поэтому поиск эффективных способов получения и улучшения дизельного смесевого топлива является актуальным и своевременным.

Для реализации процесса получения и улучшения дизельного смесевого топлива применяются устройства, позволяющие обрабатывать топливо непосредственно перед попаданием в камеру сгорания. Для улучшения дизельного смесевого топлива применяются узкоспециализированные устройства комбинированного принципа воздействия. Однако, внедрению таких устройств в автотракторную технику препятствует недостаточная изученность влияния на топливную систему и возможности реализации.

Таким образом, в условиях постоянно растущих цен и объемов некондиционного топлива на рынке остро встает вопрос в необходимости разработки устройств по улучшению качества дизельного смесового топлива, доступных конечному потребителю.

Диссертационная работа выполнялась в ФГБНУ ВНИИТиН в 2015-2021 гг. в соответствии с программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы «Научно обосновать новые методы и средства повышения эффективности использования углеводородных топлив, электроэнергии и альтернативных источников энергии в сельском хозяйстве».

Степень разработанности темы. Вопросом улучшения технико-экологических показателей качества дизельного топлива (повышением эксплуатационной мощности, снижением эксплуатационного расхода топлива, снижением выбросов вредных веществ в отработанных газах дизельных двигателей) занимались отечественные и зарубежные ученые: Улюкина Е.А., Хохлов А.Л., Лиханов В.А., Митусова Т.Н., Егоров И.Н., Волгин С.Н., Воробьев Ю.В., Мурамович В.Г., Нагорнов С.А., Данилов А.М., Голубев И.Г., Федоренко В.Ф., Марков В.А., Уханов А.П., Девянин С.Н., Gad M.S., Vivek Ugare, M. Piyush, P. Gaugav, Rathod, M. Tushar. Работы ученых посвящены изучению изменения основных физико-химических свойств дизельного топлива под воздействием полей различной природы и присадок, а также биодизельного топлива. Проведенные теоретические и экспериментальные исследования говорят об эффективности использования биодизельного топлива в дизельном двигателе без преобразований его конструкции. Однако, используемое дизельное смесовое топливо обладает повышенной вязкостью, способностью к расслоению, а исходное дизельное топливо не всегда соответствует стандартам качества.

Цель исследований: улучшение технико-экологических показателей работы дизельного двигателя за счет получения и обработки дизельного смесового топлива комбинированным модуль-смесителем, встроенным в топливную систему.

Задачи исследований:

1. Обосновать способ повышения эффективности получения и обработки дизельного смесового топлива.
2. Обосновать конструкцию ультразвукового модуля комбинированного устройства для получения и улучшения качества дизельного смесового топлива, с возможностью встраивания в топливную систему автотракторной техники.
3. Установить закономерности, повышающие эффективность работы ультразвукового модуля комбинированного модуль-смесителя при обработке топлива.
4. Провести экспериментальные исследования топливной аппаратуры, определить технико-экономические и экологические показатели дизельного двигателя при работе на дизельном и дизельном смесовом топливе, обработанном в комбинированном модуль – смесителе.
5. Оценить экономическую эффективность от реализации результатов исследований.

Объект исследований. Технологический процесс получения, обработки и применения дизельного смесового топлива с использованием комбинированного модуль-смесителя.

Предмет исследования. Закономерности изменения физико-химических свойств дизельного смесового топлива, обработанного в комбинированном модуль-смесителе и технико-экологических показателей двигателя внутреннего сгорания.

Научная новизна результатов исследования:

— Математическая модель, описывающая зависимость характеристик ультразвукового излучения от параметров ультразвукового модуля комбинированного модуль - смесителя;

— Алгоритм расчета высоты и ширины сопла, угла заточки, длины и толщины пластины ультразвукового модуля, написанный на языке программирования Haskell;

— Зависимости изменения кинематической вязкости дизельного топлива при различных показателях мощности и времени ультразвуковой обработки, а также давления в топливной системе;

— Техничко-экологические показатели дизельного двигателя при работе на дизельном смесовом топливе, полученном и обработанном во встроеном в топливную аппаратуру комбинированном модуль-смесителе.

Теоретическая и практическая значимость результатов работы.

Теоретически обоснована и экспериментально доказана возможность использования в топливной системе дизельного двигателя комбинированного модуль-смесителя, позволяющего улучшить его технико-экологические показатели.

Теоретическая значимость заключается в разработке способа обработки дизельного топлива, разработке программы для расчета параметров ультразвукового модуля. Техническая новизна подтверждена патентом RU на изобретение № 2645676 «Способ очистки дизельного топлива».

Практическую значимость имеет разработанный комбинированный модуль-смеситель для обработки дизельного и дизельного смесового топлива, встраиваемый в топливную систему дизельного двигателя, обеспечивающий улучшение качества дизельного и дизельного смесового топлива, увеличение производительности, снижение расхода топлива и улучшения экологических показателей.

Методология и методы исследования. Теоретические исследования проводились согласно законам классической механики, гидродинамики, массообмена. Экспериментальные исследования выполнялись с использованием методов исследования качества топлива, стендовых испытаний топливной аппаратуры и полевых исследований. Все исследования проводились с использованием стандартных (ГОСТ 2177-99; ГОСТ 6307-75; ГОСТ Р 51069-97; ГОСТ 17.2.2.02-98; ГОСТ 7057-2001; ГОСТ 33-2016; ГОСТ 20287-91; ГОСТ 10578-2020; ГОСТ 10579-2017; ГОСТ 30745-2001; ГОСТ 6365-75) и частных методик. Результаты экспериментов обрабатывались методами математической

статистики, с применением прикладных программ Microsoft Excel, Mathcad, языка программирования Haskell.

Основные научные положения, выносимые на защиту:

- теоретическая зависимость влияния параметров ультразвукового модуля на свойства дизельного смесового топлива;

- тенденция изменения физико-химических свойств обрабатываемого дизельного смесового топлива;

- рациональная схема комбинированного модуль-смесителя для обработки дизельного смесового топлива с заданными вязкостно-плотностными свойствами;

- технико-экологические показатели дизельного двигателя при работе на дизельном смесовом топливе, полученном и активированном во встроенном в топливную аппаратуру комбинированном модуль-смесителе.

Степень достоверности и апробация результатов исследования подтверждается достаточным количеством выполненных экспериментов, использованием стандартных и частных методик, современных приборов и оборудования, совпадением результатов теоретических и экспериментальных исследований с результатами, полученными другими авторами по данной тематике, наличием актов внедрения результатов исследований, выступлением с докладами на международных конференциях, одобрением и публикацией результатов исследованием в открытой печати. Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и получили положительную оценку: на международных симпозиумах и научных конференциях: «Актуальные проблемы биологии и экологии» (2017г., г. Грозный), «Инновационные технологии в науке и образовании» (2018г., с. Дивноморское), «Наука и образование для устойчивого развития экономики, природы и общества» (2021г., г. Тамбов), «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства» (2021г., г. Тамбов), «Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК» (2021г., г. Москва), «Инновационные технологии и технические средства для АПК» (2021г., г. Воронеж), «Научно-технический семинар по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок им. проф. Крутова» (2022 г., г. Москва).

Соответствие паспорту специальности. Диссертационные исследования соответствуют паспорту специальности 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства», п. 6 «Исследование условий функционирования сельскохозяйственных и мелиоративных машин, агрегатов, отдельных рабочих органов и других средств механизации технологических процессов в сельскохозяйственном производстве, в т.ч. с применением альтернативных видов топлива», п. 11 «Разработка инженерных методов и технических средств обеспечения экологической безопасности в сельскохозяйственном производстве» и п. 9 Положения о присуждении ученых степеней – изложены новые, научно обоснованные технические, технологические или иные решения и разработки, имеющие существенное значение для развития страны.

Реализация результатов работы. Результаты работы используются в КФХ «Роса» (Тамбовская область, Рассказовский район), АО РТП «Некрасовское» (Тамбовская область, г. Рассказово), КФХ «Киселев» (Тамбовская область, Рассказовский район), КФХ «Наседкин» (Тамбовская область, Рассказовский район), ИП «Осипов» (Тамбовская область, Рассказовский район). Практическое использование результатов позволило уменьшить топливные затраты, сократить выход из строя топливной аппаратуры и получить положительный экологический эффект.

Публикации. По результатам выполненной работы опубликовано 18 печатных работ, в том числе 9 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 1 статья Web of Science. Получен 1 патент Ru № 2645676 С1 «Способ очистки дизельного топлива», 1 свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2021616350. Объем публикаций составляет 10,56 печ. л., из них автору принадлежит – 3,59 печ. л.

Личный вклад автора состоит в проведении анализа литературных и патентных источников по теме диссертации, в проведении и обработке результатов теоретических и экспериментальных исследований, разработке, сборке и встраивании модуль-смесителя в топливную систему трактора, проведение полевых исследований дизельного двигателя, а также участие в апробации результатов исследования на всероссийских и международных конференциях.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Работа изложена на 123 страницах машинописного текста, содержит 65 рисунков, 16 таблиц, приложения на 18 страницах. Список использованной литературы включает 125 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулирована цель и задачи исследований, научная новизна, приведены основные научные положения, выносимые на защиту.

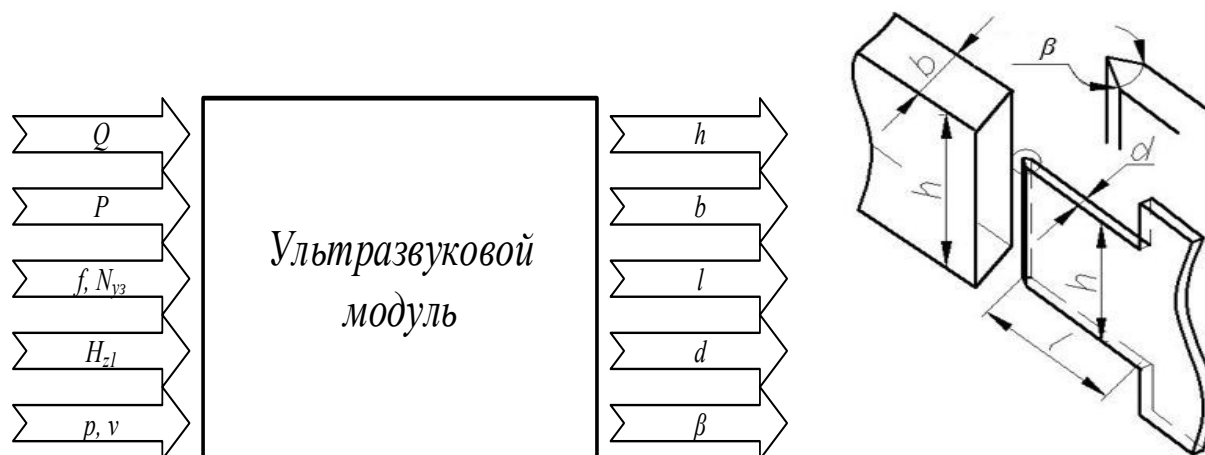
В **первой главе** «Анализ основных способов повышения качества дизельного топлива» проведен анализ работ по исследуемой теме. Проанализирован ряд факторов, обуславливающих необходимость улучшения качества дизельного топлива за счет применения биодизельного топлива и обработки топлива волновым воздействием. Представлена классификация основных способов улучшения качества дизельного топлива. Выполнен обзор нетрадиционных физических способов обработки дизельного топлива: электромагнитных, ультразвуковых, комбинированных. На основании анализа научной и патентной литературы сформулированы цель и задачи исследований.

Во **второй главе** «Теоретическое обоснование процесса получения и обработки дизельного смесового топлива» предложена конструкция модуль-смесителя, представлено математическое моделирование ультразвукового модуля комбинированного модуль-смесителя, составлена принципиальная схема получения и обработки дизельного смесового топлива.

Проводили математическое моделирование ультразвукового модуля комбинированного модуль-смесителя для получения и обработки дизельного смесевоего топлива. На рисунке 1 представлены основные входные (полученные на основе предварительных экспериментальных данных на лабораторной установке) и выходные параметры ультразвуковой обработки. Зная некоторые параметры протекающей жидкости (дизельного топлива, дизельного смесевоего топлива) и предварительные параметры ультразвуковой обработки рассчитывали параметры ультразвуковой пластины: высоту и ширину сопла, длину и толщину ультразвуковой пластины, угол заточки пластины.

При расчете параметров ультразвукового излучателя комбинированного модуль-смесителя были сделаны следующие допущения:

- высота сопла равны высоте генератора ультразвуковых колебаний (пластины);
- генератор ультразвуковых колебаний находится на расстоянии 1 мм от сопла;
- толщина пластины не может быть больше ширины сопла



Q – расход жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$; P – давление, Па; ρ – плотность жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; ν – кинематическая вязкость жидкости, $\text{м}^2/\text{с}$; N_{uz} – мощность излучателя, Вт; H_{zl} – частота колебаний, Гц; h – высота сопла, м; b – ширина сопла, м; l – длина ультразвуковой пластины, м; d – толщина пластины, м; β – угол заточки пластины, °; f – амплитуда колебания пластины, м.

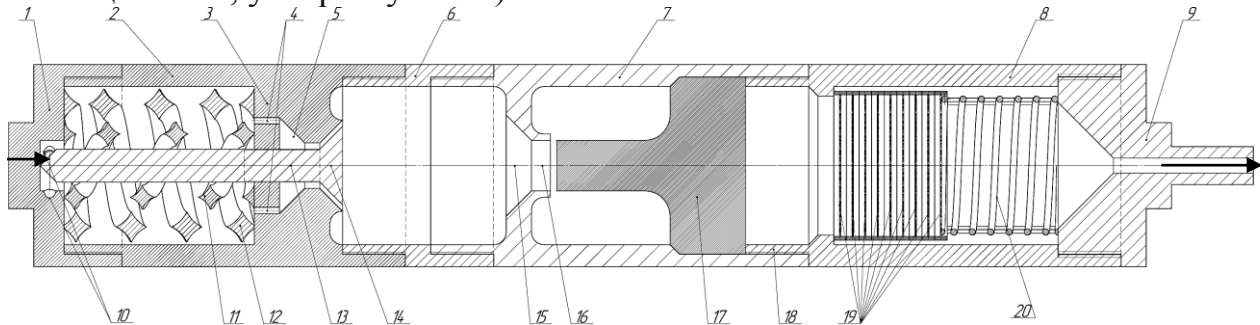
Рисунок 1 – Основные параметры ультразвуковой обработки и схема ультразвуковой пластины

Для определения размеров ультразвуковой пластины были введены коэффициенты λ и λ_1 , учитывающие геометрию сопла и соотношение ширины сопла к толщине пластины. С учетом введенных коэффициентов λ λ_1 и , общих законов гидродинамики и их преобразований, получена система уравнений, описывающая математическую модель:

$$\left\{ \begin{array}{l} F = \pi \frac{(6.3 \cdot v)^2 \cdot \rho}{2 \cdot P}, \\ d = \frac{\lambda}{\lambda_1} \sqrt{F}, \\ I = \frac{N_{y3}}{F}, \\ l = \sqrt{\frac{11,2 \frac{\lambda}{\lambda_1} \sqrt{F}}{\pi H z_1} \sqrt{\frac{E}{\rho_1}}}, \\ \beta = \frac{1}{2} \arcsin \left(\frac{f \cdot 10^8 \cdot g h^3 \cdot b^5}{\rho Q^3 l^3 t} \right). \end{array} \right.$$

где F - площадь сопла, м²; E - модуль упругости, Н/м²; f - амплитуда колебания пластинки, м; t - время перемещения частицы, с; I - интенсивность излучения, Вт/м². Для решения уравнений модели разработано программное обеспечение на языке программирования Haskell, позволяющее рассчитывать параметры (F , l , d , β , h) и коэффициенты λ , λ_1 ультразвукового модуля комбинированного модуль-смесителя для обработки дизельного смесевоего топлива с заданными вязкостно-плотностными свойствами.

На рисунке 2 представлен комбинированный модуль-смеситель, в котором инициируется многофакторное воздействие на смесь (гидродинамическое, кавитационное, ультразвуковое).



1 – крышка, 2 – корпус первого модуля, 3 – перегородка, 4 – каналы, 5 – камера промежуточная, 6 – корпус второго модуля, 7 – корпус третьего модуля, 8 - корпус четвертого модуля, 9 – крышка торцевая, 10 – тангенциальный ввод, 11, 12 – винтовые элементы, 13 – стержень цилиндрический, 14 – вставка цилиндрическая, 15 – выемка конусообразная, 16 – сопло прямоугольное, 17 – пластина, 18 – паз, 19 – решетки, 20 – пружина.

Рисунок 2 – Схема усовершенствованного комбинированного модуль-смесителя

Комбинированный модуль-смеситель состоит из нескольких элементов, которые можно компоновать различным образом.

На рисунке 3 представлен разработанный ультразвуковой модуль, входящий в состав комбинированного модуль-смесителя, за счет которого происходит активация топлива.

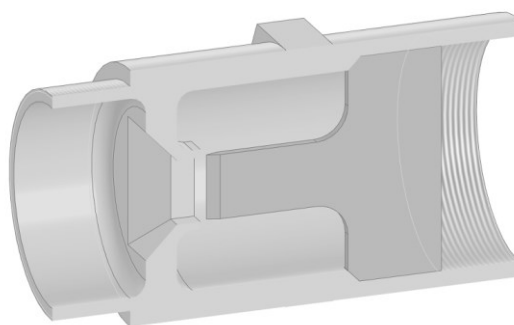


Рисунок 3 – 3d модель ультразвукового модуля

Модульный принцип строения позволяет вносить изменения в конструкцию смесителя, что дает возможность при обработке топлива добиваться требуемых физико-химических свойств.

В третьей главе «Программа и методика экспериментальных исследований» представлена методика экспериментальных исследований, рассмотрены экспериментальные установки, специальные измерительные приборы и оборудование. Исходное дизельное и дизельное смесевое топливо подвергали обработки в комбинированном модуль-смесителе. На рисунке 4 показан внешний вид установки для обработки топлива. Установка состоит из модуль-смесителя, емкостей исходных продуктов, насосов. В модуль-смесителе происходит одновременное смешение и обработка дизельного смесевого топлива.



Рисунок 4 - Внешний вид установки с комбинированным модуль-смесителем для обработки топлива

Качество обработанного топлива оценивали по основным физико-химическим свойствам (фракционный состав, плотность, кинематическая вязкость, температура помутнения, температура застывания, температура вспышки в закрытом тигле) согласно стандартным методикам, а состав топлива определяли хроматографическим способом.

Проводили стендовые испытания топливной аппаратуры (стенды: КИ 3333, КИ-921М рисунок 5). На первом этапе проведено демонтаж, регулирование, настройка и проверка технического состояния топливной аппаратуры трактора ЮМЗ-6Л по стандартным методикам. В ходе второго этапа, на настроенной топливной аппаратуре трактора ЮМЗ-6Л определялись

основные показатели работы топливной аппаратуры для разных видов топлива – дизельного и дизельного смесового топлива.



Рисунок 5 – Внешний вид стенов для испытания топливной аппаратуры

Исследования влияния, обработанного в комбинированном модуль-смесителе топлива на работу дизельного двигателя в полевых условиях, проводили на тракторах ЮМЗ-6Л (с двигателем марки Д – 65Н), со встроенным в топливную аппаратуру комбинированным модуль-смесителем, и ЮМЗ-6АЛ (Д – 65Н) с топливной аппаратурой в штатной комплектации. Исследования состояли из двух этапов. На первом оценивали производительность дизеля трактора ЮМЗ-6Л (с двигателем марки Д – 65Н) с установленным модуль-смесителем. На втором производилось сравнение ресурсных характеристик топливных аппаратур, установленных на тракторах ЮМЗ-6Л и ЮМЗ-6АЛ, работающих на разных видах топлива. В ходе исследований оценивали работу тракторов по технико-экономическим и экологическим параметрам. Измерения экологических показателей (дымность, концентрации углеводородов и оксидов азота в отработанных газах) осуществляли приборами Инфракар Д и Газоанализатором ГИАМ-29М-4 (рисунок 6).

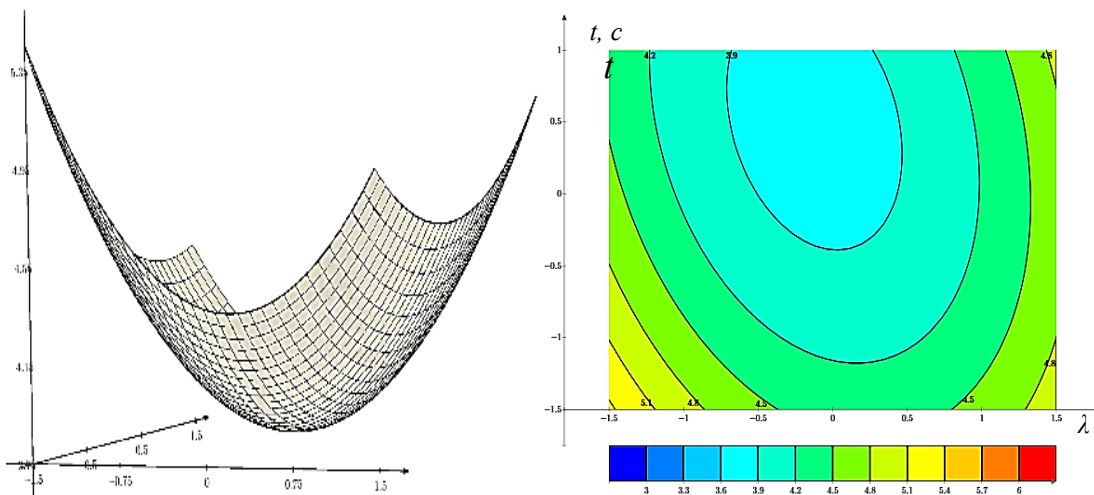


Рисунок 6 – Полевые исследования технико-экономических и экологических параметров дизельного двигателя

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» приведены результаты исследования параметров ультразвуковой обработки на физико-химические свойства дизельного и смесового дизельного топлива; установлен состав дизельного и дизельного смесового топлива с применением и без ультразвукового модуля в модуль-смесителе; приведены результаты стендовых испытаний топливной аппаратуры трактора ЮМЗ-6Л при использовании дизельного и дизельного смесового топлива, а также полевые исследования технико-экономических и экологических параметров при работе дизельного двигателя с встроенным комбинированным модуль – смесителем.

В результате ультразвуковой обработки дизельного топлива при разных параметрах с учетом плана эксперимента получено уравнение регрессии,

описывающее зависимость $\nu = f(\lambda, t, P)$: $Y = 3,819 + 0,027X_1 - 0,145X_2 - 0,233X_3 + 0,123X_1X_2 - 0,036X_1X_3 - 0,06X_2X_3 + 0,366X_1^2 + 0,158X_2^2 - 0,142 \cdot X_3^2$ (где Y – кинематическая вязкость топлива, ν мм²/с; X_1 - коэффициент отношения высоты сопла к ширине λ ; X_2 - время обработки t , с; X_3 - давление на входе в смеситель P , кПа). На рисунке 7 представлено влияние времени обработки и коэффициента отношения высоты сопла к ширине ультразвуковой пластины на изменение кинематической вязкости топлива.



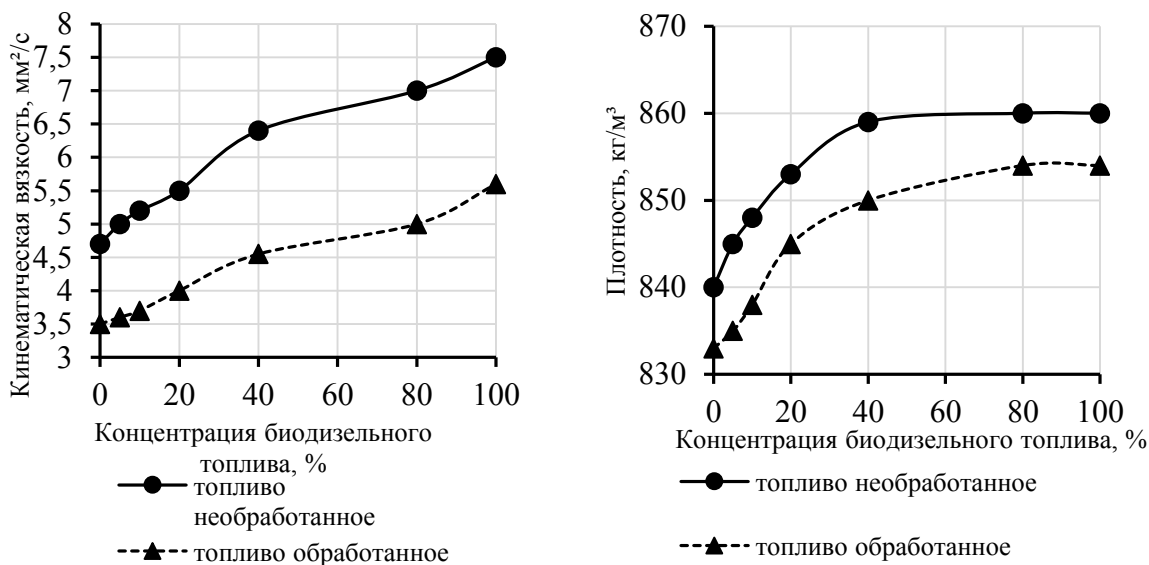
а)

б)

Рисунок 7 – Поверхность отклика $Y = f(X_1, X_2)$ (а), сечение поверхности откликов X_1, X_2 (б) при нулевом уровне варьирования X_3

Для достижения максимального снижения кинематической вязкости (3,4-3,6 мм²/с) дизельного топлива определены оптимальные параметры работы смесителя: коэффициент отношения высоты сопла к ширине 0,25-0,35, время обработки 27-38 с и давление 212-213 кПа.

На рисунке 8 представлено сравнение основных физико-химических свойств полученного топлива с применением ультразвукового модуля и без в модуль-смесителе.



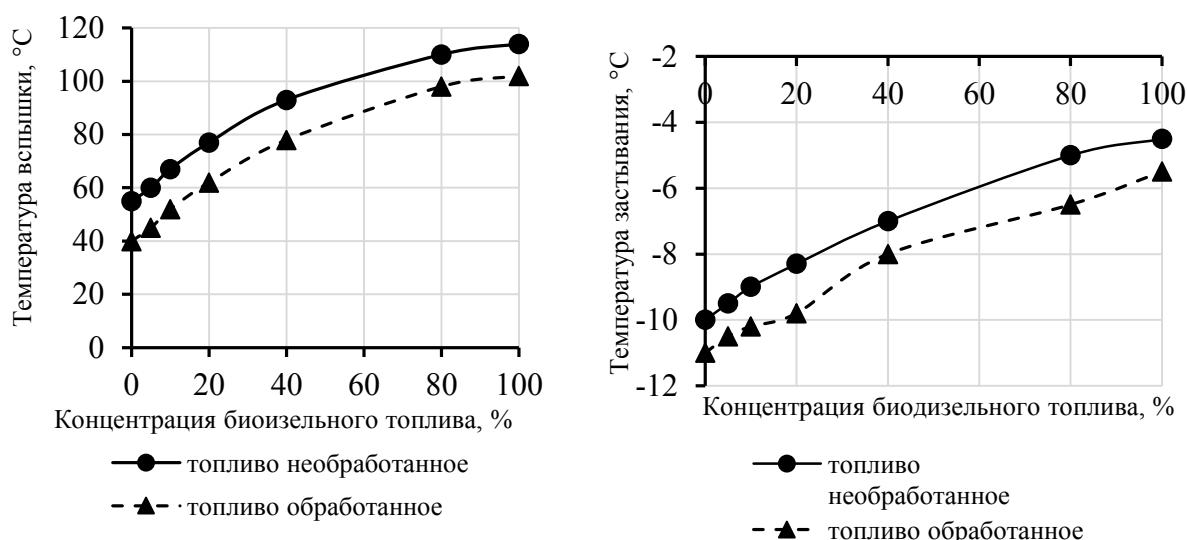


Рисунок 8 – Физико-химические свойства топлив

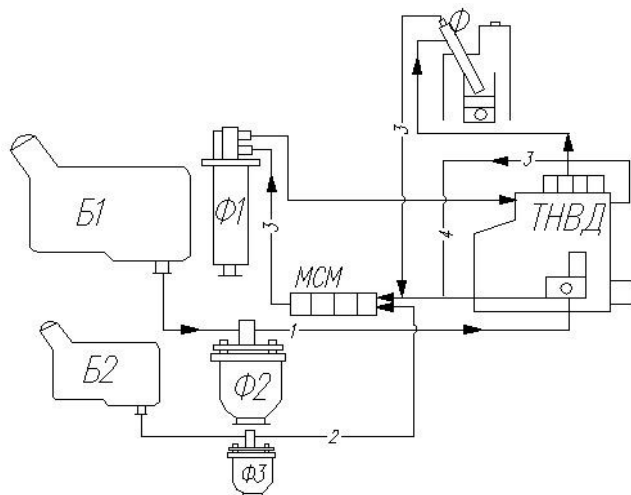
Применение ультразвукового модуля в составе комбинированного модуль-смесителя способствует улучшению основных физико-химических показателей дизельного и дизельного смесового топлива: снижению значений кинематической вязкости, плотности, температуры вспышки. В тоже время обработка способствует увеличению цетанового числа и улучшению низкотемпературных свойств, однако при этом низкотемпературные свойства 20 % дизельного смесового топлива остаются хуже, чем у дизельного. Данное изменение физико-химических свойств происходит в следствии изменения углеводородного и жирнокислотного составов исследуемых топлив.

Для проверки гипотезы о наиболее подходящем топливе на базе АОр РТП «Некрасовское» (Тамбовская область, г. Рассказово) были проведены стендовые испытания топливной аппаратуры ТНВД 65Н-1100150 с комплектом форсунок ФД-22 трактора ЮМЗ-6Л.

Анализ результатов стендовых испытаний показал, что наименьшее отклонение от регулировочных показателей работы топливной аппаратуры ТНВД 65Н-1100150 с комплектом форсунок ФД-22 трактора ЮМЗ-6Л наблюдается при использовании 20 % дизельного смесового топлива.

На основании параметров работы подкачивающего насосы ТНВД и расчетных данных ультразвукового модуля был изготовлен комбинированный модуль – смеситель для работы с 20 % дизельным смесовым топливом. На рисунке 9 показана схема и общий вид топливной системы с модуль- смесителем.

В ходе исследований установлено, что работа трактора на смесовом дизельном топливе положительно влияет на ресурс основных агрегатов топливной системы, таких как распылители форсунок, плунжерные пары ТНВД, подкачивающий насос. Так в сравнении с аналогичной топливной аппаратурой, работающей на дизельном топливе, после 960 моточасов наработки показатели распылителей форсунок, работающих на смесовом биодизельном топливе выше на 3 %, пусковая подача плунжерных пар – на 12,5%, цикловая подача плунжерных пар – на 4,6%, подкачивающего насоса на 7,89%.



Б1 – бак для дизельного топлива, Б2 – бак для биодизельного топлива, Ф1 – фильтр тонкой очистки, Ф2, Ф3 – фильтры грубой очистки, МСМ – модуль-смеситель, ТНВД – топливный насос высокого давления, Ф – форсунки. 1 – дизельное топливо; 2 – биодизельное топливо; 3 – дизельное смесевое топливо; 4 – дренаж.

Рисунок 9 - Схема и фото топливной системы трактора ЮМЗ-6Л с модуль-смесителем

Дымность, концентрация углеводородов дизельного смесевое топлива в отработанных газах уменьшается по мере добавления в него биодизельного топлива, а концентрация оксидов азота увеличивается. Дымность 20% дизельного смесевое топлива ниже дизельного топлива на 11%, концентрация углеводородов на 9,5%, концентрация оксидов азота выше на 1,7%

При испытании трактора с встроенным комбинированным модуль-смесителем на разных видах дизельных смесевых топлив и дизельном топливе установлено изменение технико-экономических показателей и производительности трактора ЮМЗ – 6Л с двигателем Д-65Н (таблица).

Таблица – Техничко-экономические показатели и производительность двигателя Д-65Н при работе на разных видах топлив

Показатель	Виды топлива			
	дизельное топливо	20% дизельное смесевое топливо	30% дизельное смесевое топливо	50% дизельное смесевое топливо
S , га	0,1	0,1	0,1	0,1
$\Delta\tau$, ч	0,25	0,23	0,27	0,28
G_T , кг/ч	8,04	7,93	8,1	8,25
P , га/ч	0,4	0,43	0,37	0,36
q , кг/га	20,1	18,239	21,87	23,1

где S – площадь экспериментального участка, га; ΔG_T – навеска топлива, кг; $\Delta\tau$ – время, за которое расходуется навеска топлива, ч.

Максимальная производительность (P) зафиксирована при работе на 20% дизельном смесевом топливе - на 7,5% выше, чем при работе на дизельном топливе. Дальнейшее увеличение биодизельного топлива до 30% и 50% в

смесевом приводит к снижению производительности на 7,5% и 10% соответственно. Это объясняется тем, что рабочие параметра комбинированного модуль-смесителя подобраны под обработку 20% дизельного смесевоего топлива.

Минимальный удельный расход топлива на единицу обрабатываемой площади (q) зафиксирован при работе на 20% смесевом топливе - на 9,3% ниже, чем при работе на дизельном топливе. Дальнейшее увеличение биодизельного топлива до 30% и 50% в смесевом приводит к повышению удельного расхода на единицу обрабатываемой площади на 8,8% и 15% соответственно.

В пятой главе «Экономическое обоснование результатов исследований» произведен расчет экономического эффекта от применения 20% дизельного смесевоего обработанного топлива в комбинированном модуль-смесителе, встроенным в топливную систему трактора ЮМЗ-6Л на примере небольшого КФХ Тамбовской области. Экономическая эффективность на единицу техники 23.646 руб./год или 118.229 руб./год на небольшое КФХ из 5 тракторов.

Заключение

На основании расчетов уравнений математической модели, исследований условий обработки топлива, стендовых испытаний топливной аппаратуры усовершенствована конструкция комбинированного модуль-смесителя, состоящая из нескольких модулей, которые можно компоновать различным образом. Разработана конструкция ультразвукового модуля.

Усовершенствованный комбинированный модуль-смеситель изменяет состав и свойства обрабатываемого топлива. Обработка встроенным в топливную аппаратуру автотракторной техники комбинированного модуль-смесителя 20% дизельного смесевоего топлива позволяет улучшить технико-экономические показатели дизельного двигателя.

1. Обоснован способ обработки дизельного и дизельного смесевоего топлива комбинированием волновых воздействий с ультразвуковой обработкой.

2. Разработана конструкция ультразвукового модуля комбинированного модуль-смесителя.

3. Разработана математическая модель и алгоритм расчета параметров (F , l , d , β , h) и коэффициентов λ , λ_1 ультразвукового модуля для обработки дизельного смесевоего топлива с заданными вязкостно-плотностными свойствами. Определен интервал площади сечения сопла F [8,7– 21,5] мм², интервал угла заточки пластины β [0,3° - 88°], интервал длины пластины l [7,41 – 25] мм, интервал высоты пластины h [9,29- 14,64] мм, интервал толщины пластины d [0,62 – 0,98] мм, интервалы коэффициентов λ и λ_1 [0,1 - 0,4] и [1,4 - 1,8] соответственно. Установлена максимальная интенсивность ультразвукового воздействия для разных видов топлив [38,3 - 65,4] Вт/см², при частоте 200 кГц, мощностях ультразвукового излучателя 90 Вт и коэффициенте λ [0,1-0,4].

4. Установлены оптимальные параметры работы ультразвукового модуля: коэффициент отношения высоты сопла к ширине 0,25-0,35, время обработки 27-38 с и давление 212-213 кПа.

5. Установлено улучшение свойств и состава обработанного топлива комбинированным модуль-смесителем: снижение кинематической вязкости (28 - 30%), плотности (2-3%), температуры вспышки (на 15°С), легких (0,19%) и

тяжелых фракций (3,61%); увеличение цетанового числа (8%), средних фракций (3,78%).

6. Установлено повышение параметров работы топливной аппаратуры на 50% дизельном смесевом топливе (при 40°C): цикловой подачи на 7,3 %, пусковой подачи на 18% и давления подкачивающего насоса на 3,75%.

Установлено улучшение параметров работы топливной аппаратуры на 20% дизельном смесевом топливе после 960 моточасов наработки топливной аппаратуры трактора с встроенным комбинированным модуль-смесителем: показателей распылителей форсунок на 3 %, пусковой подачи плунжерных пар – на 12,55%, цикловой подачи – на 4,6%, подкачивающего насоса на 7,86% по сравнению с показателями аналогичной топливной аппаратуры, работающей на дизельном топливе.

7. Установлено изменение экологических и технико-экономических показателей при работе трактора на обработанном 20% дизельном смесевом топливе: дымность снижается на 11%, концентрация углеводородов снижается на 9,5%, концентрация оксидов азота повышается на 1,8%, производительность повышается на 7,5%, удельный расхода топлива на единицу обрабатываемой площади снижается на 9,3 %.

8. Определено рациональное соотношение дизельного и биодизельного топлив (80%:20%).

9. Экономическая эффективность от использования 20% дизельного смесевоего топлива, обработанного в комбинированном модуль-смесителе, встроенным в топливную систему трактора ЮМЗ-6Л составляет 23.646 руб./год на единицу техники.

Рекомендации к производству.

Использование предложенной конструкции встраиваемого комбинированного модуль-смесителя в топливную аппаратуру автотракторной техники совместно с технологией получения и улучшения дизельного смесевоего топлива целесообразно на предприятиях АПК при улучшении физико-химических свойств дизельного топлива, и его обработки перед сгоранием в дизельных двигателях автотракторной техники.

Дальнейшая разработка темы.

Дальнейшие исследования по данной тематике будут посвящены улучшению низкотемпературных свойств дизельного и температуры вспышки дизельного смесевоего топлива путем модернизации используемых модулей, входящих в состав комбинированного модуль-смесителя.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

Публикации в изданиях Web of Science:

1. **Мещеряков, А.Г.** Получение биодизельного топлива из непищевого растительного сырья / А.Г. Мещеряков, С.А. Нагорнов, Ю.В. Мещерякова, //

Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2017. – Т. 7. – № 3(22). – С. 110-116.

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

2. **Мещеряков А.Г.** Исследование влияния биодизельного топлива на работу топливной аппаратуры / А.Г. Мещеряков, Ю.В. Мещерякова, С.А. Нагорнов, Марков В.А. // Грузовик. – 2022. - № 2. – С. 17-25.

3. **Мещеряков, А.Г.** Расчет и исследование параметров ультразвукового излучателя комбинированного смесителя / А.Г. Мещеряков, Ю.В. Мещерякова, С.А. Нагорнов // Наука в центральной России. – 2022. – № 1(55). – С. 71-81.

4. **Мещеряков, А.Г.** Исследование параметров механовоздействия на кинематическую вязкость топлив / А.Г. Мещеряков, Ю.В. Мещерякова, И. В. Бусин, [и др.] // Наука в центральной России. – 2021. – № 3(51). – С. 128-135.

5. **Мещеряков, А.Г.** Исследование работы топливной аппаратуры трактора на смесевом топливе с встроенным модульным смесителем / А.Г. Мещеряков, С.А. Нагорнов, Ю.В. Мещерякова // Наука в центральной России. – 2021. – № 5(53). – С. 90-95.

6. **Мещеряков, А.Г.** Очистка биотоплива углекислым газом / А.Г. Мещеряков, С.А. Нагорнов, Ю.В. Мещерякова // Вестник аграрной науки Дона. – 2018. – № 2(42). – С. 48-53.

7. **Мещеряков, А.Г.** Биотопливо из нетрадиционных растительных масел / А.Г. Мещеряков, С.А. Нагорнов, А. Ю. Корнев, Ю.В. Мещерякова [и др.] // Наука в центральной России. – 2017. – № 2(26). – С. 53-61.

8. **Мещеряков, А.Г.** Улучшение качества дизельных топлив за счет использования соединений на основе возобновляемой биомассы / А.Г. Мещеряков, С.А. Нагорнов, А.Ю. Корнев, Ю.В. Мещерякова [и др.] // Наука в центральной России. – 2017. – № 4(28). – С. 61-71.

9. **Мещеряков, А.Г.** Экспериментальное исследование работы дизельного двигателя на смесевом топливе / А.Г. Мещеряков, Ю.В. Мещерякова, С.А. Нагорнов, // Тракторы и сельхозмашины. – 2016. – № 1. С.9 – 11.

10. **Мещеряков, А.Г.** Синтез биодобавки к дизельному топливу / А.Г. Мещеряков, Ю.В. Мещерякова, С.А. Нагорнов, И.В. Ерохин [и др.] // Наука в центральной России. – 2016. – №1. – С. 15 – 22.

Патенты РФ, свидетельства программы для ЭВМ:

11. Способ очистки дизельного топлива: пат. 2645676 С1 Российская Федерация, МПК, С10G 27/12, С10G 32/02, В01J 19/12. / **А.Г. Мещеряков**, А.Ю. Корнев, С.А. Нагорнов, И.В. Бусин; заявитель и патентообладатель ФГБНУ ВНИИТиН - № 2017110133; заявл. 27.03.2017; опубл. 27.02.2018

12. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021616350 Российская Федерация. Моделирование процесса экстракции липидов из микроводорослей: № 2021615492; заявл. 13.04.2021; опубл. 20.04.2021 / **А. Г. Мещеряков**, Ю. В. Мещерякова; заявитель ФГБНУ «ВНИИТиН»

Публикации в сборниках докладов и материалах международных научно-практических конференций, и других изданиях:

13. Мещеряков, А.Г., Исследование влияния биодизельного топлива на работу дизельной топливной аппаратуры/ А.Г. Мещеряков, В.А. Марков, Ю.В. Мещерякова, Нагорнов С.А. // Всероссийская научно-техническая конференция по автоматическому управлению и регулированию теплоэнергетических установок им. проф. В.И. Крутова. 26 января 2022 года. – Москва: ГОУ ВПО МГТУ им. Н.Э. Баумана. – С. 35-38.

14. Мещеряков, А.Г. Исследование работы топливной аппаратуры на смесевом топливе / А.Г. Мещеряков // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XXI Международной научно-практической конференции, Тамбов, 28–29 сентября 2021 года. – Тамбов: ФГБНУ "ВНИИТиН", 2021. – С. 139-144.

15. Мещеряков, А.Г. Получение смесевое топлива для улучшения качества дизельного топлива / А.Г. Мещеряков, Ю.В. Мещерякова, // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов, Воронеж, 11–12 ноября 2021 года. – Воронеж: ВГАУ им. Императора Петра I, 2021. – С. 140-143.

16. Мещеряков, А.Г. Исследование свойств смесевое топлива, полученного с помощью механовоздействия / А.Г. Мещеряков, Ю.В. Мещерякова, А.Ю. Корнев // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: Материалы XIII Международной научно-практической интернет-конференции, п. Правдинский, Московская обл., 08–10 июня 2021 года. – п. Правдинский, Московская обл.: Росинфорагротех (Правдинский), 2021. – С. 518-522.

17. Мещеряков, А.Г. Совершенствование технологии получения композитного моторного топлива для дизельных двигателей / А.Г. Мещеряков, С. В. Романцова, А. Ю. Корнев // Инновационные технологии в науке и образовании: Сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, с. Дивноморское, 05–09 сентября 2018 года / Редколлегия Ю.Ф. Лачуга [и др.]. – с. Дивноморское: Общество с ограниченной ответственностью "ДГТУ-ПРИНТ", 2018. – С. 51-55.

18. Мещеряков, А.Г. Биотопливо на основе непищевых масленичных растений / А.Г. Мещеряков // Актуальные проблемы биологии и экологии: Материалы международной заочной научно-практической конференции, Грозный, 04 мая 2017 года. – Грозный: ИП Овчинников Михаил Артурович (Типография Алеф), 2017. – С. 88-92.

Отпечатано в Издательском доме
«Державинский».
Подписано в печать 19.04.2022 г. Формат 60×84/16.
Бумага офсетная №1. Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз.
Заказ № 22361

ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина»
392000, г. Тамбов, ул. Интернациональная, 33.
Издательским дом «Державинский»
392008, г. Тамбов, ул. Советская, 190г
Тел. +7 (4752) 45-28-19