

На правах рукописи

Руденко Иван Иванович

**ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ
ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА БИОТОПЛИВЕ**

Специальность 4.3.1. Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Москва 2023

Работа выполнена на кафедре технического сервиса машин и оборудования в ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева».

Научный руководитель: **Апатенко Алексей Сергеевич,**
доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технический сервис машин и оборудования» ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева»

Официальные оппоненты: **Дунин Андрей Юрьевич,**
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Теплотехника и автотракторные двигатели» ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

Глазков Юрий Евгеньевич,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Техника и технологии автомобильного транспорта» ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет»

Защита состоится «19» октября 2023 года в «13:00» часов на заседании диссертационного совета 35.2.030.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», по адресу: 127434, г. Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел/факс: 8 (499) 976-21-84.

С диссертацией можно ознакомиться в центральной научной библиотеке имени Н. И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева» и на сайте университета www.timacad.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета 35.2.030.03
канд. тех. наук, доцент

Пуляев
Николай Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В энергетической стратегии развития Российской Федерации на период до 2035 года большое внимание уделено необходимости использования возобновляемых источников энергии и, в частности, из растительной биомассы для производства экологически чистого моторного топлива. К такому моторному топливу относится смесевое растительно-минеральное топливо (дизельное смесевое топливо), состоящее из смеси рапсового масла (РМ) и дизельного топлива (ДТ).

Использование натуральных растительных масел в качестве компонента для растительно-минерального топлива осложняется существенными отличиями физических, химических и эксплуатационных свойств смесевое топлива от свойств стандартного топлива. От этих свойств во многом зависят параметры топливоподачи и смесеобразования.

В связи с этим исследования, направленные на изучение показателей работоспособности топливной системы дизельных двигателей на биотопливе, являются актуальными и практически значимыми для машин и агрегатов агропромышленного комплекса и экономики страны.

Степень разработанности темы исследования. На сегодняшний день известен ряд работ, посвященных влиянию биодобавок из рапсового масла на мощностные показатели, максимальное давление впрыскивания, остаточное давление и экологические характеристик дизельного двигателя. Их авторами являются отечественные и зарубежные ученые ведущих институтов и организаций, а именно: Д.Б. Бубнов; Д.С. Буклагин; П. Вальехо; С.М. Гайдар; Ю.Е. Глазков; И.Г. Голубев; С.Н. Девянин; А.Ю. Дунин; А.Н. Зазуля; В.А. Иванов; М.Н. Кочетков; А.П. Ликсутин; С.А. Нагорнов; Д.А. Рачкин; А.П. Ротанов; М.В. Рыблов; Г.С. Савельев; Е.А. Салыкин; О.Н. Слепцов; А.П. Уханов; В.Ф. Федоренко; Е.А. Федянов; В.Л. Чумаков и др.

Целью исследования является разработка рекомендаций по модернизации и обслуживанию топливной системы дизельных двигателей, работающих на смесевом топливе с биодобавками из рапсового масла.

Научная новизна:

– установлено количественное влияние содержания рапсового масла в дизельном топливе на максимальное давление впрыскивания, остаточное давление в системе двигателя 740.30 и его экологические характеристики;

– установлено влияние содержания рапсового масла в дизельном топливе на прочность фильтрующего материала очистки топлива и предложена методика оценки.

Задачи исследования:

1. Выполнить анализ исследований по влиянию биодобавок в дизельное топливо на работоспособность дизельных двигателей, выявить тенденции

использования рапсового масла как альтернативного топлива для дизельных двигателей и влияние биодобавок на работоспособность топливной аппаратуры.

2. Определить теоретические предпосылки адаптации топливной системы дизельных двигателей для работы на биотопливе, особенности его обслуживания и обоснование необходимости подогрева топлива с биодобавками.

3. Экспериментально определить эффективные (мощностные, экологические, параметры системы топливоподачи и работоспособность форсунок и фильтров топливной системы и др.) показатели дизельных двигателей при работе на товарном дизельном топливе и смесевых топливах.

4. Представить результаты исследований влияния биодобавок в дизельном топливе на работоспособность форсунок, фильтров топливной системы, резинотехнических изделий и на мощностные, экологические показатели дизельных двигателей. Изучить влияние плотности и вязкости биотоплива на характеристики топливоподачи дизельного двигателя.

5. Разработать рекомендации по обслуживанию топливной системы дизельных двигателей с использованием смесового биотоплива и оценить их экономическую эффективность.

Теоретическую и практическую значимость работы составляют:

- рекомендации по модернизации и техническому обслуживанию топливной аппаратуры дизельных двигателей, работающих на смесовом топливе;
- устройство для подогрева смесового топлива, которое вмонтировано в фильтр тонкой очистки.

Объектом исследования являются предприятия, эксплуатирующие и обслуживающие транспортно-технологические машины в АПК.

Предметом исследования выступают показатели надежности дизельных двигателей транспортно-технологических машин в АПК, работающих на смесовом топливе.

Методология и методы исследования представлены теоретическими исследованиями изменения показателей топливоподачи, мощности, экологические, работоспособность форсунок, фильтров топливной системы и экспериментальными исследованиями работы двигателей на дизельном смесовом топливе. Использование при обработке результатов исследований программы SPSS Statistics.

Положения, выносимые на защиту:

- теоретические предпосылки повышения показателей безотказности топливной аппаратуры дизельных двигателей, путем подогрева биотоплива;
- зависимости параметров топливоподачи от содержания биодобавок из рапсового масла в дизельном топливе, в том числе в подогретом состоянии;

– результаты сравнительных испытаний дизельных двигателей при использовании товарного дизельного и топлива с биодобавками из рапсового масла.

Степень достоверности и апробация результатов подтверждена в ЗАО «Агрофирма» Восток; СПК «Волжский», ООО «АвтоПартнер-Сервис», АО «Зеленаградское», войсковой части 3641 и в учебном процессе ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева при подготовке специалистов по направлениям «Агроинженерия», «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», «Наземные транспортно-технологические средства», что подтверждается актами внедрения.

Апробация работы. Результаты работы были доложены, обсуждены и получили положительную оценку на: Материалы XII Международной научно-практической интернет-конференции «ИнформАгро-2020» (г. Москва, Инновационные технологии и технические средства для АПК, 2020 г.); XVI Международной научно-практической конференции (г. Барнаул, Аграрная наука – сельскому хозяйству, 2021 г.); семинаре «Чтения академика В.Н. Болтинского» (г. Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022 г.); Национальной научно-технической конференции профессорско-педагогического состава, аспирантов и студентов МФ МГТУ имени Н.Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ за 2021 год (г. Москва, МФ МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2022 г.); Международном научном форуме «Наука и инновации – современные концепции» (г. Москва, 2022 г.); Семинар «Чтения академика В.Н. Болтинского», г. Москва, МГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2023 г.; Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК «Материалы XV Международной научно-практической конференции «ИнформАгро-2023» (Московская область, г.о. Пушкинский, р.п. Правдинский, Ресурсоэнергосберегающие технологии для производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Технический сервис в АПК) и др.

Публикации. По результатам выполненной работы опубликовано 30 печатных работ, в том числе 11 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, получено 2 патента на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, общих выводов, списка используемых источников, включает 193 наименования, в том числе 28 на иностранном языке и приложения. Работа изложена на 210 страницах, содержит 23 таблицы, 61 рисунок и 22 формулы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, дана общая характеристика работы, изложены основные научные положения и результаты исследований, выносимые на защиту.

В первой главе проведен анализ состояния и перспектив использования биотоплива для дизельных двигателей. Одним из наиболее доступных вариантов замены дизельного топлива является использование рапсового масла (далее РМ).

На основании анализа выявлена необходимость определения влияния добавок из РМ, используемого в качестве топлива, на работоспособность топливной аппаратуры дизельных двигателей, в том числе параметры топливоподачи, экологические и мощностные показатели дизельных двигателей.

Во второй главе представлены теоретические предпосылки адаптации топливной системы дизельных двигателей для работы на биотопливе и особенности ее обслуживания, при этом на работоспособность фильтрующего элемента будет существенно влиять наличие биодобавок в топливе. Бумажные фильтрующие элементы (далее ФЭ) при работе на биотопливе чаще забиваются, что приводит к резкому возрастанию гидравлических сопротивлений на ФЭ. В результате бумага ФЭ «засаливается» и топливо в дальнейшем плохо фильтруется. В результате «засаливания» снижаются объем пустот фильтрующих пор и коэффициент пористости фильтра:

$$\varphi_{\text{п}} = \frac{V_{\text{п}}}{V_{\text{о}}}, \quad (1)$$

где: $V_{\text{п}}$ – объем пустот пор, м^3 ; $V_{\text{о}}$ – общий объем пористой среды, м^3 .

Основным критерием работоспособности фильтров тонкой очистки топлива является перепад давления на участке перед фильтром и после фильтра.

Определим гидравлические параметры участка фильтра тонкой очистки (далее ФТО) при использовании дизельного топлива с биодобавками из рапсового масла. Падение давления на ФТО с учетом вязкости применяемого топлива.

$$\Delta p = \frac{\mu Q}{\alpha F}, \quad \pi \alpha, \quad (2)$$

где: μ – динамический коэффициент вязкости применяемого топлива, сСт ; α – конструктивный коэффициент, зависящий от вида фильтрующего элемента ФТО; Q – объемный расход топлива на входе в ФЭ, $\text{м}^3/\text{с}$; F – поверхность фильтрации, м^2 .

Отношение падения давления на ФТО при работе на биотопливе к падению давления на ФТО при работе дизельного двигателя на ДТ равно отношению их коэффициентов динамической вязкости:

$$\frac{\Delta p_{\text{т}}}{\Delta p_{\text{д}}} = \frac{\mu_{\text{т} \rho}}{\alpha F} : \frac{\mu_{\text{д} \rho}}{\alpha F}, \quad (3)$$

$$\frac{\Delta p_{\text{т}}}{\Delta p_{\text{д}}} = \frac{\mu_{\text{т}}}{\mu_{\text{д}}}, \quad (4)$$

где: $\Delta p_{\text{т}}$, $\Delta p_{\text{д}}$ – падение давления на ФТО при работе на дизельном (товарном) и топливе с биодобавками (i – композиция).

$$\mu = \nu \cdot \rho, \quad (5)$$

ν – кинематическая вязкость топлива, $\text{м}^2/\text{с}$; ρ – плотность топлива, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Отсюда:

$$\frac{\Delta P_T}{\Delta P_i} = \frac{V_T \cdot P_T}{V_i \cdot P_i}, \quad (6)$$

или

$$\Delta P_i = \frac{\Delta P_T \cdot V_i \cdot P_i}{V_T \cdot P_T}, \quad (7)$$

где: ΔP_i – перепад сопротивления топлива с биодобавками для конкретного фильтра. Аналогично можно рассчитать параметры для отношения сопротивления на ФТО при работе на различных композициях.

Анализ полученной формулы показывает, что увеличение концентрации биодобавок приведет к увеличению плотности, вязкости, и сопротивления на фильтре, и к уменьшению прокачиваемости топлива. Для повышения работоспособности ФТО следует снизить плотность и вязкость биотоплива.

В третьей главе представлена программа и методика экспериментальных исследований, описаны общая программа и частные методики исследований дизельного двигателя, методика сравнительных исследований в эксплуатационных условиях при работе на дизельном топливе и на смесевом топливе (рисунок 1).

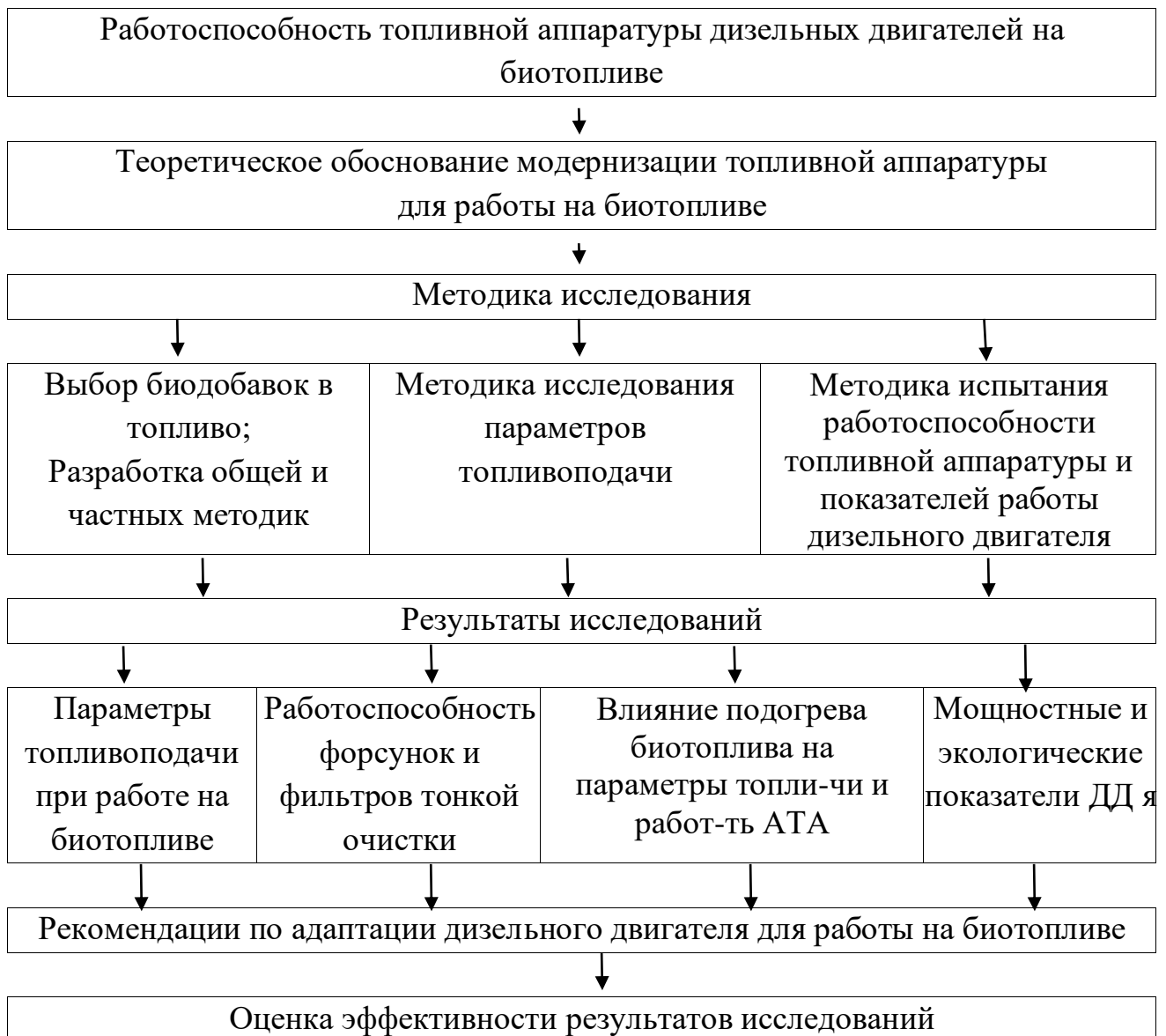


Рисунок 1 – Программа исследований

Программа исследований включает:

- характеристики исследуемого объекта: для исследований выбран дизельный двигатель ЯМЗ-238 и дизельный двигатель 740.10-20.;
- характеристики исследуемого биотоплива: для исследований использовали смесевое топливо.

Для этого товарное дизельное топливо (ДТ) смешивали с рапсовым маслом (РМ). На основании предварительно выполненных исследований готовили смеси ДТ : РМ в следующих пропорциях (25% РМ : 75% ДТ), (50% РМ : 50% ДТ), (75% РМ : 25% ДТ). Рапсовое масло получили в АО «Зеленоградское» Пушкинского района Московской области.

Методика исследования параметров системы топливоподачи дизельного двигателя на биотопливе. Для исследований параметров системы топливоподачи дизельного двигателя применяли мотортестер МО 3-2. В мотортестере предусмотрены следующие режимы измерений для дизельного двигателя: система пуска, режим холостого хода, режим повышенных оборотов, мощность.

На режиме «система пуска» с помощью датчика тока производили измерения параметров системы пуска.

На «режиме холостого хода» производили измерения давления впрыска, максимальное давление впрыска топлива, остаточное давление в топливопроводе высокого давления, длительность подачи топлива.

На «режиме повышенных оборотов» измерения проводили аналогично режиму холостого хода. Частота вращения двигателя устанавливалась 2000 об/мин.

Мощность двигателя измеряли на режиме мотортестера «мощность». Процедуры измерений на различных режимах повторяли с различными композициями топлива, в том числе на товарном дизельном и смесевом топливе.

Методика исследования работоспособности форсунок дизельного двигателя на биотопливе. Исследования проводили на стенде Т 9161-115 для проверки форсунок. На стенде проверили следующие параметры: давление начала впрыскивания; качество распыления топлива; гидравлическую плотность форсунки; герметичность по запирающему конусу распылителя. Производили впрыскивание топлива форсункой в камеру впрыска, создав давление насосом. Частота движения рукояткой насоса равна 60 качаниям в минуту. Затем наблюдали визуально размеры частиц распыленного топлива и плотность их распределения по поперечному сечению факела впрыскиваемого топлива. Начало и конец впрыска четкий и сопровождается характерным звуком. В факеле впрыскиваемого форсункой топлива не должно образовываться отдельных капель и сплошных струек топлива, для исключения подтекания топлива через сопловые отверстия.

Герметичность по запирающему конусу распылителя форсунки проводили, создав насосом в гидросистеме стенда давление на 1...1,5 МПа (10...15 кгс/см²) меньше давления впрыска форсунки.

Методика исследования работоспособности фильтров топливной системы и резинотехнических изделий дизельного двигателя, работающих на биотопливе. В фильтры заливали товарное дизельное топливо и смесевое топливо. Их выдерживали в течение шести месяцев. Испытания фильтровальной бумаги на разрыв проводили на разрывной машине МТ 110-0,5 в ОАО «Центральный институт бумаги». От каждого отобранного фильтрующего элемента вырезали прямоугольные листы, затем полоски. Полоску закрепляли в зажимах разрывной машины. Нагружение с растяжением полоски проводили до разрушения (разрыва). Значение разрушающего усилия определяли по шкале разрывной машины. За результат определения разрушающего усилия бумаги фильтра принимали среднее арифметическое значение измерений, полученных для 10 полосок, и округленное до целого числа по правилам округления.

Образцы резинотехнических изделий были помещены в емкость с товарным дизельным топливом и смесевым топливом и были выдержаны в течение шести месяцев. После выдержки образцов в топливе проводили их визуальное сравнение.

Методика исследования экологических показателей дизельного двигателя, работающего на биотопливе. Для измерения содержания выхлопа (СО, СН) и дымности дизельного двигателя на биотопливе, использовали многокомпонентный газоанализатор «АВТОТЕСТЕР-01.04 М».

В четвертой главе проведены и проанализированы результаты исследования влияния биодобавок на характеристики топливоподачи, работоспособность форсунок, фильтров топливной системы, резинотехнических изделий, на систему пуска и мощность двигателя, на экологические показатели дизельного двигателя при работе на исследуемом дизельном и смесевом топливе с подогревом и без подогрева.

Результаты измерений плотности и вязкости топлива с биодобавками из рапсового масла (рисунок 2, 3).

Установлено, что повышение концентрации биодобавок в дизельное топливо повышает плотность и вязкость смесового топлива. Подогрев топлива снижает показатели вязкости и плотности топлива (рисунок 2, 3).

Влияние биодобавок в дизельном топливе проверяли на различных режимах работы дизельного двигателя. Исследовались как чистое дизельное топливо, так и смесевое с различной концентрацией рапсового масла. Доказано, что содержание рапсового масла в смесевом топливе на угол опережения подачи топлива не влияет.

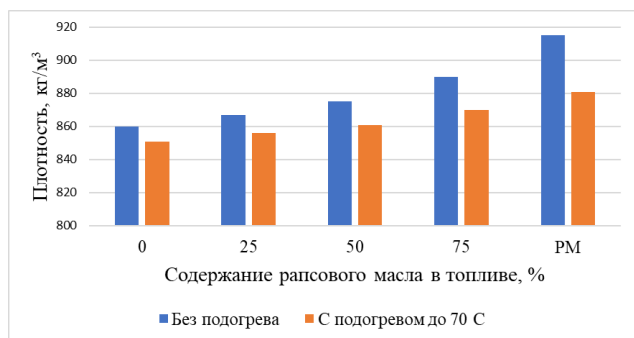


Рисунок 2 – Зависимость плотности биотоплива от содержания рапсового масла

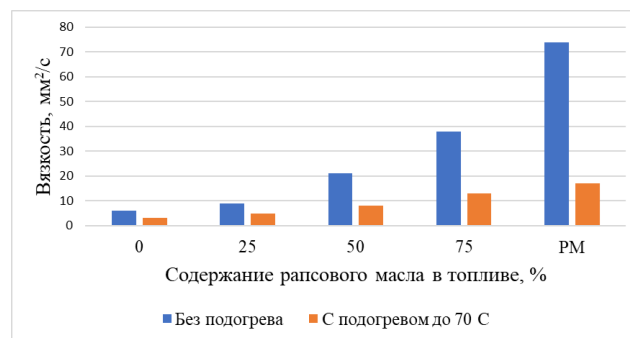


Рисунок 3 – Зависимость вязкости биотоплива от содержания рапсового масла

Как показали результаты испытаний, увеличение концентрации рапсового масла приводит к повышению длительности подачи топлива почти в 1,5 раза (рисунок 4).

Повышение максимального давления впрыска топлива при увеличении содержания рапсового масла в смесевом топливе объясняется высокой вязкостью и плотностью (рисунок 5).

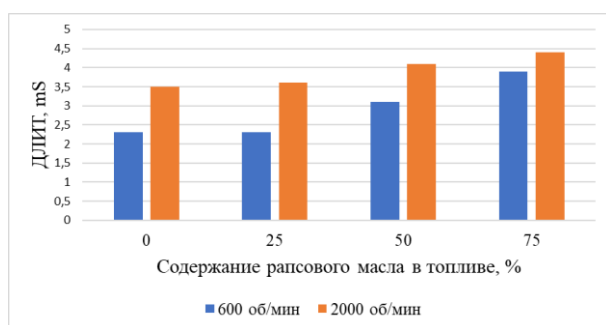


Рисунок 4 – Зависимость длительности подачи топлива от содержания рапсового масла в дизельном топливе

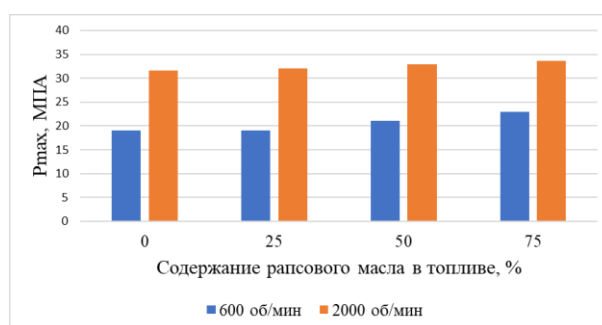


Рисунок 5 – Зависимость максимального давления впрыска топлива от содержания рапсового масла в дизельном топливе

Увеличение концентрации рапсового масла приводит к повышению остаточного давления в топливопроводе высокого давления почти в 1,2 раза. Повышение остаточного давления в топливопроводе высокого давления при увеличении содержания рапсового масла в дизельном топливе объясняется тем, что плотность и вязкость топливных композиций выше, чем у дизельного топлива, а работа срабатывания нагнетательного клапана изменяется в зависимости от топлива (рисунок 6).

При увеличении содержания рапсового масла в дизельном топливе давление начала впрыска форсунок увеличивается. При нагреве смесевое топлива давление начала впрыска форсунок уменьшается (рисунок 7).

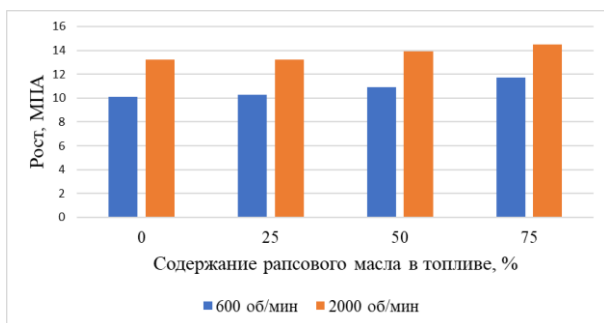


Рисунок 6 – Зависимость остаточного давления в топливопроводе высокого давления от содержания рапсового масла в дизельном топливе

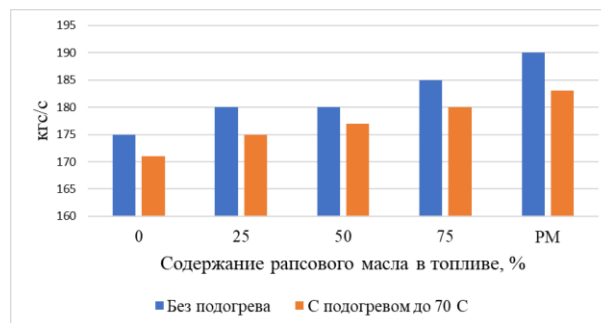


Рисунок 7 – Зависимость давления впрыска топлива форсунки от содержания рапсового масла в дизельном топливе

Результаты исследований зависимости усилия разрыва полосок фильтра от состава смесового топлива представлены (рисунок 8).

Исследования полосок фильтра, который выдерживался в рапсовом масле, усилие на разрыв образца выше и составляет – 90 Н_{ср}. Но топливные фильтры, работающие на смесовом топливе, забиваются больше и быстрее, чем работающие на дизельном топливе. Это связано с маслами, которые находятся в биодобавках. Они быстрее «замазывают» фильтрующие элементы. Поэтому их рекомендуется заменять не через 12 000 км, как рекомендовано заводом-изготовителем, а через 8 000 км пробега. (рисунок 8).

Результаты испытаний параметров мощности дизельного двигателя с использованием мотортестера МО 3-2 представлены (рисунок 9).

Обобщая полученные зависимости, мощности дизельного двигателя от содержания рапсового масла в дизельном топливе, можно сделать следующие выводы: наименьшее снижение мощности обеспечивает состав 25% РМ + 75% ДТ. На всех исследуемых режимах работы дизельного двигателя на смесовом топливе незначительное снижение мощности объясняется тем, что меньшая теплота сгорания (теплотворная способность) компенсируется большим процентным содержанием в нем свободного кислорода, участвующего в процессе сгорания (рисунок 9).

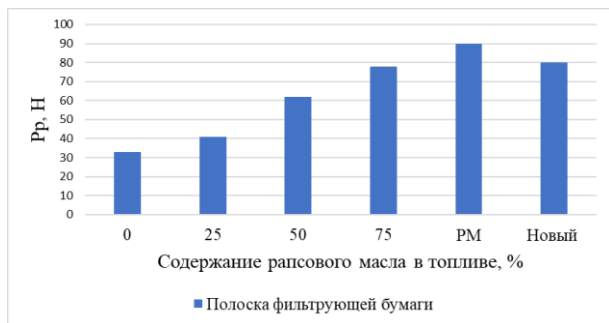


Рисунок 8 – Зависимость усилия разрыва полосок фильтра от содержания рапсового масла в дизельном топливе

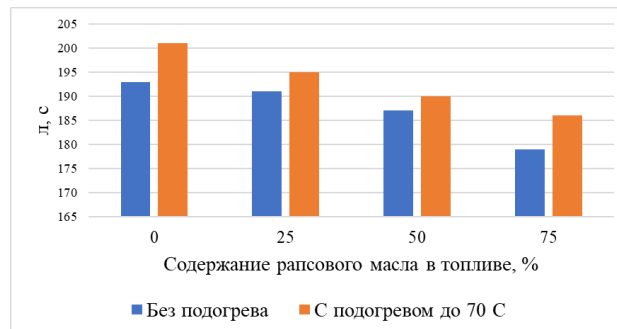


Рисунок 9 – Зависимость мощности дизельного двигателя от содержания рапсового масла в дизельном топливе

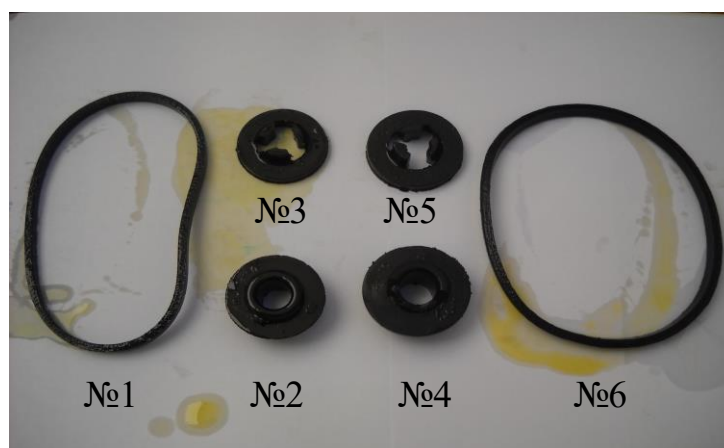


Рисунок 10 – Образцы, выдержанные в емкости с рапсовым маслом (№ 1, 2, 3) и в дизельном топливе (№ 4, 5, 6)

После сравнения видно, что резиновые изделия (№ 1, 2, 3), выдержанные в емкости с рапсовым маслом, остались без изменения и пригодны для дальнейшей работы. Резиновые изделия, извлеченные из емкости с товарным дизельным топливом, выглядели следующим образом: образец № 4 был поврежден, № 5 увеличен в размерах, № 6 растянут на 20 мм в диаметре (рисунок 10).

Результаты системы пуска дизельного двигателя представлены на рисунке 11, 12.

Таким образом, ток, потребляемый стартером в момент пуска, увеличивается с повышением содержания рапсового масла в смесевом топливе (рисунок 11).

С увеличением содержания рапсового масла в смесевом топливе напряжение АКБ в момент пуска уменьшается, т.к. запуск двигателя производится с задержкой на 1...3 секунды и потребление тока стартером увеличивается (рисунок 12).

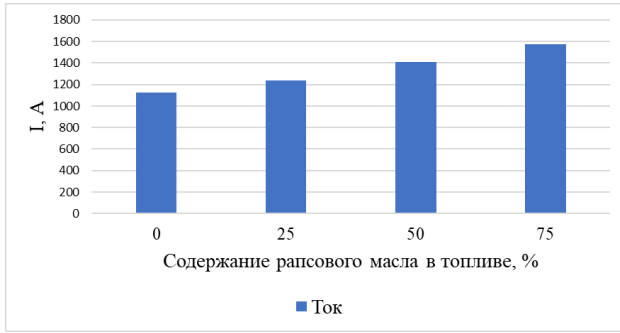


Рисунок 11 – Зависимость тока, потребляемого стартером в момент пуска

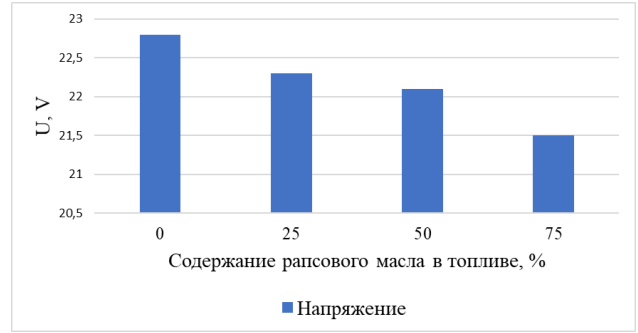


Рисунок 12 – Зависимость напряжения АКБ в момент пуска

Зависимости CO, CH, Ns от содержания рапсового масла в дизельном топливе представлено на рисунках 13, 14, 15 и 16.

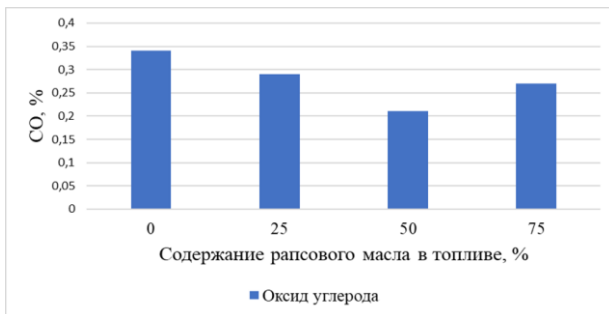


Рисунок 13 – Зависимость CO в выхлопных газах от содержания рапсового масла в дизельном топливе

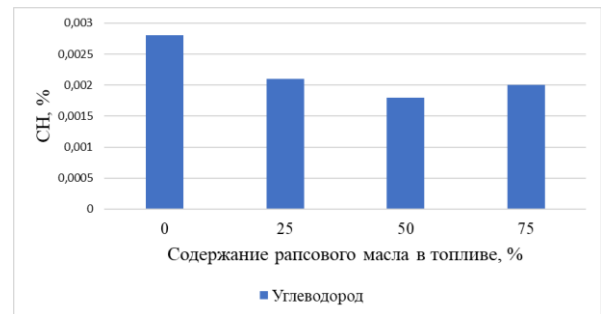


Рисунок 14 – Зависимость CH в выхлопных газах от содержания рапсового масла в дизельном топливе

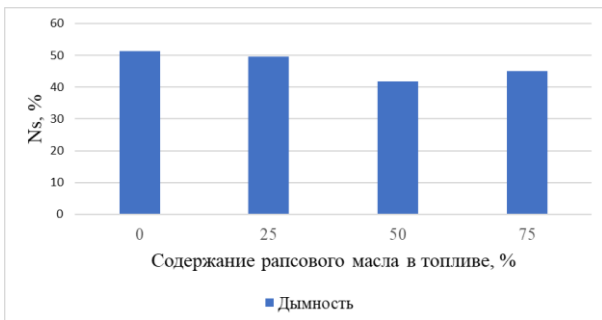


Рисунок 15 – Изменение пиковых значений дымности в режиме свободного ускорения двигателя – (Ns, %) от содержания рапсового масла в дизельном топливе

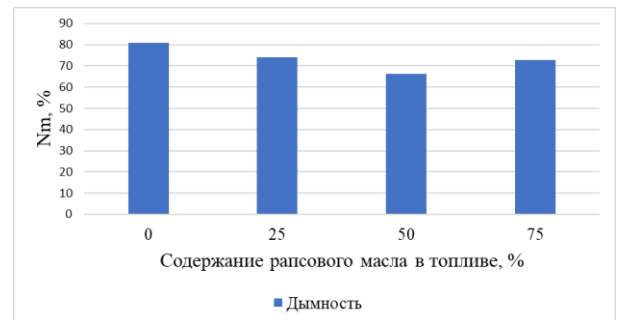


Рисунок 16 – Изменение дымности отработанных газов в режиме максимального числа оборотов двигателя – (Nm, %) от содержания рапсового масла в дизельном топливе

Обобщая полученные результаты зависимостей CO, CH, Ns от содержания рапсового масла в дизельном топливе, можно сделать следующее заключение: при

увеличении концентрации рапсового масла в дизельное топливо экологические показатели улучшаются (рисунок 13, 14, 15 и 16).

В пятой главе для определения различий в достоверности исследований вязкости, плотности, давления, мощности, CO, CH, дымности, напряжения АКБ в момент пуска, тока потребляемого стартером в момент пуска, усилия разрыва полосок фильтра, длительность подачи топлива применялась программа «SPSS Statistics» для обработки результатов исследований.

Проведенные расчеты показали, что определение различий в достоверности исследований вязкости, плотности, давления, мощности, CO, CH, дымности, напряжения АКБ в момент пуска, тока потребляемого стартером в момент пуска, усилия разрыва полосок фильтра, длительность подачи топлива показывает высокий уровень достоверности.

В шестой главе представлена практическая реализация и экономическая эффективность смесового топлива для дизельных двигателей тракторов применявшегося в СПК «Волжский и войсковой части 3641. В результате испытаний установлено, что при пробеге 8000 км у дизельных двигателей на смесовом топливе (75% ДТ : 25% РМ) отказов топливной системы не обнаружено. При работе на смесовом топливе (50% ДТ : 50% РМ) вышли из строя фильтры тонкой очистки топлива при пробеге 8000 км. При работе на смесовом топливе (25% ДТ : 75% РМ) при пробеге 7000 км было обнаружено закоксовывание соплового отверстия форсунки.

В результате проведенных исследований разработано устройство (патент на полезную модель №131420) для подогрева смесового топлива дизельных двигателей. Разработанное устройство отличается простотой монтажа, эксплуатации и решает вопрос, связанный с применением смесового биотоплива, а также облегчает запуск дизельного двигателя в холодное время года. Подогрев смесового топлива при включении питания проточного электрического подогревателя 1 происходит за сравнительно короткое время, благодаря чему резко повышается его текучесть, топливо становится однородным, понижается его плотность и вязкость. Вследствие этого смесовое топливо свободно проходит через фильтр 2 тонкой очистки и предотвращается его закупоривание (рисунок 17). Данное устройство испытано и используется в СПК «Волжский».

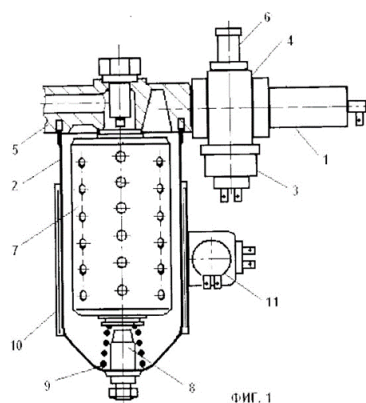


Рисунок 17 – Подогреватель топлива, устанавливаемый в топливный фильтр:
 1 – электрический нагреватель, 2 – фильтр тонкой очистки, 3 – термоэлектрический выключатель, 4 – проставка, 5 – корпус фильтр тонкой очистки, 6 – топливный штуцер, 7 – фильтрующий элемент, 8 – сливной штуцер, 9 – пружина, 10 – дополнительный ленточный электрический нагреватель 11 – термоэлектрический выключатель, 12 – биметаллическая пластина в форме тарелки, 13 – подвижной контактный элемент, 14 – пружину, 15 – нижняя контактная пластина, 16 – верхняя неподвижная контактная пластина, 17 – цилиндрический корпус выключателя 3, 18 – внутренний буртик

Расчет экономической эффективности по использованию биотоплива (25% РМ и 75% ДТ) проводили для условий в АО «Зеленоградское» Московской области.

Таким образом, экономический эффект от внедрения в АО «Зеленаградское» Московской области на один трактор за расчетный период равный 1 095 ч составил 56 263 рубля, а всего предприятия, состоящего из 14 единиц техники 787 693 рубля.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований можно сделать следующее заключение:

1. Теоретически установлено, что наличие биодобавок из рапсового масла в смесевом топливе приводит к нарушению нормальной работы дизельного двигателя, а именно к уменьшению прокачиваемости топлива через фильтр тонкой очистки и теплоты сгорания впрыскиваемого топлива, что требует адаптации системы к этому топливу.

2. Разработана методика испытания фильтрующих элементов по прочности на разрыв и установлено, что использование биодобавок из рапсового масла в дизельном топливе повышает усилие разрыва до 90 Н, в дизельном топливе – 33 Н, т.е. в 2,7 раза ниже. Кроме того, содержание рапсового масла в смесевом

топливе не ухудшает состояние резиновых деталей фильтров, но увеличивает гидравлическое сопротивление на фильтре тонкой очистки.

3. Установлено, что содержание рапсового масла в смесевом топливе не влияет на угол опережения подачи топлива в топливной системе дизельного двигателя КамАЗ 740.30. Однако увеличение концентрации рапсового масла с 25 % до 75 % приводит к повышению длительности подачи топлива почти в 1,5 раза. Особенно характерно повышение длительности подачи топлива на режиме холостого хода. Увеличение концентрации рапсового масла с 25 % до 75 % в смесевом топливе приводит к повышению максимального давления впрыска топлива почти в 1,2 раза и остаточного давления в топливопроводе высокого давления почти в 1,2 раза. Увеличение содержания рапсового масла в дизельном топливе не ухудшает работу форсунок.

4. При увеличении содержания рапсового масла в смесевом топливе до 75% мощность двигателя снижается на 10 кВт (с 141 кВт до 131 кВт) или 7 %, уменьшается содержание оксида углерода в выхлопных газах и снижение дымности.

5. Эксплуатационные испытания после пробега 8000 км у дизельных двигателей, работающих на смесевом топливе с 75% рапсовым маслом, показали, что ресурс топливного фильтра, работающего на смесевом топливе, до замены меньше на 25%, обнаружено закоксовывание соплового отверстия форсунок в отличие от работы на дизельном топливе. Резинотехнические изделия находились в удовлетворительном состоянии.

6. В результате обработки полученных результатов исследований пяти видов топлива (ДТ, РМ, смеси ДТ с 25 % РМ, 50 % РМ, 75 % РМ) программой SPSS Statistics, подтверждены достоверность в различии плотности, вязкости давлений, мощности, СО, СН, дымности и полученные результаты исследований. Полученные результаты, обработанные программой SPSS Statistics, позволяют осуществить весь цикл адаптации (перехода) дизельного двигателя на биотопливо из рапсового масла.

7. Разработаны рекомендации по обслуживанию топливной системы дизельных двигателей для работы на биотопливе, в том числе по регулировке и настройке форсунок, ТНВД, привода управления подачей топлива, угла опережения впрыска топлива, периодичности замены фильтра тонкой очистки, а также по установке устройства для подогрева биотоплива.

8. Разработано устройство для подогрева биотоплива дизельных двигателей (патент на полезную модель №131420). Проведенные испытания устройства для подогрева смесового биотоплива в СПК «Волжский» и войсковой части 3641 показали, что предложенное техническое решение обеспечивает более легкий запуск двигателя и повышает работоспособность топливной аппаратуры, в том числе при низких температурах окружающей среды.

9. При использовании результатов исследований в АО «Зеленоградское» Московской области, получен годовой экономический эффект в 787 693 рубля.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК, по хронологии

1. Руденко, И. И. Работоспособность форсунок дизелей на биотопливе / И. И. Руденко // Лесной вестник. – 2010. – №1 (70). – С. 98–100.
2. Руденко, И. И. Испытания дизеля на биотопливе с использованием «МОТОРТЕСТЕРА МО 3-2» / И. И. Руденко // Лесной вестник. – 2010. – №5 (74). – С. 110–118.
3. Голубев, И. Г. Результаты испытания дизелей на смесевом топливе / И. Г. Голубев, И. И. Руденко // Труды ГОСНИТИ. Т. 107. – 2011.
4. Руденко, И. И. Работоспособность топливной аппаратуры дизелей на топливе с биодобавками из рапсового масла / И. И. Руденко, И. Г. Голубев // Ремонт, восстановление и модернизация. – 2012. – № 8.
5. Голубев, И. Г. Работоспособность топливной аппаратуры дизелей на топливе с биодобавками / И. Г. Голубев, И. И. Руденко, В. И. Панферов // Труды ГОСНИТИ. – Т. 112. – 2013. – № 2.
6. Голубев, И. Г. Испытание дизелей на топливе с биодобавками / И. Г. Голубев, И. И. Руденко // Труды ГОСНИТИ. – Т. 114. – 2014. – № 1.
7. Голубев, И. Г. Влияние биодобавок в смесевое топливо на работоспособность форсунок дизелей / И. Г. Голубев, И. И. Руденко, В. И. Панферов // Труды ГОСНИТИ. – Т. 126. – 2017. – №3.
8. Голубев, И. Г. Влияние биодобавок в смесевое топливо на работоспособность топливной аппаратуры дизельных двигателей / И. Г. Голубев, И. И. Руденко // Техника и оборудование для села. – 2017. – №5. – С. 45–47.
9. Апатенко, А. С. Показатели системы пуска и мощности работы дизеля на биотопливе из рапсового масла / А.С. Апатенко, И.И. Руденко // Естественные и технические науки. – 2021. – №10. – С. 223–227.
10. Апатенко, А. С. Сопоставление согласованности характеристик типовых фильтрующих элементов с работой в биотопливе из рапсового масла / А. С. Апатенко, И. И. Руденко, Н. С. Севрюгина // Естественные и технические науки. – 2022. – № 1. – С. 228–234.
11. Апатенко, А. С. Влияние биотопливных композиций в дизельном топливе на параметры двигателя / А. С. Апатенко И. И. Руденко, А. С. Прибытков // Ремонт, восстановление и модернизация. – 2022. – № 3. – С. 24–27.

Патенты РФ на полезную модель

12. Патент на пол. мод. 129564 Российская Федерация. Устройство для подогрева смесевое топлива / В. И. Панферов, И. Г. Голубев, И. И. Руденко;

заявитель и патентообладатель Моск. гос. унив. леса. – №2012155533/06; заявл. 21.12.2012; опубл. 27.06.2013. Бюл. №18 (П.ч). – 2 с.: ил.

13. Патент на пол. мод. 131420 Российская Федерация. Устройство для подогрева топлива дизельных двигателей / В. И. Панферов, И. И. Руденко, Ю. А. Шамарин; заявитель и патентообладатель И. И. Руденко. – №2012153698/06; заявл. 12.12.2012; опубл. 20.08.2013. Бюл. №23 (П. ч). – 2 с.: ил.

Публикации в сборниках научных трудов и материалах конференций

14. Голубев, И. Г. Работоспособность форсунок топливной аппаратуры дизелей на биотопливе / И. Г. Голубев, И. И. Руденко // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сб. науч. докл. XV междунар. научно-практ. конф. – Тамбов: ГНУ ВИИТиН, 2009. – С. 448–451.

15. Голубев, И. Г. Работоспособность форсунок топливной аппаратуры дизелей на биотопливе / И. Г. Голубев, И. И. Руденко // Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем: Материалы всероссийской научно-технич. конф. – Саранск: ГОУВПО МГУ имени Н. П. Огарева, 2009. – С. 112–115.

16. Голубев, И. Г. Испытание форсунок топливной аппаратуры дизелей на смесевом топливе / И. Г. Голубев, И. И. Руденко // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: Междунар. научно-практ. конф. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2010. – С. 221–224.

17. Голубев, И. Г. Испытание форсунок топливной аппаратуры дизелей на смесевом топливе / И. Г. Голубев, И. И. Руденко. // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: V междунар. научно-практ. конф. – М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2011. – С. 248–252.

18. Голубев, И. Г. Работоспособность топливной аппаратуры дизелей на смесевом топливе / И. Г. Голубев, И. И. Руденко // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сб. науч. докл. XVI междунар. научно-практ. конф. – Тамбов: ГНУ ВИИТиН, 2011. – С. 242–243.

19. Руденко, И. И. Испытания дизеля на биотопливе с использованием «мотортестера МО 3-2» / И. И. Руденко // Технология и оборудование лесопромышленного производства: Науч. Тр. – Вып. 356. – М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2011. – С. 170–177.

20. Голубев, И. Г. Работоспособность фильтров тонкой очистки дизелей, работающих на биотопливе / И. Г. Голубев, И. И. Руденко // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Матер. Междунар. науч.-практ.

конф. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. 2014. – С. 243–245.

21. Голубев, И. Г. Влияние биодобавок из рапсового масла в дизельное топливо на работоспособность фильтров тонкой очистки / И. Г. Голубев, И. И. Руденко. // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: VI междунар. научно-практ. конф. – М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2012. – С. 318–319.

22. Голубев, И. Г. Влияние биодобавок на работоспособность топливной аппаратуры дизелей / И. Г. Голубев, И. И. Руденко, В. И. Панферов // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сб. науч. докл. XVII междунар. научно-практ. конф. – Тамбов: ГНУ ВИИТиН, 2013. – С. 171–172.

23. Голубев, И. Г. Методика и результаты испытания дизелей на смесевом топливе / И. Г. Голубев, И. И. Руденко, В. И. Панферов // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК. Сб. матер. VII Междунар. науч.-практ. конф. «ИнформАгро-2014». – М.: Минсельхоз России, 2014. – С. 357–359.

24. Шамарин, Ю. А. Использование цифровых решений в конструкциях оборудования для диагностирования топливной аппаратуры дизелей лесных машин / Ю. А. Шамарин, И. И. Руденко // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК «Материалы XII Международной научно-практической интернет-конференции «ИнформАгро-2020»; Инновационные технологии и технические средства для АПК. – М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2020. – С. 519–521.

25. Голубев, И. Г. Изменение параметров топливоподачи дизеля при работе на смесевом топливе с биодобавками из рапсового масла / И. Г. Голубев, И. И. Руденко // Аграрная наука – сельскому хозяйству: XVI Международная научно-практическая конференция. – Барнаул: ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ, 2021. – С. 16–18.

26. Апатенко, А. С. Модернизация топливной системы дизельного топлива с установкой системы подогрева для использования биотоплива из рапсового масла / А. С. Апатенко, И. И. Руденко // Сборник «Чтения академика В. Н. Болтинского». – М., 2022. С. 36–43.

27. Апатенко, А. С. Результаты экологических характеристик дизельного двигателя при работе на биотопливе из рапсового масла / А. С. Апатенко, И. И. Руденко // Сборник Международного научного форума «Наука и инновации – современные концепции». – М., 2022. – С. 111–117.

28. Руденко, И. И. Устройство для подогрева биотоплива при использовании в дизельных двигателях / И. И. Руденко, Ю. А. Шамарин // Материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов,

посвящённой 135-летию со дня рождения А. Н. Костякова, г. Москва, 6-8 июня 2022. – С. 645–647.

29. Руденко, И. И. Диагностика дизелей по параметрам пневмо-пульсирующего потока при работе на альтернативных видах топлива / И. И. Руденко, Ю. А. Шамарин // Сборник научных статей Международной научно-практической конференции «Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве» БГАТУ г. Минск, 24-25 ноября 2022. – С. 353–358.

30. Руденко, И. И. Результаты исследования резинотехнических изделий топливных фильтров при взаимодействии с биотопливом / И. И. Руденко, Ю. А. Шамарин // Сборник статей Международного научно-исследовательского конкурса «Молодой исследователь 2022», г. Петрозаводск, 4 декабря 2022. – С. 217–221.