

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева»

На правах рукописи

Руденко Иван Иванович

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

4.3.1 – Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
доктор технических наук,
доцент Апатенко А.С.

Москва – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

УСЛОВНЫЕ СОКРАЩЕНИЯ И ОБОЗНАЧЕНИЯ.....	5
ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	13
1.1. Тенденции в использовании альтернативного топлива для дизельных двигателей.....	13
1.2. Использование рапсового масла в качестве топлива для дизельных двигателей.....	19
1.3. Анализ исследований по влиянию биодобавок в дизельное топливо на работу дизельных двигателей	22
1.4. Влияние биодобавок в дизельное топливо на работу топливной аппаратуры .	30
Выводы по главе 1	38
ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ НА БИОТОПЛИВЕ	40
Выводы по главе 2	51
ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	52
3.1. Программа исследований.....	52
3.2. Методика экспериментальных исследований	53
3.2.1. Характеристика исследуемого биотоплива	53
3.2.2. Методика исследования работоспособности фильтров тонкой очистки топливной системы дизельных двигателей	56
3.2.3. Методика исследования параметров топливоподачи	61
3.2.4. Методика исследования работоспособности форсунок	66
3.2.5. Методика исследования экологических показателей дизельного двигателя	68
3.2.6. Методика исследования мощности дизельного двигателя.....	72
3.2.7. Методика эксплуатационных испытаний	72
Выводы по главе 3	73

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ	74
4.1. Влияние биодобавок из рапсового масла в дизельное топливо на работоспособность фильтров	74
4.1.1. Влияние биодобавок из рапсового масла в дизельное топливо на сопротивление фильтров.....	74
4.1.2. Влияние биодобавок из рапсового масла в дизельное топливо на работоспособность фильтрующих элементов.....	76
4.1.3. Влияние биодобавок из рапсового масла в дизельное топливо на состояние резиновых изделий.....	77
4.2. Влияние биодобавок в дизельное топливо на характеристики топливоподачи.	78
4.3. Влияние биодобавок в дизельное топливо на работоспособность форсунок топливной аппаратуры дизельных двигателей.....	84
4.4. Влияние биодобавок на экологические показатели дизельного двигателя	86
4.5. Влияние биодобавок в дизельное топливо на систему пуска двигателя	86
4.6. Влияние биодобавок в дизельное топливо на мощность двигателя.....	88
4.7. Результаты эксплуатационных испытаний.....	92
Выводы по главе 4	93
ГЛАВА 5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОГРАММОЙ SPSS Statistics	96
5.1. Различия в давлении при проходе топлива через фильтр тонкой очистки	96
5.2. Исследование вязкости различных видов топлива в зависимости от температуры	97
5.3. Исследование плотности различных видов топлива в зависимости от температуры	98
5.4. Исследование давления различных видов топлива в зависимости от температуры	99
5.5. Исследование различий усилия разрыва фильтрующей бумаги в зависимости от вида топлива.....	100
5.6. Исследование различий в длительности подачи топлива в зависимости от оборотов двигателя у различных видов топлива.....	101

5.7. Исследование различий в максимальном давлении впрыска топлива в зависимости от оборотов двигателя у различных видов топлива.....	102
5.8. Исследования различий в давлении начала впрыска форсунки в зависимости от температуры у разных видов топлива	104
5.9. Концентрация продуктов горения топлива в выхлопных газах в зависимости от видов топлива	105
5.10. Ток, потребляемый стартером, и напряжение АКБ в момент пуска.....	109
5.11. Мощность двигателя.....	111
5.12. Остаточное давление в топливопроводе высокого давления.....	112
Выводы по главе 5.....	113
ГЛАВА 6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО АДАПТАЦИИ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ .	
6.1. Рекомендации по обслуживанию топливной системы дизельных двигателей, работающей на топливе с биодобавками	114
6.2. Рекомендации по периодичности обслуживания фильтров тонкой очистки ...	115
6.3. Рекомендации по установке системы подогрева смесового топлива.....	115
6.4. Экономическая эффективность результатов исследований	115
Выводы по главе 6	123
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	125
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	127
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	149

Условные сокращения и обозначения

АКБ – аккумуляторная батарея

ГСМ – горюче-смазочные материалы

Д – дымность

ДД – датчик давления

ДВС – двигатель внутреннего сгорания

ДТ – дизельное топливо

КПД – коэффициент полезного действия

МЭРМ – метиловый эфир рапсового масла

ПЗВ – период задержки воспламенения

ПМ – пресс-машина

РМ – рапсовое масло

РыжМ – рыжиковое масло

СН – углеводород

СО – оксид углерода

СТ – смесевое топливо

ТБО – твердые бытовые отходы

ТНВД – топливный насос высокого давления

ТННД – топливный насос низкого давления

УОПТ – угол опережения подачи топлива

УФС – утяжеленный фракционный состав

ФГО – фильтр грубой очистки

ФТО – фильтр тонкой очистки

NO – оксид азота

NO_x – окислоты

N – выброс отработанных газов

N_s – дымность в режиме свободного ускорения

N_m – дымность в режиме максимальных оборотов

РМЕ – рапсовый метиловый эфир

V – количество жидкости, собранной мерным устройством

ВВЕДЕНИЕ

Сельское хозяйство является основной неотъемлемой частью страны и важнейшей производственной отраслью Российской Федерации, так как продукция сельскохозяйственного назначения приносит значительный вклад в развитие России и в её экономику.

Сельскохозяйственная техника – это широкий спектр технических средств и ремонтно-технических воздействий, предназначенных для повышения производительности и облегчения труда в сельском хозяйстве на предприятиях путем механизации и автоматизации операций. Техника широко применяется особенно в тех странах, где сельское хозяйство является важной частью экономики (Россия, Белоруссия, Китай, Бразилия, Турция, Япония, США и др.).

В настоящее время в сельском хозяйстве, как и в других отраслях широко используются дизельные двигатели, установленные на различных транспортно-технологических машинах и агрегатах.

В общем по России потребление дизельного топлива составляет около топлива за последние 10 лет выросла с 5–7 до 18–23 %, что оказывает существенное влияние на экономические показатели. Учитывая, что сейчас происходит в мировой экономики, а также в связи с санкциями многих стран против России и проведением специальной военной операции, в ближайшее время может произойти повышение роста цен (в 2–2,5 раза) на горюче-смазочные материалы. Проблема высокой стоимости топлива из-за введенных санкций в отношении России может обостриться и привести к снижению объемов производства продукции и росту цен. Вместе с тем, энергетическая стратегия России нуждается в пересмотре, так как ежегодно ущерб от воздействия нефти как вида топлива на окружающую среду увеличивается [8; 9; чистые экологические технологии и необходимость поиска новых источников энергии взамен дизельного топлива, при этом не нарушая природное равновесия и не загрязняя окружающую среду. Интенсивные работы по переводу дизельных двигателей на другие виды топлива ведутся в странах с ограниченными

ресурсами, и в других странах с высоким энергетическим ресурсным потенциалом, а также в развивающихся странах, имеющих возможность приобретения нефтяного топлива [27; 28; 29]. Указом Президента Российской Федерации от 13 мая 2019 года №216 «Об утверждении Доктрины энергетической безопасности Российской Федерации» утверждены основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе возобновляемых источников энергии на период до 2030 года. Рост потребления энергии к 2030 году возрастет до 65 %, что потребует увеличить производство энергоносителей различных видов [18; 19; 180; 181].

Ведущими странами в потреблении и производстве биологического топлива в настоящий момент являются Франция, Германия, Италия, США. По прогнозу, необходимость использования биологического топлива к 2030 г. вырастет по сравнению с 2020 г. на 15 млн т. В нашей стране в последнее время заметно увеличилось производство масличных культур в центральной полосе Липецкой, Белгородской и Воронежской областях, и в Республике Татарстан [21; 22; 23].

Полученное рапсовое масло с помощью холодного отжима уже используется в качестве биотоплива в дизельных двигателях автомобилей КамАЗ, Урал, тракторов «Джон Дир», МТЗ и др. [24; 25; 162; 163]. Разработаны различные рекомендации по составу биотоплива для дизельных двигателей, исследована их работоспособность, в основном по параметрам назначения. Такие работы выполнены в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, в ФГБНУ ВНИИТиН, ФГБОУ ВО Волгоградский ГТУ, ФГБОУ ВО МАДИ, ФГБОУ ВО Тамбовский ГТУ, ФГБОУ ВО Пензенская ГСХА, ФГБОУ ВО МГТУ имени Н.Э. Баумана, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и других научных организациях и вузах. Интенсивно данное научное направление развивается за рубежом [26; 27; 28; 29]. Однако в источниках отсутствуют данные о влиянии биотоплива на работоспособность топливной системы дизельных двигателей. При этом существенную роль в экономии топлива играет питание системы дизельных двигателей. При низком уровне либо при отсутствии технического обслуживания и плохом состоянии топливной системы, скорее всего, ожидается увеличение

(свыше 35 %) расхода топлива. Поэтому, считаем необходимым рекомендовать ввести руководящие документы или ГОСТы, которые будут регулировать техническое обслуживание топливной системы с целью поддержания работоспособности в требуемых параметрах и пределах, чтобы не допустить перерасхода горючего и смазочных материалов (ГСМ). Из-за основных узлов и агрегатов топливной системы дизельных двигателей происходит главный перерасход топлива: – форсунки (примерно 25 %); – топливные насосы высокого давления (свыше 5 %); – фильтры грубой и тонкой очистки (свыше 4 %); – топливные баки (при неплотном закрытии – до 4 %, при подтекании – до 5 %); – топливопроводы (при подтекании – до 5 %); – негерметичность клапана экономайзера (до 20 %) [27; 28; 29; 30].

Поэтому повышение работоспособности топливной аппаратуры дизельных двигателей, работающих на биотопливе, является актуальной научной и практической задачей.

В данной диссертации рассмотрены вопросы работоспособности топливной системы дизельных двигателей на топливе с биодобавками.

Цель исследования: разработка рекомендации по модернизации и обслуживанию топливной системы дизельных двигателей работающих на смесевом топливе с биодобавками из рапсового масла.

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

Предмет исследования: выступают показатели надежности дизельных двигателей транспортно-технологических машин в АПК, работающих на смесевом топливе.

Методы исследований представлены теоретическими исследованиями изменения показателей топливоподачи и экспериментальными исследованиями работы двигателей на дизельном смесевом топливе. Достоверность полученных результатов исследования обусловлена применением современного исследовательского оборудования и приборов, в том числе мотортестера.

Результаты экспериментальных исследований обрабатывались с использованием известных статистических методов и компьютерной техники.

На защиту выносятся:

- 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.

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.

Практическую ценность работы составляют:

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

Реализация результатов исследования: Результаты исследований используются в СПК «Волжский», ЗАО «Агрофирма Восток» Волгоградской области, ООО «АвтоПартнер-Сервис», АО «ЗЕЛЕНОГРАДСКОЕ» Московской области, а также в войсковой части 3641, в учебном процессе РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева при подготовке специалистов по направлениям «Агроинженерия», «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», «Наземные транспортно-технологические средства».

Апробация работы. Результаты работы были представлены, доложены, обсуждены и получили положительную оценку на:

– Научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов МГУ Леса по итогам научно-исследовательских работ за 2008 год (г. Москва, МГУЛеса, 2009 г.);

– XV-й Международной научно-практической конференции: «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства» (г. Тамбов, ГНУ ВИИТиН, 2009 и 2011 гг.);

– Всероссийской научно-технической конференции: «Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем» (г. Саранск, МГУ им. Н.П. Огарева, 2009 г.);

– Международной научно-практической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве» (г. Мичуринск, МичГАУ, 2009 г.);

– Международной научно-практической конференции: «Биоэнергетика и биотехнологии – эффективное использование отходов лесозаготовок и деревообработки» (г. Москва, МГУЛеса, 2009 г.);

– V-й Международной научно-практической конференции: «Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК» (г. Москва, ФГНУ «Росинформагротех», 2010–2011 гг.).

– Научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов Московского Государственного Университета Леса по итогам научно-исследовательских работ за 2009 год (г. Москва, МГУЛеса, 2010 г.);

– Международной научно-практической конференции: «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве» (г. Минск, НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2010 г.);

– Международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию ФГОУ ВПО МГАУ «Интеграция науки, образования и производства в области агроинженерии» (г. Москва, МГАУ им. В.П. Горячкина, 2010 г.);

– Научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов МГУ Леса по итогам научно-исследовательских работ за 2010 год (г. Москва, МГУЛеса, 2011 г.);

– Международной научно-технической конференции: «Научные проблемы развития технического обслуживания, ремонта, восстановления и упрочнения деталей» (г. Москва, ГОСНИТИ, 2010–2011 гг.);

– Международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве» (г. Минск, НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2012 г.);

– VI-й Международной научно-практической конференции: «Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК» (г. Москва, ФГНУ «Росинформагротех», 2012 г.);

– XVII-й Международной научно-практической конференции: «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства» (г. Тамбов, ГНУ ВИИТиН, 2013 г.);

– VII-й Международной научно-практической конференции: «Информ Агро–2014» (г. Москва, Минсельхоз России, 2014 г.);

– XII-й Международной научно-практической интернет-конференции: «ИнформАгро-2020» (г. Москва, Инновационные технологии и технические средства для АПК, 2020 г.);

– XVI-й Международной научно-практической конференции: «Аграрная наука – сельскому хозяйству» (г. Барнаул, 2021 г.);

– Национальной научно-технической конференции профессорско-педагогического состава, аспирантов и студентов МГТУ им. Н.Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ за 2021 год (г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022 г.);

– Международном научном форуме: «Наука и инновации – современные концепции» (г. Москва, 2022 г.);

– Семинаре: «Чтения академика В.Н. Болтинского» (г. Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022 г.);

– Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова (г. Москва РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022 г.);

– Семинаре: «Чтения академика В.Н. Болтинского» (г. Москва, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2023 г.);

– XV-й Международной научно-практической конференции: «ИнформАгро–2023» Ресурсоэнергосберегающие технологии для производства и переработки сельскохозяйственной продукции. Технический сервис в АПК (Московская область, г.о. Пушкинский, р.п. Правдинский. ФГБНУ «Росинформагротех», 2023 г.).

Публикации автора: по результатам выполненного исследования опубликовано 30 печатных работ, в том числе 11 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ: «Лесной вестник», 2010, №1; «Лесной вестник», 2010, №5; Труды ГОСНИТИ, 2011, Том 107, часть 1; «Ремонт, восстановление, модернизация», 2012, №8; Труды ГОСНИТИ, 2013, Том 112, часть 2; Труды ГОСНИТИ, 2014, Том 114, часть 1; Труды ГОСНИТИ, 2017, Том 126; «Техника и оборудование для села», 2017, №5; «Естественные и технические науки», 2021, №10; «Естественные и технические науки», 2022, №1; «Ремонт, восстановление, модернизация», 2022, №3; а также автор имеет 2 патента на полезную модель.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, общих выводов, заключения, списка используемых источников литературы и приложений. Работа изложена на 210 страницах, содержит 23 таблицы, 61 рисунок и 22 формулы.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЯ ВОПРОСА, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Тенденции в использовании альтернативного топлива для дизельных двигателей

Продолжительное время российский топливно-энергетический комплекс использовал и применял энергоносители преимущественно нефтяного происхождения. Но именно в последнее время наметилась тенденция к снижению нефти и нефтепродуктов в российской экономике страны. Это объясняется сниженным темпом роста добычи нефти и договоренностью странами ОПЕК не увеличивать добычу природных ископаемых (нефти), все это вызвано тем, что цена на природные ископаемые стала стремительно расти, а поисково-разведочные работы, освоение и эксплуатация новых месторождений требует новых финансовых инвестиций. Поэтому в Российской экономике намечается дефицит нефти и нефтепродуктов, что создаст предпосылки для использования новых энергетических ресурсов. Топливо-энергетический комплекс Российской Федерации опирается на полезные ископаемые. На протяжении всего двадцатого века экономика нашей страны зиждется на основных энергоносителях – нефти, природном газе и угле [31; 32]. По данным института энергетики и финансов «ИЭФ», в 2010 г. потребление нефти составляло 32,1 %, природного газа – 21,5 %, угля – 28,1 %, в 2017 г. показатели составили 36,7; 24,2; 28,9 % соответственно, в настоящее время потребление нефти составляет более 50 %, природного газа – более 30 %, угля – менее 20 % [33; 34]. Аналогичная тенденция характерна и для всей мировой экономики. В 2010 г. все мировое потребление энергии в качестве топлива составило 10,33 млрд т в дизельном эквиваленте. Пять основных мировых стран (США, Япония, Россия, Китай, Индия) потребляют около 60 % объема первичной энергии. Атомная энергия в настоящее время составляет 6 %, гидроэнергетики – 6 %, энергия минеральных источников – около 88 %. На потребление энергии нефти приходится – 37 %, природного газа – 24 %, угля – 27 % (рис. 1.1) [35].

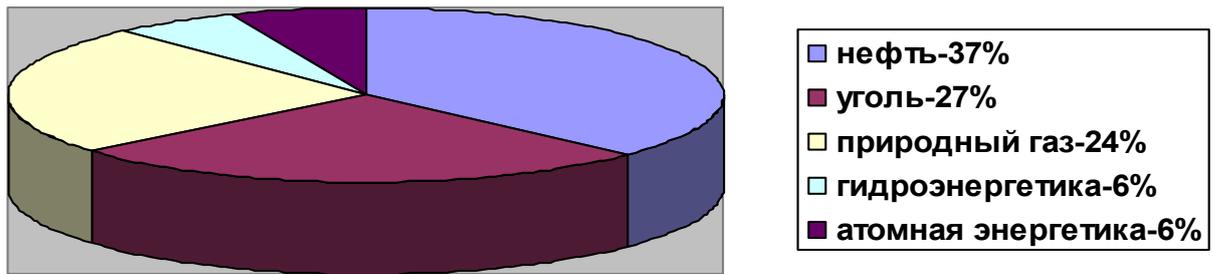


Рисунок 1.1 – Мировое потребление первичной энергии в качестве топлива

Определенный интерес представляет собой мировая динамика потребления энергии. В 1979 г. на долю нефтепродуктов приходилось около 50 % всех энергоносителей, а в настоящее время эта доля составляет 35 %, потребление нефти и ее производных продолжает стремительно сокращаться [35].

Дальнейшее развитие двигателей внутреннего сгорания (ДВС), непосредственно зависит от перспектив использования различных энергоносителей. В качестве сырья для получения существующего и преимущественно нового топлива для дизельного двигателя внутреннего сгорания могут использоваться невозобновляемые источники энергии – полезные ископаемые (нефть, уголь, газ и др.), и возобновляемые ресурсы – сельскохозяйственные и бытовые отходы, растительные масла, животные жиры, древесина, биомасса и др. [36–40].

Таким образом, в связи с увеличением цен на нефтепродукты на фоне проведения специальной военной операции в Украине, истощением запасов энергоносителей нефтепродуктов и газа в недружеской стране США и странах Европы, и непредсказуемостью политической и военной ситуации возникает необходимость в восстановлении и реконструкции топливно-энергетической стабильности, в замещении нефтепродуктов и природного газа другими энергоносителями из альтернативного сырьевого ресурса [12; 13; 14].

Наиболее интенсивные работы по переводу дизельных двигателей на альтернативное топливо ведутся как в странах с высоким энергетическим потенциалом, так и с ограниченными энергетическими ресурсами, а также в высокоразвитых странах (Россия, США и др.), имеющих возможность

приобретения нефтяных энергоносителей [12; 13; 14]. Распоряжением Председателя Правительства России В.В. Путина от 8 января 2009 года №1-р утверждены основные направления государственной политики в сфере повышения энергетической эффективности электроэнергетики на основе возобновляемых источников энергии на период до 2035 года. Уже сейчас можно предположить, что потребление энергии к 2030 году возрастет на 60 %, что потребует увеличения производства различных видов энергоносителей. В связи с этим во многих странах, в том числе и в нашей стране, повышаются требования к экологической безопасности. Наряду с другими возобновляемыми источниками энергии (ВИЭ), все большее внимание в мире и в России уделяется использованию биомассы. В нашей стране имеются большие запасы биоресурсов, в том числе сельскохозяйственные ресурсы. На данный момент в биоэнергетике большое значение приобрело использование различных отходов для производства биотоплива, так называемое «биотопливо второго поколения» [184; 185]. В Российской Федерации располагаются огромные запасы биоресурсов, включая лесные и сельскохозяйственные ресурсы. Количество органических отходов народного хозяйства разных отраслей Российской Федерации составляет более 400 млн т в год [148; 149; 150]. Отходы лесо- и деревообработки составляют 700 млн т, ТБО городов – 60 млн т, канализационные стоки – 10 млн т. В Постановлении Общего годовичного отчетного собрания отделения механизации, электрификации и автоматизации Россельхозакадемии от 18 февраля 2010 года предусмотрено разработать технологии, способы и средства эффективного использования местных видов топлива, биомассы, растительных, древесных и других отходов, торфа с их переработкой в жидкое топливо и газ. Биоэтанол можно получать и из отходов древесины, например, из опилок, а также из соломы или травы. Основными источниками являются такие целлюлозные и сельскохозяйственные отходы, как: стебли, солома, листья, отходы переработки: ореховая скорлупа, опилки, багасса сахарного тростника, и органика городских отходов. Одним из возможных направлений получения сырья для биотоплива также являются [138] посадки масленичных культур с высоким годовым

приростом биомассы: практикуется посадка ивы, акации, тополя с высокой плотностью на 1 га. Применение дизельного смесового топлива, изготавливаемого путем смешивания дизельного топлива с растительными маслами, для дизельного двигателя просто необходимо, в связи со сложной геополитической ситуацией. Для создания топлива для дизельных двигателей предпочтительными оказались растительные масла. Биологические добавки на основе растительных масел в дизельное топливо производятся во многих странах из более чем 50 масличных культур [140]. Как показывает мировой опыт, для получения смесового биотоплива можно применять хлопковое, подсолнечное, рапсовое, соевое, пальмовое, льняное, сафлоровое, арахисовое и другие масла. Также известно изготовление биологических добавок из бука, земляных орехов, фундука, горчицы, оливы. Но в основном биодобавки в чистое дизельное топливо производятся из рапса или подсолнуха. Наиболее доступный и простой способ применения рапсового масла, в виде биодобавок – добавление его и смешивание с дизельным топливом. Такая смесь получила название «смесовое дизельное топливо». У этой композиции есть и другое название – «биодит» (смесовое топливо). Для биодобавки в дизельное топливо также можно применять метиловый эфир рапсового масла, получаемый при метанолизе. Метиловый эфир рапсового масла по своим физико-химическим характеристикам (зольность, вязкость и др.) приближен к дизельному топливу. Биодобавки для дизельного топлива также получают из биоотходов продукции животноводства, рыбьего жира и других материалов. Одним из перспективных вариантов сырья для получения биотоплива являются водоросли [12; 13; 14].

Также имеются сведения получения биологических добавок из земляных орехов, оливок, горчицы, бука, фундука, водорослей, ятрофы, клещевины, сои и животных жиров. В настоящее время распространено использование жировых отходов организаций и заводов для получения биодизельного топлива. Ежегодно в России только на жиρούловителях предприятий мясной отрасли скапливается около 250 тыс. т жировых отходов, представляющих собой смеси веществ, основным компонентом которых выступают жиры животного происхождения. Также

существует проблема утилизации отработанных фритюрных жиров, отходов масложировой промышленности, жировых отходов, скапливающихся на предприятиях общественного питания, в жируловителях других пищевых производств. В зависимости от всей мощности предприятия суточный объем удаляемой в отходах жировой массы составляет от нескольких килограммов до нескольких десятков тонн в сутки. Образующаяся жировая масса забивает канализационную систему, вследствие чего наносит существенный вред всей окружающей природе. Но её запрещено сбрасывать в водоемы и основным способом её утилизации остается вывоз и дальнейшее захоронение. Жиры, содержащиеся в сточных водах, могут служить сырьем для дальнейшей переработки. Значительные накопления бросовых жировых отходов на мясоперерабатывающих предприятиях и существенные затраты на их вывоз с целью утилизации делают целесообразной разработку технологии их переработки в жидкое биотопливо. Известно, что специалистами ВНИИ мясной промышленности имени В.М. Горбатова проведены эксперименты по переработке сборных жиров (жиромасса) в жидкое биотопливо [41].

ООО «ТРИВИМ ЛТД» объявило о проекте внедрения малотоннажных комплексов для получения дизельного топлива из древесных отходов и торфа. В условиях Российской Федерации (запасы леса, территория, бездорожье) нужны именно передвижные комплексы (не заводы), позволяющие перерабатывать отходы в местах их накопления [88].

В транспортабельном (автомобильном) варианте комплекс для получения дизельного топлива из древесных отходов и торфа имеет производительность 1 тыс. т топлива в год (120 кг/час). Оценка себестоимости топлива, сделанная для реальных условий хозяйствования Свердловского торфодобывающего предприятия, показала, что себестоимость не превышает 5 тыс. руб./т. Кроме дизельного топлива комплексом вырабатываются ещё три энергоносителя: вода, тепло и электричество. Наиболее значимым для страны вариантом применения таких автономных комплексов представляется освоение лесных запасов Зауралья. Комплексы должны быть установлены на платформах узкоколейных железных

дорог, прокладываемых в лесных массивах страны вдоль меридианов, начиная от Транссиба. Главная задача таких энергопоездов – заселение территории россиянами посредством добычи и переработки леса. Через каждые 50 км прокладываемых дорог должен строиться коттеджный поселок из десятка домов с соответствующей инфраструктурой. Основной товарной продукцией добычи и переработки леса энергопоездами должны быть изделия из термо-модифицированной древесины – товара, обладающего сегодня самой высокой добавленной стоимостью. Оценка ресурсов и окупаемости такого проекта показала, что для его запуска требуется 800 млн руб. и 2 года, а каждые 50 км таких дорог с поселком будут окупаться в течение 4 лет. Реализация проекта в течение десятков лет позволит по-хозяйски пользоваться лесными ресурсами, создать тысячи новых рабочих мест и решать демографическую проблему страны [42]. В литературе описаны и другие виды сырья для производства биотоплива [43–50]. Они наиболее полно обобщены в работах Федоренко В.Ф., Буклагина Д.С., Сорокина Н.Т., Зазули А.Н., Савельева Г.С., Голубева И.Г. и других ученых [11; 12; 13; 16; 17; 35–41].

Таким образом, анализ показал, что в России и за рубежом наметилась тенденция разработки альтернативного топлива для дизельных двигателей, в том числе из возобновляемого сырья. Наибольшее распространение нашли биодобавки из растительных масел.

1.2. Использование рапсового масла в качестве топлива для дизельных двигателей

В качестве биодобавки в дизельное топливо можно использовать натуральное растительное масло или продукты его переработки [51–55], что оказалось наиболее предпочтительным для создания биотоплива для дизельных двигателей [140]. Биодобавки на основе растительных масел производятся более чем из 50 масленичных культур [140]: рапсовое, подсолнечное, соевое, льняное, хлопковое, пальмовое, арахисовое, сафлоровое и др. [56; 57; 58; 140]. Однако за рубежом и в России в основном применяются биодобавки из рапсового масла [59; 60]. Свойства рапсового масла представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Свойства рапсового масла

Показатели	Рапсовое
Плотность при 20 С, кг/м ³	915
Вязкость при 20 С, мм ² с	77
Температура, °С: вспышки; кристаллизации	305 -18
Теплота сгорания (низшая/высшая), кДж/кг	37200
Цетановое число, ед.	36
Содержание масла, %	43
Выход масла, л/кг	0,37
Извлечение масла, %	72,1

Как показывает анализ, растительные масла отличаются от товарного дизельного топлива высокой вязкостью, плотностью, теплотой сгорания, температурой вспышки. Как известно, все растительные масла между собой по составу близки, а от товарного дизельного топлива отличаются наличием кислорода (9,6–11,5 %) [88].

Однако у растительных масел имеются недостатки: меньшая теплота сгорания (на 7–10 %), высокая вязкость (в 6 раз и более), низкая испаряемость, повышенная склонность к нагарообразованию и др. Из-за этого дизельные двигатели, особенно современные, не могут работать на чистых растительных маслах длительное время. Один из самых простых способов, применяемых в виде добавок, – смешивание масла с дизельным топливом. Такое смесевое топливо называется «биодизельное». Все получаемые композиции называются «биодит» (смесевое топливо). С увеличением концентрации рапсового масла в дизельное топливо продолжительность сгорания увеличивается, когда рапсового масла более 60 %, то сгорание не успевает закончиться к открытию выпускного клапана дизельного двигателя. Для того, чтобы уменьшить сгорание, добавляют активаторы сгорания (ферроцен) [16; 17; 164; 165; 166]. Физико-химические характеристики различных видов топлива приведены в таблице 1.2.

Таблица 1.2

Сравнительная физико-химическая характеристика топлива

Показатели	Рапсовое масло	Смесь рапсового масла и дизельного топлива (75:25)	Дизельное топливо (ГОСТ 305- 82 Л/З)
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	37,2	38,3	41,8
Плотность при 20 С, кг/м ³	915	890	860/840
Цетановое число	41	42	45
Йодное число на 100 г, г	9,7–10,3	9	6
Кислотность, мг КОН/100 см ³	6,1	6	5
Содержание по массе, %:			
углерод	78,3	80,3	86,4
водород	12,8	12,95	12,1
кислород	8,895	6,52	0
Массовая доля серы, %	0,05	0,16	0,5

Таблица 1.3

Физические свойства топлива

Показатели	Дизельное топливо		Смесь дизельного топлива и рапсового масла	
	летнее	зимнее	33 %	50 %
Теплотворная способность, МДж/кг	42,7	42,8	41,1	-
Плотность, кг/м ³	850	830	857-865	877-879
Температура, °С :				
воспламенения	70	70	-	-
помутнения	-6	-23	-17	-7

Таблица 1.4

Параметры биотоплива в сравнении с дизельным топливом
(данные представлены фирмой «Fischer-Tropsch fuels»)

Топливо	Плотность кг/л	Теплотворная способность при 20 °С, МДж/кг	Теплотворная способность, МДж/л	Вязкость при 20 °С, мм ² /с	Температура вспышки, °С	Эквивалентность топлива
Дизельное	0,84	42,7	35,87	5	80	1
Рапсовое масло	0,92	37,6	34,59	74	317	0,96
Биодизельное	0,88	37,1	32,65	7,5	120	0,91

Плотность рапсового масла выше на 9 %, вязкость – в 25 раз больше, содержание серы меньше в 10 раз. Температура застывания выше на 17°С по сравнению с зимним топливом, и на 10°С ниже летнего. [140]. Смесевое топливо по своим физико-химическим характеристикам занимает среднее положение. Чтобы изготовить 1 тонну смесевое топлива (75 % рапсового масла и 25 %

дизельного топлива) необходимо 250 кг дизельного топлива и 750 кг рапсового масла [36].

Физико-химические показатели рапсового масла, используемые в Финляндии даны в таблице 1.3.

Характеристика топлива с биодобавками рапсового масла, используемого в Германии, дана в таблице 1.4.

Таким образом, наибольшее распространение в качестве сырья для биотоплива имеет рапсовое масло. Следует учитывать эти отличия при адаптации топливной аппаратуры дизельных двигателей для работы на биотопливе [88; 140; 186; 187; 188].

1.3. Анализ исследований по влиянию биодобавок в дизельное топливо на работу дизельных двигателей

Исследования по влиянию смесового топлива на работоспособность дизельных двигателей выполнены в ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, в ФГБНУ ВНИИТиН, ФГБОУ ВО Волгоградский ГТУ, ФГБОУ ВО МАДИ, ФГБОУ ВО Тамбовский ГТУ, ФГБОУ ВО Пензенская ГСХА, ФГБОУ ВО МГТУ имени Н.Э. Баумана, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева и других научных организациях и вузах, в том числе и за рубежом [16;17; 61–69; 91; 94].

В ФГБНУ ФНАЦ ВИМ проведено исследование смесового топлива с различным компонентом рапсового масла в дизельном двигателе Д-240 ММЗ (Беларусь). При работе дизельного двигателя на смесовом топливе из рапсового масла от 0 до 100 % было установлено, что оптимальным составом смесового топлива по параметрам и характеристике рабочего процесса дизельного двигателя является содержание 75 % рапсового масла [20; 91]. Экологические показатели и характеристики дизельных двигателей доказывают снижение токсичных выбросов при работе на смесовом топливе. Содержание окиси углерода СО, выбросы углеводородов СН на всех режимах нагрузки, а также дымность сокращаются в 2 раза, а дымность на режиме холостого хода практически

отсутствует. Выбросы оксида азота NO_x на смешевом топливе возрастают до 8 % в режиме максимальной нагрузки, из-за того, что в смешевом топливе имеется в наличии связанный кислород. Специалистами иностранных стран подтверждается уменьшение выбросов токсичных веществ. Стимулированием применения смешевого топлива в Европейских странах является улучшение экологических показателей [17; 20].

Анализ проведенных исследований показал, что эффективный КПД дизельного двигателя Д-240 при работе на биотопливе не снижается, что доказывает отсутствие изменений рабочего процесса данного дизельного двигателя при работе на смешевом топливе.

Исследования, проведенные в ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева по замене дизельного топлива на смешевое топливо (1:1) [167; 168; 169], доказали, что заметно улучшились экологические показатели дизельного двигателя при использовании биодобавок, а выбросы оксидов азота сократились на 12–18 % [43; 62; 91]. Биодизельное топливо можно заливать в бак как в чистом виде, так и в качестве добавки к дизельному топливу в количестве 5–35 % от объема. Ученые доказывают, что мощность дизельного двигателя при работе на смешевом топливе снижается, а расход топлива увеличивается на 5–8 %. Ресурс дизельного двигателя при работе на биодизельном топливе не уменьшается. Смешевое топливо из рапсового масла имеет хорошие смазывающие свойства, в отличие от дизельного топлива.

В диссертации Слепцова О.Н. [90] приводятся результаты сравнительных и пусковых испытаний дизельных двигателей тракторов МТЗ-80, -82.

По сравнительным результатам пусковых испытаний приведены следующие выводы:

- запускать дизельный двигатель Д-243 от тракторов МТЗ-80, МТЗ-82 в летнее-осенний и весеннее-летний периоды можно при температуре выше $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- пусковые характеристики тракторного дизельного двигателя Д-243 на биотопливе 3:7 РМ и ДТ при пониженных температурах практически одинаковые, но оказалось с первого пуска с задержкой на биотопливе 3:7 на 1,5–2,5 с.

В результате испытаний на стендах установлено, что дизельный двигатель Д-243 трактора МТЗ-82.1 работает на биотопливе устойчиво, при этом топливно-экономические и мощностные показатели дизельного двигателя на дизельном топливе и на биотопливе 3:7 получены одинаковые и близки к требованиям ТУ [90].

Анализ полученных данных показал, что при работе на биотопливе происходит уменьшение выбросов оксидов азота NO_x до 3,8 %, оксида углерода C_nH_m – на 57,5 %, а значения выбросов оксида углерода CO увеличиваются до 9,3 %, дымность (Д) отработанных газов снижается от 1 до 17,9 % (в зависимости от режима работы дизельного двигателя) [90].

Профессором Девяниным С.Н. и учеными МГТУ имени Н.Э. Баумана, ООО «ВНИИГАЗ», НПП «Агродизель» оценены экономические и экологические показатели дизельного двигателя, работающего на смесевом биотопливе [74; 62; 91]. Они провели свои испытания дизельного двигателя Д-245.12С (4 ЧН 11/12,5), выпускаемого Минским моторным заводом Республики Беларусь, с двумя видами его комплектации.

Первый вид дизельного двигателя с турбокомпрессором ТКР-6, ТНВД мод. PP4M10U1f, распылитель DOP 119S534 Чешской фирмы «Моторпал», форсунками ОАО «Куроаппаратура» (г. Вильнюс). Давление было отрегулировано на начало впрыскивания 21,5 МПа (215 кгс/см²).

Результаты исследований дизельного двигателя Д-245.12С (4ЧН 11/12,5) по 13-ступенчатому испытательному и исследуемому циклу показали, что при работе 80 % дизельного топлива +20 % рапсового масла экологические показатели улучшаются – оксидов азота – с 7,442 до 7,159 г/кВт·ч или на 3,8 %, легких углеводородов снижается с 1,519 до 0,965 г/кВт·ч, т.е. на 36,5 %. Но монооксида углерода возрастает на 9,5 % – с 3,482 до 3,814 г/кВт·ч. Это обусловлено повышением мощности дизельного топлива и увеличением (на 6–10 %) расхода топлива. При переводе дизельного двигателя на биологически чистое топливо в режиме максимального крутящего момента ($n=1500 \text{ мин}^{-1}$) мощность дизельного двигателя выросла с 53,6 до 57,1 кВт (с 72,8 до 77,6 л.с.), а в режиме максимальной

мощности дизельного двигателя ($n=2400 \text{ мин}^{-1}$) – с 75,5 до 78,2 кВт (со 102,6 до 106,3 л.с.). Коэффициент α избытка воздуха практически остался неизменным (1,7 и 2,2 в указанных режимах), это из-за того, что количество воздуха меньше необходимого для сгорания 1 кг топлива (14,3 кг/кг дизельного топлива и 13,9 кг/кг смеси). При переходе с товарного дизельного топлива на смесевое топливо изменяется расход топлива: в режиме максимального крутящего момента дизельного двигателя он с 225,8 до 231,8 г/кВт·ч, или с 166,2 до 170,6 г/л.с.·ч, а в режиме максимальной мощности дизельного двигателя – с 249 до 255,1 г/кВт·ч, или с 183,3 до 187,8 г/л.с.·ч. Это вызвано меньшей теплотой сгорания смеси, чем дизельного топлива (соответственно 42,5 и 41,5 МДж/кг). Эффективный КПД дизельного двигателя не изменился при таком переходе: на максимальном режиме крутящего момента снизилась с 25 до 18 % по шкале Картриджа, а в режиме максимальной мощности – с 11 до 8 %. При наработке 100 часов данным дизельным двигателем закоксованность форсунок отсутствовала [74].

Второй вид дизельного двигателя Д-245.12С с топливной системой Ногинского завода (г. Ногинск); распылители мод. 171Р.10.03 Алтайского завода, имеющие десять распыливающих отверстий $\varnothing 0,23 \text{ мм}$. Испытания проходили на тракторе МТЗ-82.1 «Беларусь» в реальных условиях эксплуатации. После 500 часов работы дизельного двигателя на смесевом топливе (75 % дизельного топлива и 25 % рапсового масла), мощность дизельного двигателя снижается [74].

Многие специалисты считают, что у рапсового масла есть перспективы использования на железнодорожном транспорте, где возможна установка специально созданных автомобильных дизельных двигателей, например на мотовозах. В России есть первый в мире тепловоз с дизельным двигателем, который переведен на работу на рапсовом масле. Поставщик биотоплива для тепловоза – фирма «Интеко-Агро». Специалисты ОАО «Железнодорожное» (Белгородской области) модернизировали всю топливную систему локомотива ТЭМ 2У на биотопливе с добавлением метанола. В Белгородской области испытания тепловоза прошли на промышленном участке пути. Эксперимент

продлился 4 часа. Согласно акту испытаний, не было зафиксировано перерасхода топлива.

В Белоруссии были проведены испытания дизельного двигателя Д-243 для работы на биотопливе, полученном в Польше. Они показали, что мощность двигателя при работе на топливе с добавками из растительного масла снижается на 8,6 %.

Указанный двигатель также испытывали на тормозном стенде на топливе БДТ-1, полученном из рапсового масла. Испытания показали, что при одинаковых условиях мощность дизельного двигателя на биотопливе меньше, чем на товарном дизельном топливе на 3,4 % [91].

В Финляндии исследовательский центр «Vacoла» с фирмой «Valmet» проводил исследования по использованию рапсового масла в качестве топлива на тракторах мод. «Valmet-702» и «Volvo bm valmet 605-4». В качестве топлива брали смесь (R-33), состоящую из 1/3 рапсового масла и 2/3 дизельного топлива.

Стендовые испытания трактора V605 показали, что при работе на смеси мощность выросла на 1,5 %, частота вращения увеличилась на 50 минут при увеличении расхода топлива на 0,75 %. Показатели трактора V702 имеют аналогичные изменения: мощность повысилась на 2,8 % практически при равной частоте вращения, а расход топлива – на 2,12 %. Испытания тракторов проводились при выполнении сельскохозяйственных работ, общая наработка трактора V605 составила 1056 часов, трактора V702 – 687 часов [88].

Стендовые замеры после окончательных испытаний трактора V605 показали, что номинальная мощность при работе на смеси R33 уменьшается при наработке 1056 ч на 0,2 %, при увеличении частоты вращения на 100 мин увеличивается расход топлива – на 0,4 %. У трактора V702 при наработке 687 часов отмечено снижение мощности на 5,86 %, при этом увеличивается расход топлива на 4,3 %.

Эффективность биотоплива из рапсового масла и дизельного топлива в данной концентрации достаточная для применения её в качестве топлива для дизельных двигателей, а при работе на смеси R33 незначительно отличается по

сравнению параметрами при работе дизельного двигателя на товарном дизельном топливе. Закономерности изменения параметров дизельных двигателей подтверждаются испытаниями при работе на смеси из рапсового масла в других странах [148].

Финскими учеными проведён анализ состояния кривошипной и цилиндропоршневой групп, деталей и частей клапанного механизма, распылителей форсунок дизельного двигателя трактора V605 после 1056 часов работы на смеси R33. Отказов дизельных двигателей в течение всего периода испытаний и значительного износа деталей не обнаружено. На головках поршней слой нагара не более 1 мм, кольца в хорошем состоянии и очищаются. Нагар накопился лишь на распылителях форсунок и в верхних частях гильз толщина его не превышает 1 мм. На клапанах не обнаружено износа и дефектов, имеются тонкие слои нагара на выпускных клапанах и сажи – на выпускных клапанах и гнездах клапанов. Коленчатый вал, вкладыши коренные и шатунные в хорошем состоянии [88; 148].

Экспертиза деталей дизельного двигателя трактора V-702 после 700 часов работы показала отсутствие значительных износов, все детали кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов находились в исправном состоянии, слой нагара тонкий (1–2 мм), вязкий, темного цвета. Слой сажи формируется на впускном клапане и во всасывающем отверстии гнезда клапана. Износ вкладышей за период испытаний находился в пределах нормы [91; 148].

Двигатели тракторов V-605 и V702 отработали без специальной доработки на выполнении сельскохозяйственных и лесных работ на смеси рапсового масла и дизельного топлива соответственно 1000 и 700 ч. Техническое состояние деталей двигателей без видимых повреждений, значительных износов, толщина слоя нагара и сажи не превышает 1–2 мм. Действие смеси R33 примерно такое же, как и дизельного топлива. При применении смеси R33 нет необходимости вносить какие-либо изменения в двигатель.

В работе [189] описаны возможности использования рапсового масла в качестве топлива для небольших вихрекамерных дизельных двигателей.

Приведены результаты стендовых испытаний четырехцилиндрового дизельного двигателя типа NS-121 со степенью сжатия 22, мощностью $N_e = 33$ кВт при $n = 3600$ мин⁻¹. Исследовалось влияние конструкции штифтовой форсунки, давления впрыскивания РМ и его температуры у штуцера форсунки на показатели дизельного двигателя в скоростных режимах $n = 1400, 1800$ и 2000 мин⁻¹, а также влияние семи вариантов штифта распылителя на экономические и экологические показатели дизельного двигателя. Найдена оптимальная высота соотношения угла конуса распылителя и его выступа, обеспечивающего минимальное значение эффективного расхода топлива G_e и дымности ОГ. Наиболее лучший вариант конструкции распылителя при давлении впрыскивания 16,7 МПа и с подогревом топлива с 30 до 80°C обеспечивает снижение вязкости с 97,7 до 12,1 мм²/с, и позволяет увеличить эффективную мощность дизельного двигателя N_e , а также снизить расход топлива g_e и температуру ОГ.

Фирмой «DMS Dieselmotoren und Geratebau GmbH» по лицензии фирмы «Elsbett» ведется разработка многотопливного дизельного двигателя для работы на дизельном и альтернативных видах топлива [191]. Среди последних выделяются масла растительного происхождения, получаемые из рапса или сои. Прототип трехцилиндрового дизельного двигателя с рабочим объемом 5,6 л развивает мощность $N_e=88$ кВт при $n=1500$ мин⁻¹. В режиме с полной нагрузкой двигателя расходуется 22,5 л/ч рапсового масла.

В работах [190; 192] сообщается о разработке новой концепции многотопливных двигателей со сдвоенными шатунами. Двигатель может работать на дизельном топливе, растительных маслах, например, рапсовом, подсолнечном и оливковом. При испытаниях нового двигателя отмечено увеличение мощности на 37 %, снижение выбросов СО на 40, СО₂ – на 30, NO_x – на 35, твердых частиц – на 70 % по сравнению с прототипом.

Фирмой «BMFT» при финансовой поддержке правительства ФРГ проводятся исследования работы автомобильных и тракторных дизельных двигателей мощностью N_e от 40 до 275 кВт на рапсовом масле в качестве альтернативного топлива [80]. Исследовались дизельные двигатели различных

типов с неразделенной и разделенной КС, с турбонаддувом и без него. Разница в крутящем моменте M_e и N_e при работе на РМ и дизельном топливе (ДТ) дизельных двигателей всех типов была несущественной. При работе на РМ выбросы CO и CH_x с ОГ оказались выше, а выбросы оксидов азота NO_x – немного ниже, чем при работе на ДТ. Выброс твердых частиц и альдегидов с ОГ дизельными двигателями с неразделенной КС, работающими на РМ, оказался выше. В дизельных двигателях с разделенной КС и большим рабочим объемом выброс полициклических ароматических углеводородов ниже, чем при работе на ДТ; для дизельных двигателей с малым объемом и неразделенной КС – выше. При работе на РМ для всех типов дизельных двигателей характерен сильный специфический запах. Результаты исследований подтверждена возможность работы дизельных двигателей с разделенной КС и большим рабочим объемом на РМ. Для дизельных двигателей с малым объемом и неразделенной КС ресурс работы на таком топливе ограничен из-за образования углеродистых отложений на поршнях. Поиск возможных путей решения этой проблемы требует дополнительных исследований [88].

Таким образом, как показали обобщения и анализ научно-исследовательских работ по влиянию биодобавок на работоспособность в основном тракторных дизельных двигателей: эффективная мощность снижается, расход топлива увеличивается, улучшаются экологические показатели двигателя. В работах имеются противоречивые сведения по влиянию биодобавок на работу фильтрующих элементов, коксуемости форсунок, а также количественных данных по снижению дымности и токсичности выхлопов. Эти сведения требуют проверки.

1.4. Влияние биодобавок в дизельное топливо на работу топливной аппаратуры

Применение биодобавок в дизельном топливе регламентируется региональными ресурсами, соотношением цен на добавки и нефтяное топливо, затратами на адаптацию автотракторной и автомобильной техники к работе на смесевом топливе, инфраструктурой доставки, хранения и заправки, возможностями длительного хранения биотоплива на нефтескладах. Для обеспечения надежной эксплуатации быстроходных двигателей качество дизельного топлива должно отвечать определенным требованиям. Эта особенность обусловлена процессом теплоты сгорания: за небольшое время должно не только успеть перемешаться с воздухом, окислиться, испариться, воспламениться, но и своевременно должно обеспечить полное сгорание. На процессы испарения, сгорания и смесеобразования в первую очередь влияют плотность топлива, поверхностное натяжение, динамическая и кинетическая вязкость [43; 72; 88].

На размер топливной струи и мелкость распыливания при равных условиях влияет вязкость и плотность. При уменьшении вязкости средний диаметр капель смесевое топлива сокращается, распыл становится однородным. Угол рассеивания топливной струи увеличивается, а дальнобойность уменьшается. При повышении вязкости возрастает дальнобойность топливной струи, доля объемного смесеобразования сокращается и приводит к попаданию на стенки камеры сгорания смесевое топливо. А когда меньше поверхностное натяжение, тогда и тоньше, однороднее распыливание топлива, это приводит к ускорению смесеобразования и сгорания. Для оценки и анализа характеристики смесеобразования и сгорания альтернативного топлива дизельного двигателя необходимо провести экспериментальные исследования. Проектирование камеры сгорания и впускных каналов во многом позволит нам исключить возможное рикошетирование топлива на «холодную» поверхность днища головки цилиндра и интенсифицировать возможные процессы смесеобразования. Некоторое

увеличение дальнотойности топливной струи компенсирует ухудшение испарения и смесеобразования наиболее крупных капель топлива. Наиболее интенсивный процесс смесеобразования и испарения происходит на участке развития струи [170–173].

Топливо для дизельных двигателей должно отвечать следующим эксплуатационным требованиям [43; 72; 88]:

- обеспечивать необходимую воспламеняемость и достаточно полное сгорание, мягкую работу и необходимый легкий пуск двигателя;
- обеспечивать хорошее смесеобразование и распыл;
- обеспечивать наличие определенных низкотемпературных свойств и хорошую прокачиваемость;
- обеспечивать эксплуатацию и хранение топлива при безопасной работе;
- должно отсутствовать: нагарообразование на клапанах, на кольцах и поршнях; закоксованность форсунки; зависание иглы распылителя; коррозия деталей и узлов дизельного двигателя и их износ.

Чтобы биотопливо было адекватно стандартным нефтяным углеводородным топливам, оно должно удовлетворять не только основным вышеперечисленным требованиям, но и обладать лучшими экологическими свойствами.

Использование смесового топлива из рапсового масла в дизельных двигателях возможно только при выполнении следующих условий: химический состав, физические свойства, чистота рапсового масла должны обеспечивать применение смесового топлива в дизельных двигателях при запуске; топливные фильтры, топливный насос и распылители форсунок не должны быть засорены; качество распыла смесового топлива должно обеспечивать: полное сгорание; отсутствие нагара на поршневых кольцах; минимальной должна быть скорость воспламенения; необходимо обеспечивать заданное рабочее давление при сжатии горючей смеси; смесовое топливо не должно оставаться на стенках цилиндров (это исключит перетекание смеси в масляный картер, ухудшение качества смазочного масла и работы всей смазочной системы) [174; 175; 176].

Требования и условия определяют используемое в качестве топлива рапсовое масло, которое должно соответствовать дизельному топливу. Чтобы обеспечить полноту сгорания смесового топлива, уменьшить нагар и сажевые наложения дизельные двигатели должны быть доработаны [43].

Исследователями были установлены основные отличия свойств рапсового масла в зависимости от дизельного топлива: низкая теплота сгорания, повышенная вязкость, плотность и содержание кислорода около 11 %, практическое отсутствие углеводородных соединений. Как только в цилиндр дизельного двигателя впрыскивается вязкое рапсовое масла, угол рассеивания струи и боковая поверхность уменьшаются, это приводит к уменьшению количества испарившегося смесового топлива за период задержки воспламенения и “мягкой” работе дизельного двигателя.

Положительное воздействие может оказать подогрев смесового топлива до 70–80°C, что приведет к улучшению показателей топливной системы. Увеличение давления впрыскивания приведет к уменьшению диаметра распыляемых капель [88].

Известно, что у растительных масел повышенная вязкость и коксуемость. Исследование впрыска топлива и смесеобразования показало, что при использовании метилового эфира рапсового масла увеличивается на 9 %, а угол раскрытия струи топлива уменьшился на 9 %, закономерно увеличивается дальнотойность струи. Изменение этих параметров и свойств приводит к тому, что до 79 % топлива попадает на стенки камеры сгорания, что приводит к уменьшению смесеобразования и отрицательно сказывается на смесеобразовании и сгорании. Это приводит к непосредственному ухудшению показателей дизельного двигателя, в связи чем расход топлива увеличивается на 6 % [71; 72]. На особенности работы топливной системы при работе дизельного двигателя на биотопливе указано также в диссертациях Иванова В.А. [108], Ликсутиной А.П. [95; 100; 131], в работах Девянина С.Н., Уханова А.П., Рачкина Д.А., Вальехо П. и других ученых [62; 76; 91–96; 100; 101].

Результаты испытаний показывают отсутствие закоксовывания [17; 20] при работе на смесевом топливе. Визуально установлено, что на распылителях и вокруг отверстий образовался легкий нагар, который снимается тряпкой и не ухудшает качество распыла смесевого топлива. Данные свидетельствуют о наличии коксования отверстий распылителей при работе на ДТ и отсутствии такового у смесевого топлива. Это объясняется такими факторами, как: повышение давления в ТНВД, форсунке и отсутствие в смесевом топливе меркаптановой серы [177].

К недостаткам биодизельного топлива можно отнести агрессивность к деталям, в том числе резиновым. При низкой температуре на жиклерах, форсунках и других отверстиях могут образоваться осадки в виде кристаллов воска, что ведет к их закупорке. Отмечаются случаи выхода из строя топливных насосов высокого давления и фильтров топливной очистки, поэтому производители вносят в дизельные двигатели конструктивные изменения, для того чтобы адаптировать их к использованию на биотопливе [178].

В работе [87] отмечено, что после 500 ч работы дизельного двигателя на смеси, содержащей 70 % ДТ и 30 % РМ, происходит частичное закоксовывание распылителей форсунок дизельного двигателя, которое не влияет на потерю работоспособности. Использование форсунок с меньшим числом отверстий и, соответственно, большего их диаметра позволяет значительно сократить или избежать коксообразование. Для его устранения (при работе на рапсовом масле и не только) достаточно применять известные меры [43; 72; 87; 88].

Например, при испытании тепловоза на биотопливе на форсунках дизельного двигателя был виден жировой налет, но когда форсунки были установлены на стенде, то испытание показало их эксплуатационную пригодность и работоспособность [88; 132].

Финскими учёными проведён анализ технического состояния распылителей форсунок дизельного двигателя трактора V605 после 1056 ч работы на смеси R33. Отказов двигателей в течение испытаний и значительного износа деталей не

отмечалось. Нагар накопился только у распылителей форсунок, толщина его не превышала 1 мм [88; 148].

В работе [193] описаны результаты экспериментальных исследований топливной аппаратуры четырёхтактного одноцилиндрового дизельного двигателя без наддува типа Kamatsu ID-105. Исследовались три типа топлива: рапсовое масло (РМ), топливо утяжеленного фракционного состава (УФС) и дизельное топливо D-2. Подогрев топлива проводился в нагнетательном трубопроводе перед форсункой в диапазоне температур 40–400°C. Исследовалось влияние температуры подогрева на особенности формирования топливной струи, ее геометрических характеристик и мелкости распыливания при впрыскивании в среду без противодействия, а также на период задержки воспламенения (ПЗВ), также изучались характеристики процесса сгорания, показатели дымности и токсичности ОГ, удельный эффективный расход топлива на различных нагрузочных режимах. Показано, что для РМ повышение температуры подогрева с 50 до 300°C приводит к уменьшению среднего диаметра капель с 75 до 30 мкм, увеличению угла конуса факела с 6 до 13°, снижению ПЗВ, уменьшению длительности фазы гомогенного сгорания и соответственно g_e и шумности работы двигателя, а также дымности ОГ. Оптимальной температурой подогрева топлива D-2 является 90°C, топлива УФС – 240°C, рапсового масла – 300°C. Большие температуры подогрева приводят к заметному ухудшению большинства характеристик дизельного двигателя [179].

В Германии фирмой «Porsche» [194] испытано шесть типов дизельных двигателей. Результаты испытаний показали, что при переводе двигателя с ДТ на РМ снижаются максимальные значения крутящего момента M_e и мощности N_e . Исследователи это объясняют более низкой теплотой сгорания рапсового масла. Высокая вязкость рапсового масла приводит к увеличению подачи топлива, топливный насос высокого давления при работе на рапсовом масле на всех режимах увеличивает период задержки воспламенения РМ, а также понижает максимальное давление сгорания. При этом отмечены чрезмерные углеродистые отложения на распылителях. О влиянии биодобавок в дизельное топливо на

работоспособность топливной аппаратуры и о необходимости ее адаптации к таким топливам указано в работах Девянина С.Н, Нагорнова С.А, Бубнова Д.Б, Савельева Г.С, Уханова А.П. и других ученых [30; 31; 81–98; 100; 101]. Ими предложены различные мероприятия по конструктивным изменениям в системе топливной аппаратуры, в том числе подогреватели топлива, смесители, дозаторы.

Большой вклад в установлении влияния биодобавок из рапсового масла в дизельное топливо на топливоподачу дизельных двигателей внесли работы Девянина С.Н. [62; 91]. Так, в диссертации Ротанова Е.Г. [106] исследовано влияние биодобавок в дизельное топливо на износ плунжерных пар ТНВД. Установлено, что повышение содержания рапсового масла в дизельном топливе приводит к снижению износа плунжерных пар топливных насосов [90;106].

В диссертации Слепцова О.Н. [90] указано о негативном влиянии добавок рапсового масла в дизельное топливо на работу фильтров тонкой очистки [73; 90; 136]. В диссертации Кочеткова М.Н. [107] исследованы вопросы коксования распылителей форсунок топливной аппаратуры при работе на смесевом топливе. Автором данной работы теоретически обоснована возможность использования в качестве топлива рапсового масла и его смесей с дизельным топливом [107]. Для этого проведены следующие расчеты элементов топливной системы:

- участок низкого давления от бака до топливного насоса низкого давления;
- участок низкого давления от топливного насоса низкого давления до топливного насоса высокого давления;
- участок высокого давления от топливного насоса высокого давления до форсунки [107].

В целях сохранения работоспособности линии второго участка низкого давления нужно понизить вязкость смесевое топлива до вязкости дизельного топлива с помощью подогрева рапсового масла в теплообменнике с использованием теплоты системы охлаждения двигателя до 80°С [91; 107].

Предложено изменить топливную систему низкого давления с увеличением трубопровода диаметром (12 мм), подогреватель смесевое топлива и переключение с дизельного топлива на рапсовое масло и обратно. Предложена

адаптация топливной системы дизельного двигателя на рапсовом масле: увеличить сечения форсунок на 21 %, установить подогрев смесового топлива до 70–80°C. В данном случае не рекомендуется производить пуск непрогретого дизельного двигателя на рапсовом масле [107].

Не рекомендуется при эксплуатации продолжительная работа дизельного двигателя на рапсовом масле на непрогретом дизельном двигателе (80°C); на холодном ходу или мощности менее 20 %; перед длительной остановкой дизельного двигателя. Для работы на рапсовом масле разработана топливная система, работающая на двух режимах, предназначенная для работы с возможностью переключения топлива в автоматическом и ручном режимах [91; 107].

В диссертации Иванова В.А. [108] указано, что смесовое топливо, состоящее из рапсового масла и дизельного топлива [108; 139], по физическим и химическим свойствам, стоимости и доступности является наиболее подходящим моторным топливом для автотракторных дизельных двигателей. Однако применение такого смесового топлива требует небольшой конструктивной адаптации топливной системы дизельного двигателя или предварительной обработки минерального топлива, например ультразвуком [108].

На основе анализа систем питания дизельного двигателя, приспособленного и адаптированного к работе на смесовом топливе, видно, что среди предложенных конструкций отсутствуют топливные системы, обеспечивающие работу дизельного двигателя на смесовых топливах при заданном высоком качестве и процентном соотношении смесового топлива [92].

В диссертации Левина М.Ю. [109] для улучшения работы топливной аппаратуры дизельных двигателей предлагается защитить биотопливо от обводнения. Для этого, по мнению автора работы, моторные топлива должны соответствовать ряду требований, обеспечивающих экономическую и надежную работу дизельного двигателя. В настоящее время выдвигаются высокие экологические требования. Всем известно, что вода сказывается на качестве любого топлива. В топливе, где имеется вода, повышается коррозионная

активность, ухудшаются противоизносные и низкотемпературные свойства, фильтрация, вязкость, прокачиваемость, процессы смесеобразования, снижается теплота сгорания и коэффициент полезного действия дизельного двигателя. Автором была разработана экологически чистая установка для защиты биологически дизельного топлива от обводнения [92; 109].

Таким образом, анализ проведенных исследований по влиянию биодобавок в дизельное топливо на работу топливной аппаратуры показал, что при использовании биотоплива изменяются показатели топливоподачи, ухудшается работа топливных фильтров тонкой очистки, происходит коксообразование на распылителях форсунок. В литературных источниках нет единого подхода к влиянию биодобавок на состояние резинотехнических деталей топливной аппаратуры, на работоспособность фильтрующих элементов тонкой очистки топлива [136]. Для улучшения показателей топливоподачи при работе дизельного двигателя на биотопливе необходимо обеспечить качественное впрыскивание, смесеобразование и сгорание топлива. Подогрев биотоплива до 70–80°C, приведет к улучшению его впрыскивания, смесеобразования, сгорания, а также уменьшению диаметра распыляемых капель.

Выводы по главе 1

1. Анализ показал, что в России и за рубежом наметилась тенденция разработки альтернативных видов топлива для дизельных двигателей, также из возобновляемого сырья.

2. Наибольшее распространение в качестве сырья для биотоплива имеет рапсовое масло. Однако плотность рапсового масла выше на 9 %, вязкость – в 25 раз больше, а содержание серы меньше в 10 раз. Температура застывания выше на 17 °С по сравнению с зимним топливом, и на 10 °С ниже летнего. Поэтому эти отличия необходимо учитывать при адаптации топливной аппаратуры дизельных двигателей для работы на биотопливе.

3. Как показали обобщения и анализ научно-исследовательских работ по влиянию биодобавок на работоспособность дизельных двигателей: эффективная мощность снижается, расход топлива увеличивается, улучшаются экологические показатели двигателя. В работах нет сведений как изменяются эти показатели при работе дизельных двигателей на подогретом биотопливе.

4. В анализируемых работах нет единого подхода к переоборудованию топливной системы дизельных двигателей, работающих на биотопливе, в том числе по установке подогревателей топлива, влиянию биотоплива на состояние деталей топливной аппаратуры, в том числе фильтрующих элементов и резинотехнических изделий.

5. В литературных источниках практически отсутствует информация по особенностям технического обслуживания топливной системы дизельных двигателей, работающих на биотопливе, в том числе по периодичности замены топливных фильтров, регулировкам форсунок и других агрегатов.

На основе обзора и анализа научно-технической литературы, а также данных по эксплуатации дизельных двигателей сформулированы следующие задачи:

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

ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПОВЫШЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПРИ РАБОТЕ НА БИОТОПЛИВЕ

Обоснованию изменений в топливной системе при работе дизельных двигателей на биотопливе посвящены работы Девянина С.Н., Савельева Г.С., Кочеткова М.Н., Слепцова О.Н., Уханова А.П., Ротанова Е.Т., Иванова В.А., Дунина А.Ю., Глазкова Ю.Е., Салыкина Е.А., Федянова Е.А. и других ученых [38; 41; 43; 62; 73; 90–98; 106–109]. В работе [91] для этого были представлены расчеты узлов и агрегатов топливной системы (рис. 2.1).

Для создания теоретических предпосылок, повышения работоспособности топливной аппаратуры дизельных двигателей при работе на биотопливе нами выделены в топливной системе участок низкого давления и участок высокого давления (рис. 2.1) [94; 188].

В участок низкого давления входит топливный бак, фильтр грубой отчистки топлива, фильтр тонкой очистки топлива, ТННД, топливные магистрали низкого давления. На этом участке топливный насос низкого давления преодолевает сопротивление топливных магистралей и топливных фильтров и продолжает поддерживать избыточное давление на входе в ТНВД [95–97]. Избыточное давление препятствует выделению растворенного воздуха, способствует стабилизации в условиях наполнения над плунжерное пространство и как следствие – повышению равномерности условий подачи топлива топливным насосом высокого давления. ТННД обеспечивает минимальное давление в контуре топливной системы низкого давления [98–106]. В работе [91] для одного участка определены параметры топливопровода, при которых обеспечивается прокачиваемость рапсового масла при имеющейся величине разрежения топливного насоса низкого давления $H_n > H_{mp}$. В результате длина трубопровода – 1,6 метров, а диаметр трубопровода 14 мм, согласно выполненных расчетов.

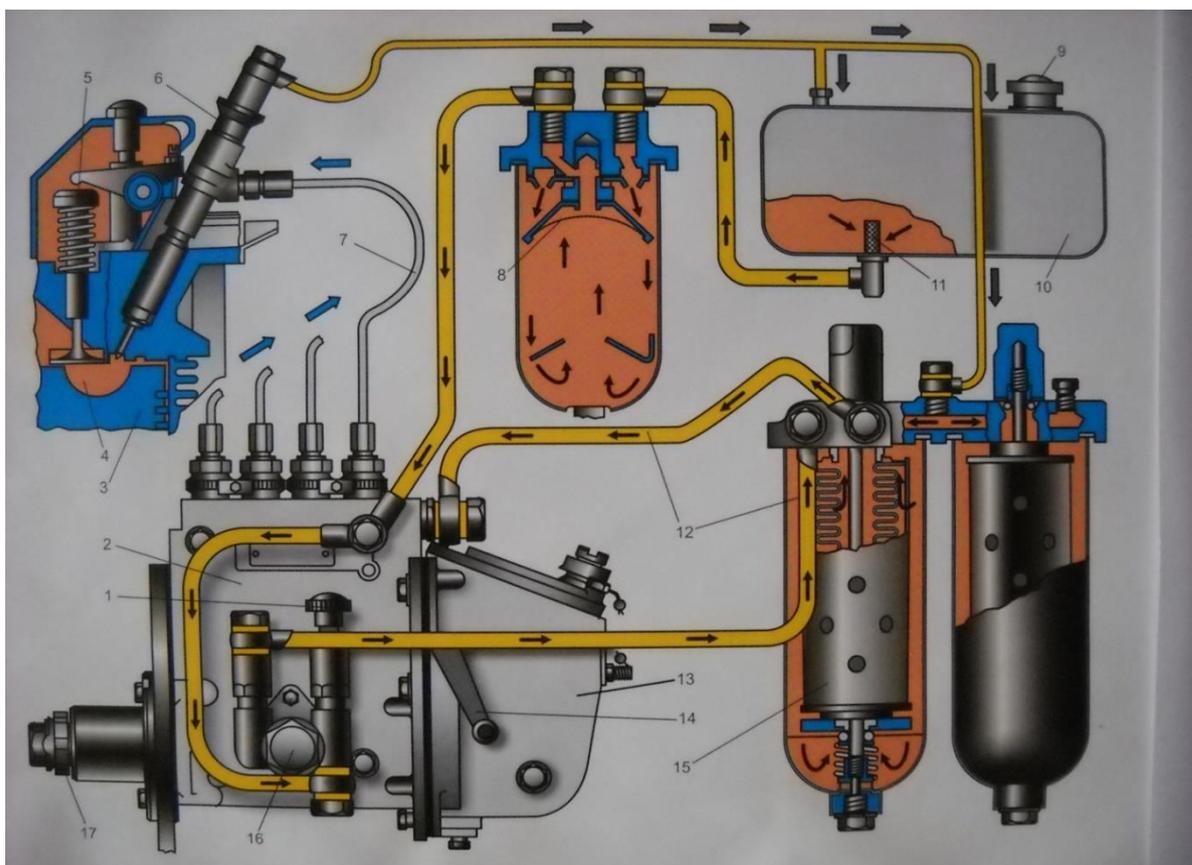


Рисунок 2.1 – Схема топливной системы дизельных двигателей

1 – насос ручной подкачки, 2 – топливный насос высокого давления, 3 – поршень, 4 – камера сгорания, 5 – газораспределительный механизм, 6 – форсунка, 7 – топливопровод высокого давления, 8 – фильтр грубой очистки, 9 – заливная горловина топливного бака, 10 – топливный бак, 11 – фильтр бака, 12 – топливопроводы низкого давления, 13 – регулятор топливного насоса, 14 – рычаг управления насоса, 15 – фильтр тонкой очистки, 16 – топливоподкачивающий насос, 17 – шлицевая втулка для соединения с дизельным двигателем

Так как в топливе, применяемом для дизельных двигателей, имеются механические примеси до 0,005 % от объема (ГОСТ 305-82), то на участке низкого давления установлены топливные фильтры грубой и тонкой очистки топлива (рис. 2.1). Каждый из фильтров дает дополнительное гидравлическое сопротивление, ухудшая прокачиваемость топлива. В автотракторных дизельных двигателях фильтр грубой очистки топлива устанавливается перед топливным насосом низкого давления. Он разгружает фильтр тонкой очистки топлива и создает условия для надежной работы топливного насоса низкого давления, задерживая до 60 % влаги

и до 25 % механических примесей, содержащихся в топливе, скапливаясь в нижней части корпуса отстойника фильтра грубой очистки топлива. ФГО обладает гидравлическим сопротивлением, определяемым фильтрующими элементами. Высокая очистка топлива обеспечивается фильтрующими элементами тонкой очистки топлива (ФТО), который своим хлопчатобумажным фильтрующим элементом удерживает в себе загрязняющие топливо частицы в контуре низкого давления до 97 %. Удельная эффективность фильтра тонкой очистки топлива определяется площадью нагружаемой поверхности. Тонкость отсева фильтра тонкой очистки топлива с фильтрующим элементом обеспечивает 2–3 мкм частиц. Исходное гидравлическое сопротивление фильтра тонкой очистки топлива с бумажным элементом составляет 0,0025 МПа [105].

Показатели работы некоторых фильтрующих элементов дан в таблице 2.1.

Таблица 2.1

Показатели работы некоторых фильтрующих элементов

Материал фильтрующего элемента	Тонкость отсева, мкм	Гидравлическое сопротивление элемента, кг/см ³
Хлопчатобумажная пряжа	5–23	0,6–0,8
Бумага со специальной пропиткой	2–3	0,24

На работоспособность фильтрующего элемента будет существенно влиять наличие биодобавок в топливе. Бумажные фильтрующие элементы при работе на биотопливе чаще забиваются, что приводит к резкому возрастанию гидравлических сопротивлений на ФТО. В результате бумага ФТО «засаливается» и смесевое топливо в дальнейшем плохо фильтруется. В результате «засаливания» снижаются объем пустот фильтрующих пор и коэффициент пористости фильтра:

$$\varphi_{п} = \frac{V_{п}}{V_{о}}, \quad (2.1)$$

где: $V_{п}$ – объем пустот пор;

$V_{о}$ – общий объем пористой среды.

Основным критерием работоспособности фильтров тонкой очистки топлива является перепад давления на участке перед фильтром и после фильтра [107–109].

Определим гидравлические параметры участка фильтра тонкой очистки при использовании дизельных топлив с биодобавками из рапсового масла. Падение давления на ФТО с учетом вязкости применяемого топлива [73]:

$$\Delta p = \frac{\mu Q}{\alpha F}, \text{ па}, \quad (2.2)$$

где: μ – динамический коэффициент вязкости применяемого топлива, сСт;

α – конструктивный коэффициент, зависящий от вида фильтрующего элемента ФТО;

Q – объемный расход топлива на входе в ФТО, м³/с;

F – поверхность фильтрации, м².

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

$$\frac{\Delta P_T}{\Delta P_i} = \frac{\mu_T Q}{\alpha F} : \frac{\mu_i Q}{\alpha F}, \quad (2.3)$$

$$\frac{\Delta P_T}{\Delta P_i} = \frac{\mu_T}{\mu_i}, \quad (2.4)$$

где: ΔP_T , ΔP_i – падение давления на ФТО при работе на дизельном (товарном) и топливе с биодобавками (i –композиция).

$$\mu = \nu \cdot \rho, \quad (2.5)$$

ν – кинематическая вязкость топлива, м²/с;

ρ – плотность топлива, кг/м³.

Отсюда:

$$\frac{\Delta P_T}{\Delta P_i} = \frac{V_T \cdot P_T}{V_i \cdot P_i} \quad (2.6)$$

или

$$\Delta P_i = \frac{\Delta P_T \cdot V_i \cdot P_i}{V_T \cdot P_T} \quad (2.7)$$

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 и вязкости, а, следовательно, и к увеличению сопротивления на фильтре, то есть уменьшению прокачиваемости топлива. Поэтому для повышения работоспособности фильтра тонкой очистки следует снизить плотность биотоплива.

В ФГБНУ ВНИИТиН установлено изменение плотности при повышении температуры рапсового масла в виде:

$$\rho_{tM} = \rho_M - k_{\rho M} \cdot \Delta t, \quad (2.8)$$

где: ρ_{tM} – плотность рапсового масла при температуре t °С, кг/м³;

ρ_M – плотность рапсового масла при температуре 20 °С, кг/м³;

$k_{\rho M}$ – температурный коэффициент изменения плотности для рапсового масла $k_{\rho M} = 0,716 / 1, \text{ } ^\circ\text{C}$;

$\Delta t = (t - 20)$ – перепад температур, °С.

Перепад давления на фильтре тонкой очистки при использовании рапсового масла в качестве топлива:

$$\Delta P_{\rho M} = \frac{\Delta P_T \cdot V_{\rho M} \cdot P_{\rho M}}{V_T \cdot P_T}, \quad (2.9)$$

При нагреве биотоплива:

$$\Delta P_{рм} = \frac{\Delta P_{т} \cdot V_{рм} \cdot (P_{м} - K_{рм} \cdot \Delta t)}{V_{т} \cdot P_{т}} \quad (2.10)$$

Теоретическая зависимость перепада давления до фильтра тонкой очистки и после фильтра от содержания биодобавок из рапсового масла показана на рисунке 2.2.

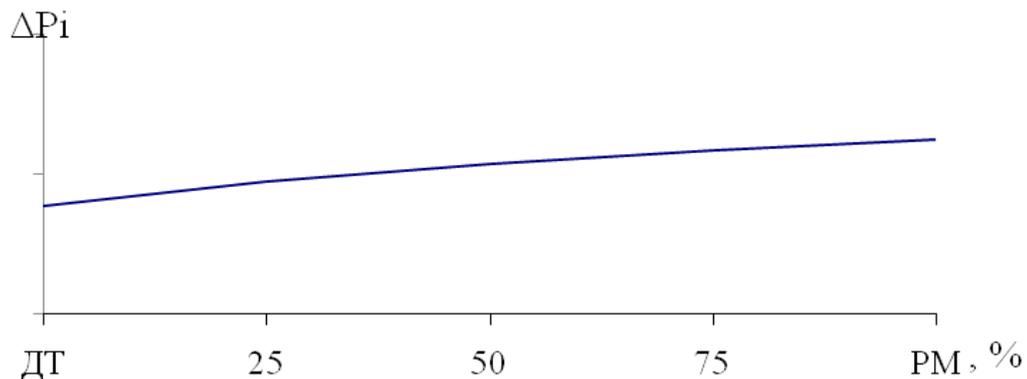


Рисунок 2.2 – Теоретическая зависимость перепада давления до фильтра тонкой очистки и после фильтра от содержания биодобавок из рапсового масла

Таким образом, при больших концентрациях рапсового масла в дизельном топливе для бесперебойной работоспособности фильтров тонкой очистки необходим подогрев топлива. Используя данные ФГБНУ ВНИИТиН и наши теоретические рассуждения биотопливо с содержанием 75 % рапсового масла необходимо подогреть до 70–80°C. Схожие результаты получены в работе [91]. Для работоспособности топливного участка низкого давления необходимо понизить вязкость биотоплива с помощью подогрева рапсового масла в теплообменнике с использованием двигателя (системы охлаждения) до 80°C.

Рассмотрим весь участок высокого давления от топливного насоса высокого давления до форсунки.

На рисунке 2.3 изображена самая распространенная схема топливной системы.

Давление подается от ТНВД до форсунки за кратчайший промежуток времени. При давлении клапан сжимает не весь столб топлива, а тонкий слой, который к нему примыкает. Сжатие передается следующему слою топлива и т.д.

Волна сжатия распространяется с определенной скоростью вдоль столба и достигнет форсунки через время равное менее одной секунды. Но вначале давление недостаточное для открытия иглы, это волна начнет обратное направление от форсунки к топливному насосу. Когда плунжер вверху создает новые волны, которые двигаются к форсунке и возвращаются к топливному насосу и опять движутся в прямом направлении. Когда волна сжатия сможет преодолеть усилие, игла распылителя форсунки начинает подниматься, и в цилиндр устремится струя топлива. Впрыск топлива будет продолжаться до тех пор, пока плунжер не откроет выпускное окно втулки. Когда давление снизится под нагнетательным клапаном, тогда пружина с иглой форсунки встанет на место. В цилиндр дизельного двигателя впрыск топлива прекратится [101; 102; 103].

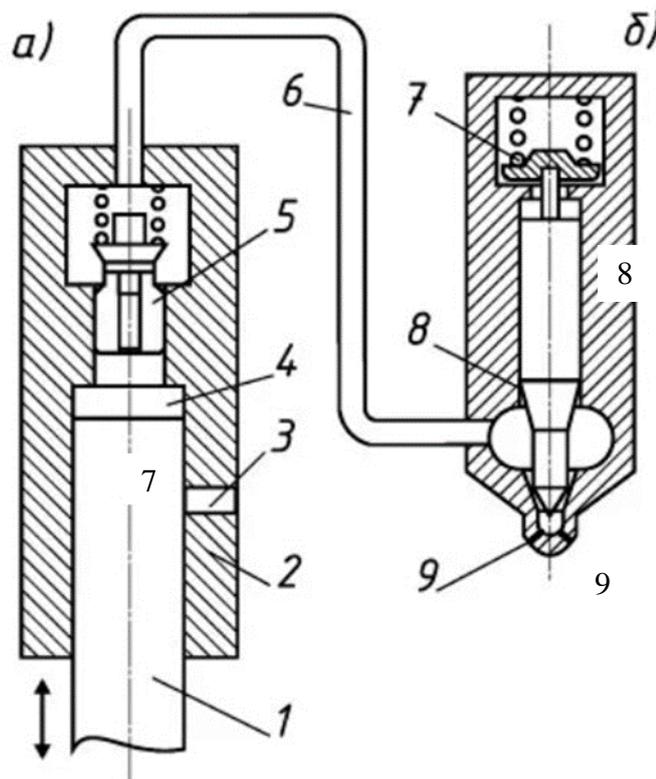


Рисунок 2.3 – Схема топливной системы дизельного двигателя: 1 – плунжер, 2 – втулка плунжера, 3 – наполнительное отверстие, 4 – надплунжерное пространство, 5 – обратный (нагнетательный) клапан, 6 – топливопровод высокого давления, 7 – пружина иглы форсунки, 8 – игла форсунки, 9 – сопловый наконечник

Непосредственно плотность влияет на величину цикловой подачи смесового топлива. Количество вводимой в камеру сгорания энергии определяет плотность смесового топлива. Это потому, что дозирование топлива осуществляется плунжерными топливными насосами, поэтому при работе с меньшей плотностью топлива массовая цикловая подача уменьшается. При работе на биотопливе снижается экономичность работы дизельного двигателя из-за повышенной плотности топлива, но увеличивается дымность отработанных газов. Однозначно что вязкость топлива влияет на работу топливоподачи, на топливную аппаратуру, из-за чего гидравлические потери энергии в топливной системе [104; 105; 106]. Таким образом, использование биодобавок в дизельное топливо изменит качество топливоподачи. В работе [91] для этого участка выполнен расчет гидродинамического процесса впрыска. Целью явилось определить количество смесового топлива в цилиндр дизельного двигателя за цикл и изменение скорости впрыска. Движение смесового топлива в трубопроводе описывается дифференциальным уравнением движения:

$$\left. \begin{aligned} dP / dx + \rho d c / dt + 2\rho k c &= 0; \\ d c / dx + (dP/dt) / c^2 \rho &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (2.11)$$

где: x – текущая координата длины топливопровода, м; ρ – плотность топлива, кг/м³; c – скорость топлива, м/с; t – время, с; k – фактор гидравлического сопротивления, 1/с.

Автором работы получены расчетно-экспериментальные зависимости влияния рапсового масла в качестве топлива на давление ТНВД ($P_{ин}$) и давление в форсунке ($P_{ф}$) дизельного двигателя Д-440.

Автором работы показано, что давление над штуцером ТНВД и давление в форсунке дизельного двигателя, работающего на рапсовом масле, выше, чем на товарном дизельном топливе.

Давление впрыскивания определяет дальнобойность струи, а также длительность распыливания топлива. В то же время с ростом давления увеличиваются затраты мощности на привод насоса. С ростом давления впрыскивания растёт остаточное давление в нагнетательном трубопроводе между

следующим впрыскиванием топлива. Увеличения остаточного давления может создать условия для дополнительных впрыскиваний. Таким образом, введение биодобавок из рапсового масла в дизельное топливо будет влиять на параметры топливоподачи. Изменение плотности топлива приведет к изменению объемного расхода топлива.

Используем известную формулу:

$$\mu f = Q \sqrt{\left(\frac{2}{P}\right) \Delta P} \quad (2.12)$$

где: μf – гидравлическая характеристика распыливания форсунки, которая определяет эффективное сечение, мм²;

Q – пропускная способность форсунки определяет расход топлива через проходное сечение при перепаде давления в единицу времени, см³/с;

P – плотность топлива, кг/м³.

$$\Delta P = P_p \cdot P_c, \quad (2.13)$$

P_p – давление топлива в распылителе;

P_c – давление среды, в которую производится впрыск топлива.

$$Q_i = \frac{\mu f}{\sqrt{\left(\frac{2}{P_i}\right) \Delta P}}, \quad (2.14)$$

где: Q_i – объем расхода и композиции смесового топлива;

P_i – плотность смесового топлива.

Таким образом, чем выше плотность топливной композиции, тем выше масса впрыскиваемого топлива. Теоретическая зависимость массы впрыскиваемого топлива от содержания биодобавок из рапсового масла показано на рисунке 2.4.

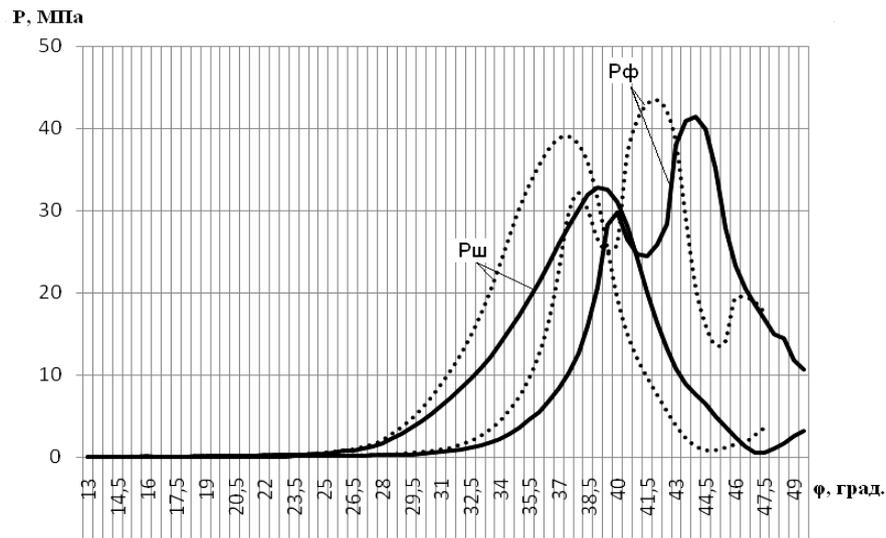


Рисунок 2.4 – Расчетные характеристики давления дизельного двигателя (—) и рапсового масла (-----) над штуцером ТНВД ($P_{ш}$) и давление в форсунке ($P_{ф}$) дизельного двигателя Д-440

С другой стороны, увеличение биодобавок из рапсового масла в дизельное топливо приводит к уменьшению теплоты сгорания Q_n . Для её определения в работе [43] получена формула:

$$Q_{ni} = \frac{Q_{нрм} \cdot V_{рм} \cdot P_{рм} + Q_{нт} \cdot V_{т} \cdot P_{т}}{P_i} \quad (2.15)$$

где: Q_{ni} – низшая теплота сгорания;

i – композиции смесового топлива $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$;

$V_{рм}, V_{дт}$ – объемная доля в биотопливе рапсового масла и дизельного топлива;

$P_{рм}, P_{дт}$ – плотность рапсового масла и дизельного топлива, $\text{кг}/\text{м}^3$;

P_i – плотность i -композиции смесового топлива.

Зависимость теплоты сгорания топливной композиции от содержания биодобавок из рапсового масла показана на рисунке 2.5.

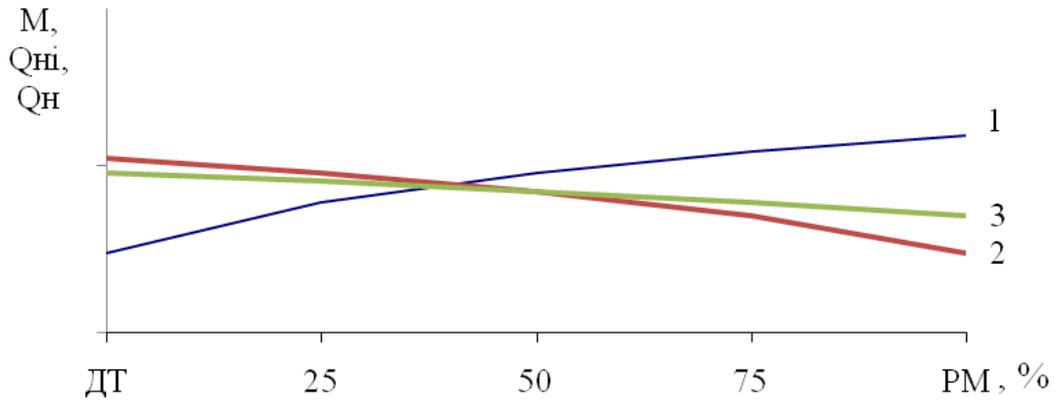


Рисунок 2.5 – Теоретическое влияние содержания биодобавок из рапсового масла на массу впрыскиваемого топлива и теплоту сгорания: 1 – зависимость массы впрыскиваемого топлива от содержания биодобавок в топливе; 2 – зависимость нижней теплоты сгорания массы топлива от содержания биодобавок; 3 – зависимость теплоты сгорания от содержания биодобавок в топливе

Анализ зависимости теоретических характеристик показывает, что при повышении содержания рапсового масла необходимы дополнительные регулировки топливного насоса, повышающие подачу.

Таким образом, увеличение концентрации биодобавок приведет к увеличению плотности и вязкости и к уменьшению теплоты сгорания топлива, впрыскиваемого в камеру сгорания, и уменьшению мощности двигателя. Для нормализации процесса топливоподачи необходимы дополнительные регулировки топливного насоса.

Выводы по главе 2

1. Наличие биодобавок из рапсового масла в смесевом топливе приводит к уменьшению прокачиваемости топлива через фильтр тонкой очистки.

2. Для повышения работоспособности фильтров тонкой очистки при больших концентрациях биодобавок в смесевом топливе необходим подогрев топлива.

3. Установлено, что увеличение концентрации биодобавок приводит к уменьшению теплоты сгорания впрыскиваемого топлива в камеру сгорания. Для нормализации процесса топливоподачи необходимы дополнительные регулировки топливного насоса высокого давления.

ГЛАВА 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Программа исследований

Программа исследований представлена на блок–схеме (рис. 3.1).

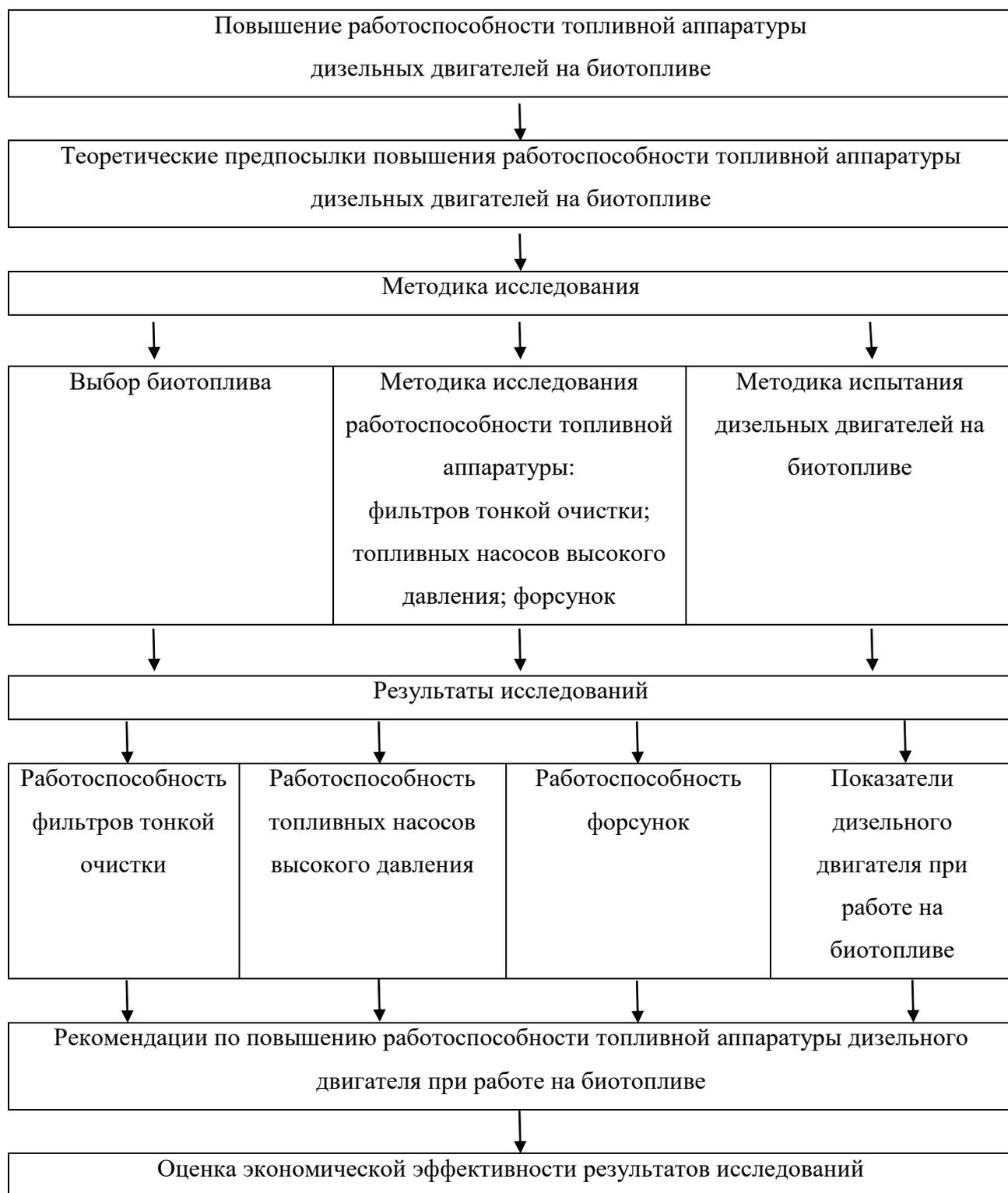


Рисунок 3.1 – Блок–схема исследований

3.2. Методика экспериментальных исследований

3.2.1. Характеристика исследуемого биотоплива

Для исследований использовали смесевое топливо. Чтобы получить смесевое топливо мы смешивали дизельное топливо (ДТ) с рапсовым маслом (РМ). На основании выполненных предварительных исследований и данных работ [1–12] готовили смесевое топливо в следующих пропорциях – 25 % РМ : 75 % ДТ, 50 % РМ : 50 % ДТ, 75 % РМ : 25 % ДТ [140]. Рапсовое масло было получено в ЗАО «Зеленоградское» Пушкинского района Московской области. Хозяйство производит семена рапса для производства рапсового масла, которое в дальнейшем используется как для кондитерской промышленности, так и для корма скоту [139]. Для производства рапсового масла в хозяйстве применяется установка пресс-машина 500 (ПМ – 500) (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Пресс-машина 500 для производства рапсового масла

Полученное рапсовое масло имеет следующие сравнительные характеристики [140] (табл. 3.1).

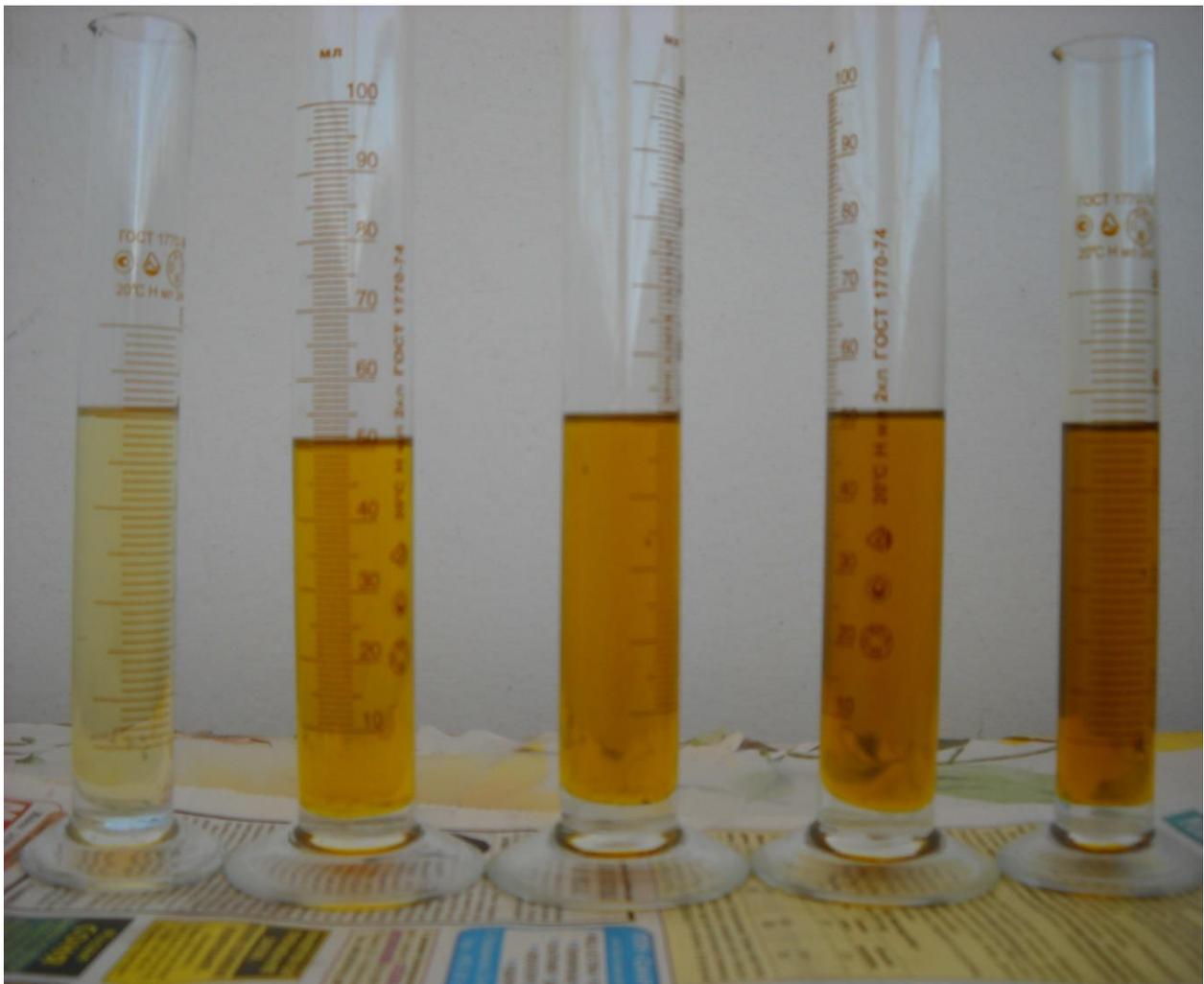
Таблица 3.1

Характеристики рапсового масла

Показатели	Рапсовое масло	Дизельное топливо Л/3
Плотность, кг/л	0,92	0,84
Вязкость при 20°C, мм ² /с	74	3-6
Плотность при 20°C, кг/м ³	915	860/840
Кислотность, мг КОН/100 см ³	6,1	5
Массовая доля серы, %	0,05	0,5
Теплота сгорания, кДЖ/кг	37200	42530
Цетановое число, ед.	41	45
Температура, °С:		
помутнения	-9	-5/-25
застывания	-18	-10/-35
воспламенения	593	543
Коксуемость 10 % остатка, %	0,43	0,3

Приготовленные композиции смесового топлива на основе рапсового масла, получаемого в ЗАО «Зеленоградское», даны на рис. 3.3.

Для определения вязкости использовали прибор «вязкометр» и секундомер, для измерения плотности использовали ареометр (рис. 3.4).



№1

№2

№3

№4

№5

Рисунок 3.3 – Композиции смесового топлива: №1 (товарное дизельное топливо ДТ), №2 (25 % РМ : 75 % ДТ), №3 (50 % РМ : 50 % ДТ), №4 (75 % РМ : 25 % ДТ), №5 (чистое рапсовое масло РМ)



Рисунок 3.4 – Приборы для измерения вязкости и плотности топлива

3.2.2. Методика исследования работоспособности фильтров тонкой очистки топливной системы дизельных двигателей

Топливные фильтры предназначены для задерживания загрязнений, содержащихся в дизельном топливе, эффективно предохраняя высокоточные элементы топливной системы двигателей внутреннего сгорания (ДВС) от быстрого износа. Пыль и ржавчина с внутренних стенок баков, вода, а также живущие в ней микроорганизмы могут вызвать быстрый износ форсунок насосов или клапанов регуляторов давления, имеющих в двигателях [107; 109; 110]. Мы проводили исследование работоспособности ФТО топлива (рис. 3.5), работающих как на дизельном, так и на смесевом топливе с добавками рапсового масла (РМ).

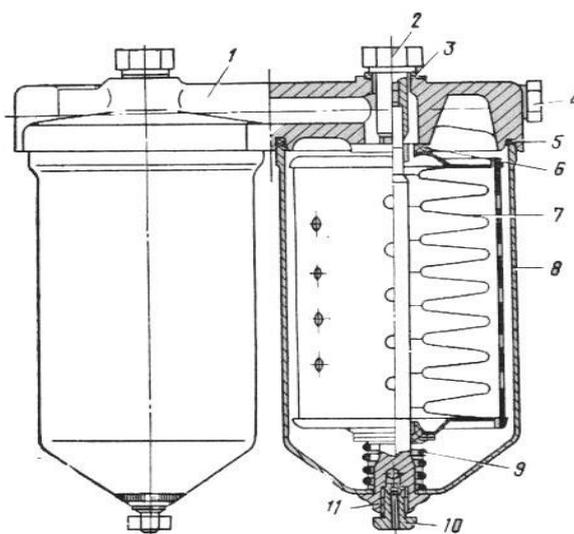


Рисунок 3.5 – Фильтрующий элемент тонкой очистки топлива: 1 – корпус, 2 – болт, 3 – уплотнительная шайба, 4 – пробка, 5 и 6 – прокладка, 7 – фильтрующий элемент, 8 – колпак, 9 – пружина фильтрующего элемента, 10 – пробка сливного отверстия, 11 – стержень

Состояние фильтрующих элементов тонкой очистки топлива проверяли в соответствии с картой 17 «Проверка состояния прокачивающего насоса, фильтрующих элементов тонкой очистки топлива и перепускного клапана», разработанной ГНУ ГОСНИТИ в Технологическом руководстве по диагностированию тракторов и самоходных сельскохозяйственных комбайнов [139]. Для проверки состояния использовали устройство КИ-28140. Схема подключения системы топливоподачи устройства следующая: один рукав

устройства присоединили с помощью штуцера к нагнетательной магистрали топливного насоса низкого давления перед фильтрующим элементом тонкой очистки топлива, а другой – между фильтрующим элементом тонкой очистки топлива и топливным насосом. Критерием работоспособности фильтрующего элемента тонкой очистки топлива является изменение (перепад) давления до и после фильтрующего элемента тонкой очистки топлива, которое определили по показанию приспособления для замера давления в топливоподкачивающей магистрали низкого давления [14].

Измерения давления в магистрали до и после фильтра проводили на номинальной частоте вращения коленчатого вала дизельного двигателя при холостой работе дизельного двигателя на дизельном топливе, рапсовом масле и на различных топливных компонентах (рис. 3.6) [139]. Такие же опыты проводили с устройством для подогрева топлива с подогретым смесевым топливом. Для экспериментов использовали новые фильтры тонкой очистки топлива.



Рисунок 3.6 – Приспособление для замера давления в топливоподкачивающих магистралях

Исследовали также влияние биодобавок из рапсового масла на состояние фильтрующих элементов тонкой очистки [136]. В первой серии опытов в фильтры заливали товарное дизельное топливо и смесевое топливо. Их выдерживали в течение шести месяцев. Оценкой состояния бумаги служило усилие на разрыв. Так как биодобавки из рапсового масла содержат различные смолы [43], то они заполняют поры, увеличивая прочность на разрыв.

Испытания фильтровальной бумаги мы проводили на разрывной машине в ОАО «Центральный институт бумаги». Схема разрывной машины представлена на рисунке 3.7.

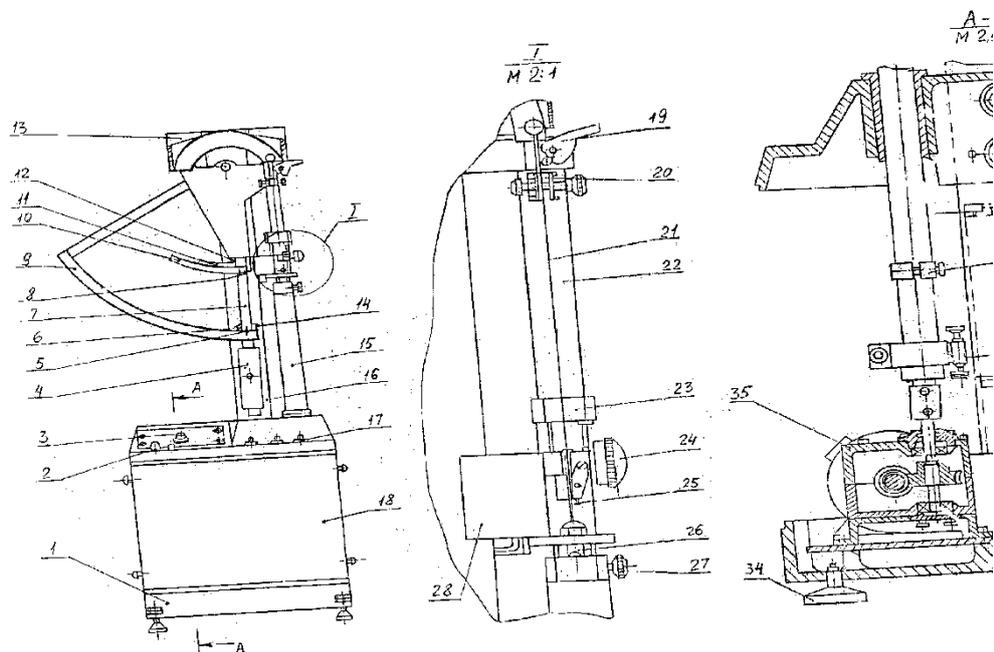


Рисунок 3.7 – Машина разрывная испытательная

Для фиксирования положения верхнего зажима 20 при установке испытуемого образца предназначен винт 19.

На линейке 22 установлен упор 23, который фиксируется винтом. На упоре имеются два штока: неподвижный и подвижный; упор 23 устанавливают на линейке 22 таким образом, чтобы нижний торец соприкасался с пластиной, где смонтирован нижний зажим 28. При этом подвижный шток будет с помощью специального рычага поднимать нижний зажим в исходное положение, при котором замыкаются контакты цепи электродвигателя.

Пластина с нижним зажимом 28, закреплена на выдвижном стержне 26, который с помощью конического штифта 27, фиксируется в тубусе 15. В стержне находится шесть отверстий 26, которые позволяют устанавливать зажимами расстояние, равное 0; 10; 50; 100; 150; 180 и 200 мм.

Нижний зажим 28 с помощью маховика 24 и винта 25 позволяет закреплять испытуемый образец с предварительным натяжением, не превышающим 0,3Н.

Для отключения электродвигателя привода 35 в момент достижения нижним зажимом 28 крайних нижнего и верхнего положений на нижней части стойки 16 установлены два микропереключателя 29 и 32, которые срабатывают при нажиме на них толкателя 31.

С целью повышения точности фиксирования нижнего зажима 28 в крайнем верхнем положении предусмотрен упор 30, установленный на тубусе 15 таким образом, чтобы верхняя плоскость упора приходила в соприкосновение с верхней плитой машины после срабатывания переключателя 29.

При разрыве испытываемого образца происходит мгновенное выключение электродвигателя, остановка нижнего зажима вследствие размыкания контактов, находящихся на рычаге нижнего зажима.

Для определения величины предусмотрен маятник удлинения 12. На длинном плече маятника установлен конус 11 для отсчета абсолютного удлинения образца и указатель 8 для отсчета его относительного удлинения. Короткое плечо этого маятника при помощи ленты 21 и стяжки с двумя гайками соединено с тубусом 15, что позволяет в исходном положении совмещать нулевые отметки конуса и циферблата удлинения 10.

От каждого фильтра вырезали прямоугольные листы и затем полоски [136] (рис. 3.8).

Полоски фильтрующих элементов тонкой очистки топлива закрепляли на разрывной машине. Нагружение с растяжением полосок производили до разрушения (разрыва). Показатели разрушающего усилия определили по шкале разрывной машины. За результат определения разрушающего усилия исследуемой бумаги фильтрующего элемента тонкой очистки топлива взяли

среднее значение измерений, и округлили до целого числа по правилам округления [137].



Рисунок 3.8 – Образцы фильтровальной бумаги для испытания на разрыв

Исследовали также состояние резинотехнических изделий фильтров (уплотнение) [137] (рис. 3.9).



Рисунок 3.9 – Резинотехнические изделия фильтров: 1 – уплотнение

Образцы резинотехнических изделий были помещены в емкости с товарным дизельным топливом и смесевым топливом и были выдержаны в течение шести месяцев. После чего изделия были взяты из емкости для сравнения их к пригодности для дальнейшей работы и сравнены между собой [137] (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Резинотехнические изделия фильтров: 1 – в рапсовом масле; 2 – в товарном дизельном топливе

3.2.3. Методика исследования параметров топливоподачи

Для исследований параметров системы топливоподачи дизельного двигателя применяли мотортестер МО 3-2 [139] (рис. 3.11).



Рисунок 3.11 – Общий вид мотортестера МО 3-2

Для удобства работы с мотортестером рабочее место оборудовали поворотной штангой. При размещении мотортестера учитывали, что оптимальный угол обзора – перпендикулярно дисплею [140] (рис. 3.11).

Мотортестер МО 3-2 представляет собой микропроцессорный прибор с комплектом датчиков и соединительных устройств [140] (рис. 3.12):

- датчик тока ДТ;
- датчик давления ДД;
- датчик высокого напряжения ДВН;
- стробоскоп;
- устройство соединительное УС1, в состав которого входят: зажим контактный «+»; зажим контактный «-»; зажим контактный КЗ; щуп контактный ОСЦ1; щуп контактный ОСЦ2 [133].

Мотортестер измеряет различные параметры технического состояния топливной системы дизельных двигателей.

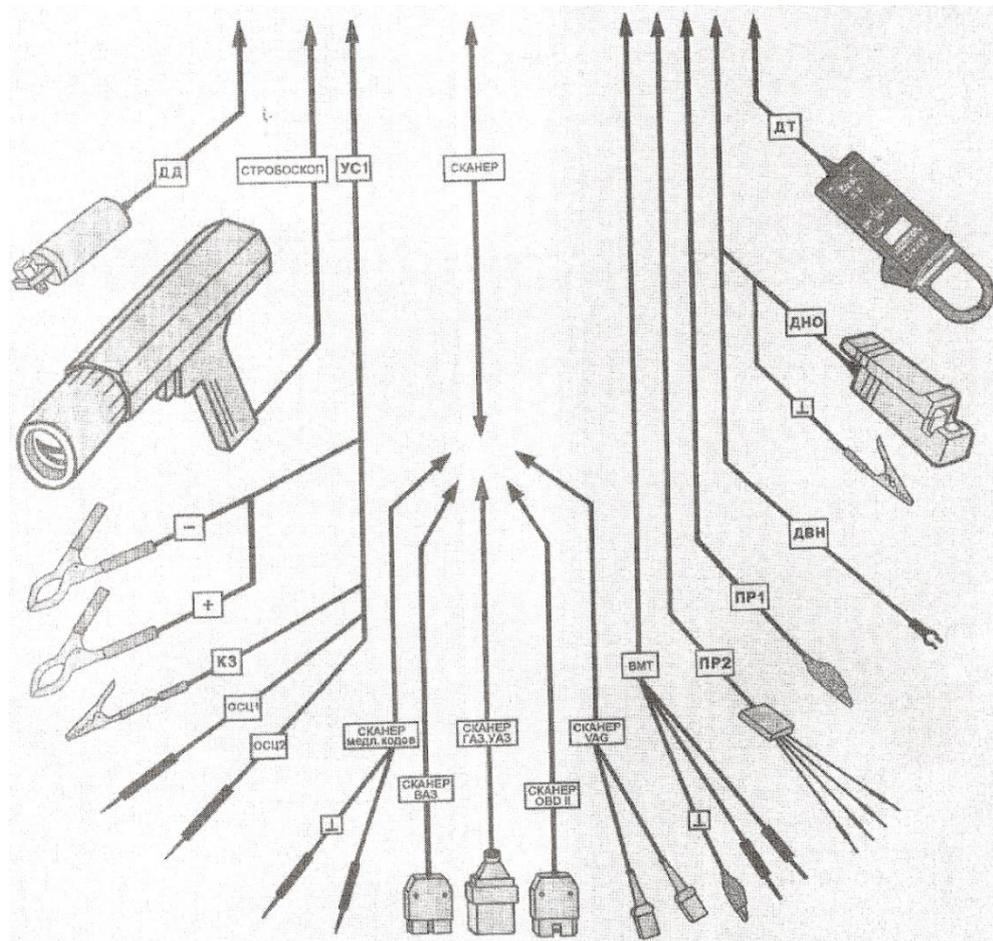


Рисунок 3.12 – Схема соединений и датчики мотортестера

Технические характеристики мотортестора МО 3-2 представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Наименование параметра, характеристики	Значение характеристики, диапазон измерения параметра	Предел допускаемой основной абсолютной погрешности измерений	Цена единицы наименьшего разряда показания	Примечание
Частота вращения коленчатого вала, об/мин	100–5000	± 10	1	
Неравномерность частоты вращения коленчатого вала, об/мин	-	± 10	1	1*
Напряжение постоянного электрического тока на клеммах аккумуляторной батареи ($U_{аб}$, $U_{эдс}$, $U_{зар}$), В	0–40,0	$\pm 10,2$	0,1	
Сила постоянного электрического тока, 1 А	0–400	$\pm 2+0,04X $	1	
Эффективная мощность двигателя, кВт (л.с.)	0–400 (0–540)	-	1 (1)	3*
Максимальное давление впрыска, P_{max} , МПа	0–50,0	$\pm 1,0$	0,1	
Остаточное давление в трубопроводе высокого давления, $P_{ост}$, МПа	0–50,0	$\pm 1,0$	0,1	
Длительность подачи топлива, ДЛИТ, мс	1,0–10,0	$\pm 0,2$	0,1	
Угол опережения подачи топлива, отсчитанный по углу поворота коленчатого вала, УОПТ, град.	1–60	± 1	1	

Перед проведением измерений параметров топливной системы ДВС прогревается до рабочей температуры и подключаются все необходимые датчики на испытываемый дизельный двигатель (рис. 3.13).

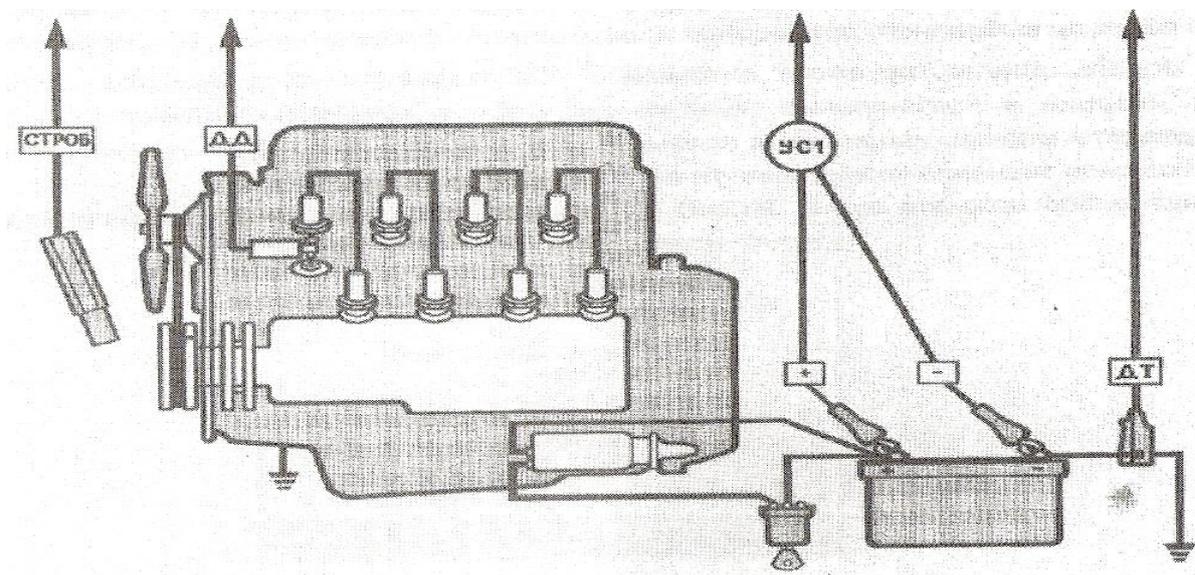


Рисунок 3.13 – Схема крепления датчиков на двигателе

Работы проводили в следующей последовательности:

1. Датчик тока установили на провод, идущий от аккумуляторной батареи на массу для измерения тока заряда аккумуляторной батареи [133].
2. Зажимы «+» (красного цвета) и «-» (черный) подключили к клеммам аккумуляторной батареи [133].
3. Сняли скобу, стягивающую топливную трубку, подходящую к форсунке первого цилиндра с остальными трубками и корпусом. Отвинтили фланец наконечника трубки от форсунки и установили наконечник топливной трубки на датчик давления. Завинтили фланец крепления наконечника топливной трубки. Герметично установили датчик давления. Для стравливания воздуха из топливопровода одну из гаек датчика давления затягивали только через несколько секунд после запуска дизельного двигателя [133].

При включении мотортестера производилась самодиагностика основных узлов прибора. Далее включился режим выбора типа двигателя и модели автомобиля [133]. Перемещая кнопки «▲», «▼», выбираем «тип двигателя» «дизельный» и нажимаем кнопку ВВОД. Из списка моделей автомобилей выбрали

модель испытываемого автомобиля КАМАЗ [133]. После мотортестер сообщил о подключении датчиков. Затем, нажав кнопку МЕНЮ, вошли в меню измерений. В работе нами проводились измерения при следующих режимах работы двигателя: при запуске «СИСТЕМА ПУСКА», на холостом ходу «РЕЖИМ ХОЛОСТОГО ХОДА» и при повышенных оборотах «РЕЖИМ ПОВЫШЕННЫХ ОБОРОТОВ». При испытаниях измеряли также мощность дизельного двигателя.

На указанных режимах производилось измерение параметров угла опережения подачи топлива (УОПТ), впрыска топлива, результаты испытания системы пуска, системы электропитания, мощность дизельного двигателя [133].

На режиме «СИСТЕМА ПУСКА» с помощью датчика тока и зажима «+» из состава УС1 производили измерения параметров системы пуска. В течение 7 секунд после включения режима шла обработка сигналов с датчиков. В результате на экране появлялись осциллограммы измерения напряжения и тока. Затем производили прокрутку дизельного двигателя стартером, предварительно заблокировав работу топливного насоса высокого давления. Через 7 секунд на экране мотортестера появлялись значения измеренного тока, потребляемого стартером и значения напряжения аккумуляторной батареи в момент пуска [142].

На режиме «РЕЖИМ ХОЛОСТОГО ХОДА» производили измерения давления впрыска, угла опережения подачи топлива в системе электропитания. Для входа в режим измерения УОПТ включили стробоскоп. Нажав верхнюю и нижнюю кнопки стробоскопа, освещали шкив коленчатого вала и совмещали подвижную и неподвижную метки ВМТ на дизельном двигателе. После на экране отображалось значение угла опережения подачи топлива УОПТ 24 нкв [133]. При нажатии кнопки «3» на мотортестере измеряли параметры впрыска: P_{\max} – максимальное давление впрыска топлива, $P_{\text{ост}}$ – остаточное давление в топливопроводе высокого давления, ДЛИТ – длительность подачи топлива [133].

На режиме «РЕЖИМ ПОВЫШЕННЫХ ОБОРОТОВ» измерения проводили аналогично режиму холостого хода. При этом частота вращения двигателя устанавливалась 2000 об/мин [133].

Процедуры измерений на различных режимах повторяли по пять раз с различными композициями топлив, в том числе на товарном дизельном, смесевом и чистом рапсовом масле [140].

3.2.4. Методика исследования работоспособности форсунок

Форсунка предназначена для распыления и впрыскивания топлива в камеру сгорания. Избыточное топливо и попавший в систему воздух через перепускной клапан топливного насоса высокого давления и клапан-жиклер фильтра тонкой очистки топлива по дренажным проводам поступает в топливный бак [132].

Для исследования форсунок использовали стенд и манометр. Оборудование для исследования параметров форсунок представлено [132] в таблице 3.3.

Таблица 3.3

Оборудование для исследований форсунки

Название и марка прибора	Назначение	Единица измерения	Точность измерения
Стенд для проверки форсунок Т9161-115	Проверка технического состояния форсунок	кгс/см ²	1
Манометр	Измерение давления	кгс/см ²	1

На стенде проверили следующие параметры:

- давление начала впрыскивания;
- качество распыливания топлива;
- гидравлическая плотность форсунки;
- герметичность по запирающему конусу распылителя [132].

Стенд для испытания форсунки показан на рисунке 3.14, а его схема на рисунке 3.15 [132].

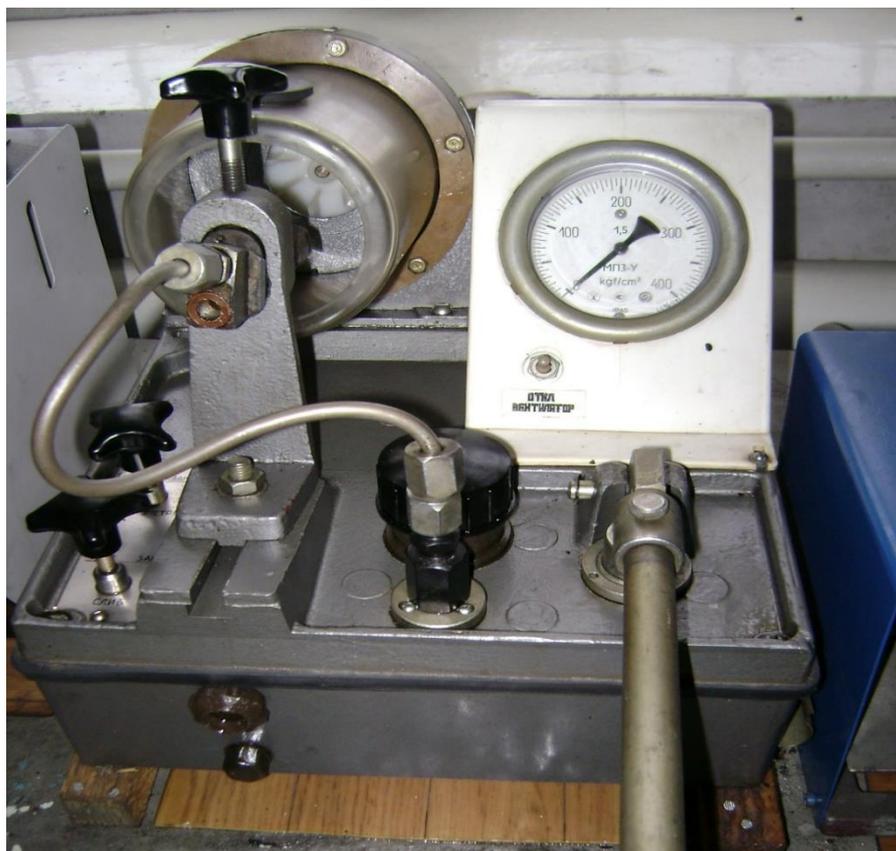


Рисунок 3.14 – Стенд для испытания форсунки Т 9161-115

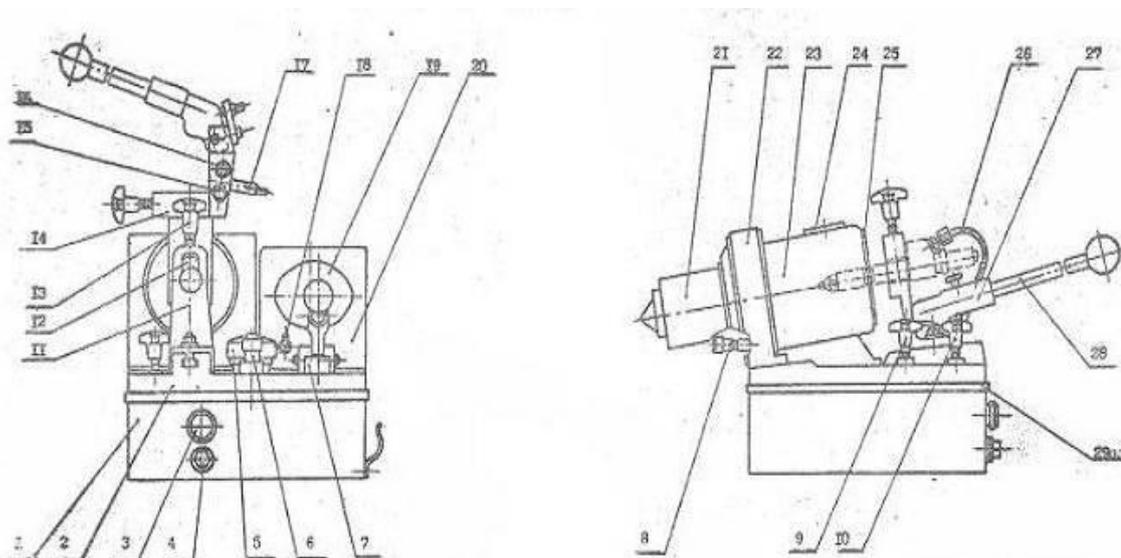


Рисунок 3.15 – Схема стенда для проверки форсунок Т 9161-115: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – маслоуказатель; 4 – сливная пробка; 5 – сапун; 6 – выходной штуцер; 7 – насос; 8 – вставка; 9 – кран; 10 – кран “слив”; 11 – кронштейн; 12 – призма; 13 – винт нажимной; 14 – зажим насос-форсунки; 15 – колпачок; 16 – штуцер; 17 – паблон; 18 – тумблер; 19 – манометр; 20 – кожух; 21 – электродвигатель МЭ-236; 22 – вентилятор; 23 – камера впрыска; 24 – заглушка; 25 – крышка; 26 – сменный топливопровод; 27 – рычаг; 28 – рукоятка; 29 – прокладка [148]

Для испытания форсунка устанавливалась на дизельный двигатель КАМАЗ-740 (рис. 3.16).

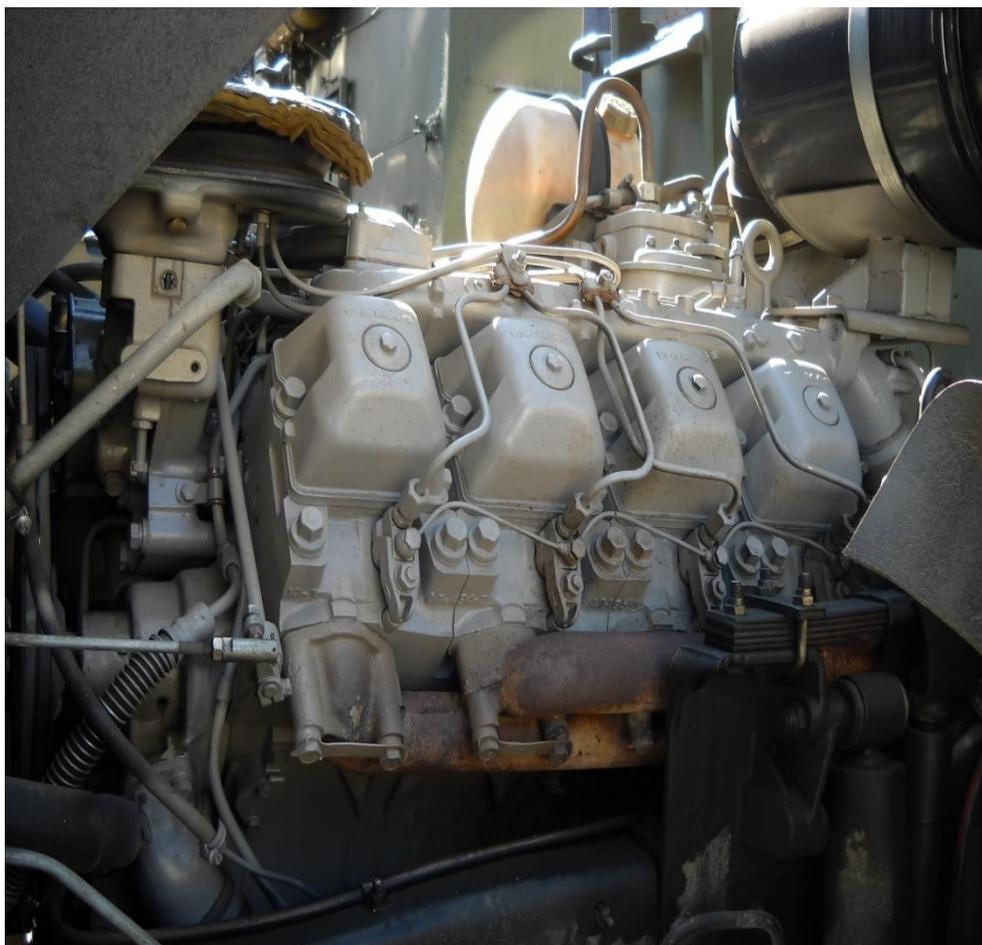


Рисунок 3.16 – Дизельный двигатель 740.10 для исследования работоспособности форсунки на биотопливе

Затем проводились измерения:

- давление начала впрыска;
- качество распыления топлива;
- герметичность по запирающему конусу распылителя.

Испытания форсунки проводились по следующей методике [139].

Давление начала впрыска форсунки проверяли таким образом: устанавливали форсунку на стенд; затем создали насосом давление в гидросистеме и зафиксировали его на манометре в момент начала выхода струи топлива из форсунки [148].

Качество распыливания смесового топлива форсункой определяли так: устанавливали форсунку на стенд; затем производили впрыскивание смесового

топлива форсункой в камеру впрыска, создав давление насосом. Наблюдали визуально размеры частиц распыленного топлива и плотность их распределения по поперечному сечению факела впрыскиваемого смесового топлива. Начало и конец впрыска четкий и сопровождается характерным звуком. В факеле впрыскиваемого форсункой смесового топлива не должно образовываться отдельных капель и сплошных струек топлива. Подтекания топлива через сопловые отверстия не допускается [148].

Герметичность по запирающему конусу распылителя форсунки проводили следующим образом: устанавливали форсунку на стенд; затем создав насосом в гидросистеме стенда давление на 1–1,5 МПа (10–15 кгс/см²) уменьшали давление впрыска форсунки [111; 148].

3.2.5. Методика исследования экологических показателей дизельного двигателя

В работе измеряли содержание оксида углерода СО, углеводород СН, дымность дизельного двигателя на биотопливе с использованием многокомпонентного газоанализатора «АВТОТЕСТЕР–01.04 М» [137]. Назначение, модификация и класс прибора приведены в таблице 3.4.

Таблица 3.4

Класс прибора	Модификация	Назначение
II	АВТОТЕСТ–01.04М АВТОТЕСТ–01.04М II	Измерение: – Концентрации оксида углерода и углеводородов; – Дымности отработавших газов дизельных двигателей; – Рабочей температуры моторного масла двигателя (опция)

Измерения и пределы допускаемой погрешности прибора приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5

Измеряемый компонент	Диапазон измерений	Цена деления	Участок диапазона измерения	Основная погрешность	
				Абсолютная	Относительная
Углеводород	0–3000 млн ⁻¹	1 млн ⁻¹	0 ÷ 333 млн ⁻¹ 333 ÷ 3000 млн ⁻¹	± 20 млн ⁻¹ --	-- ± 6 %
Оксид углерода	0 ÷ 7 %	0,01 %	0 ÷ 3,3 % 3,3 ÷ 7 %	± 0,2 % --	-- ± 6 %
Дымность (для модификации «АВТОТЕСТ-01.04М»)	0 ÷ ∞ м ⁻¹ (0 ÷ 100 %)	0,01 0,1			± 2 %

Размеры «АВТОТЕСТ-01.04М» – 330×100×290 мм. Время прогрева данного прибора не более 30 мин. Схема прибора приведена на рисунках 3.17 и 3.18.

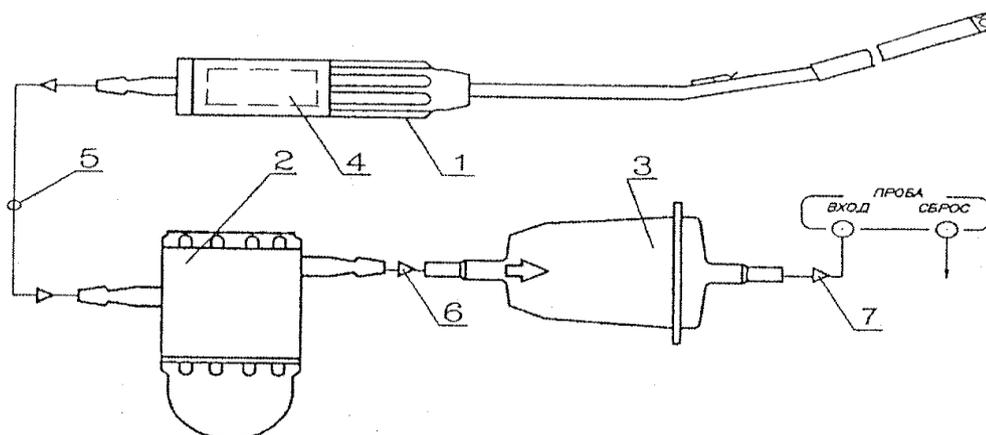


Рисунок 3.17 – Схема прибора «АВТОТЕСТ – 01.04М»: 1 – пробозаборник; 2 – каплеулавливатель; 3 – фильтр тонкой очистки пробы (GB – 702); 4 – фильтр грубой очистки; 5 – пробозаборная трубка; 6 – трубка Т1 (~30 мм); 7 – трубка Т2 (~65 мм)

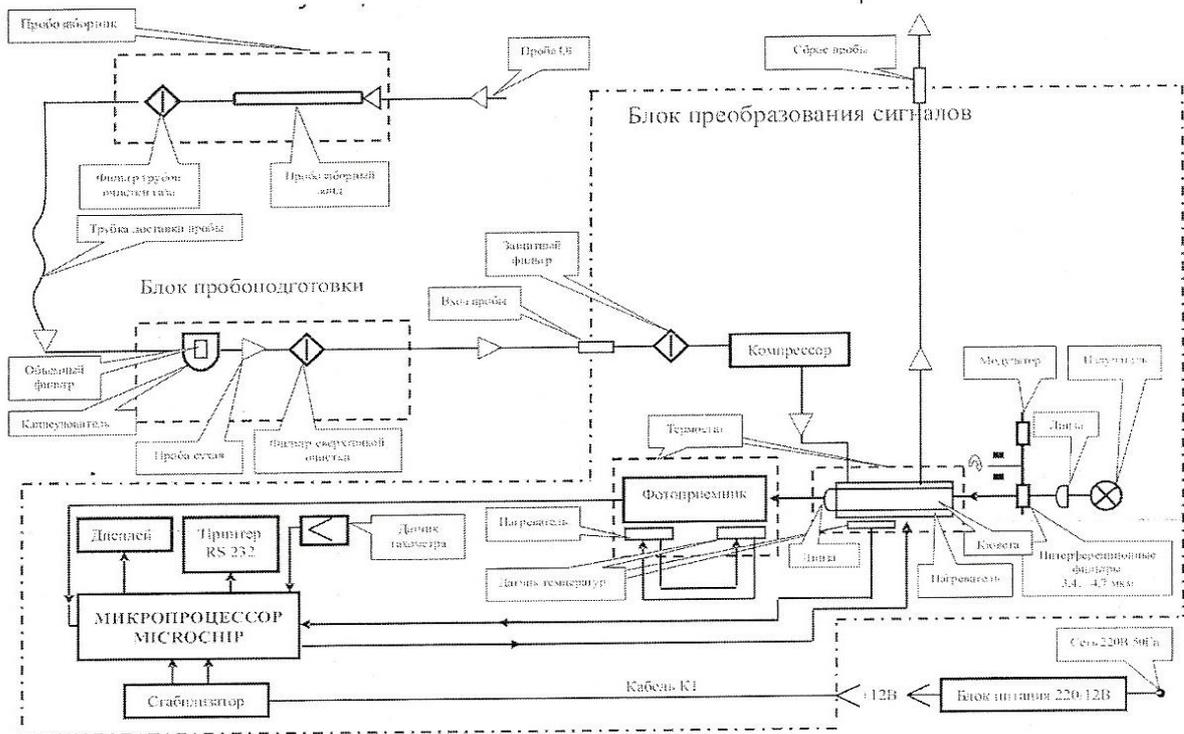


Рисунок 3.18 – Функциональная схема прибора «АВТОТЕСТ–1.04М»

Прибор «АВТОТЕСТ–01.04М» работает следующим образом: определяет оксид углерода (4,7 мкм), диоксид углерода (4,25 мкм) и углеводород (3,4 мкм), опорный канал (3,9 мкм) поочередно. Аналитические сигналы исследования концентрации углеводородов, оксида углерода и диоксида углерода преобразуются, линеаризуются, проходят обработку в микропроцессоре.

Полученные результаты исследований для пользования отображаем на индикаторе.

Прибор «АВТОТЕСТ–01.04М» имеет датчик тахометра (RPM), который гарантирует помехоустойчивость прибора от системы электрозажигания всех видов автомобиля.

Температура дизельного двигателя, измеряется датчиком температуры.

Датчик температуры ОГ, сигнал фотоприемника, датчик давления подают снятую информацию на вход микропроцессора, где сигналы обрабатываются в соответствии с программой. Результаты полученной информации и измерения выводятся на дисплее.

Измерительные исследования проводили в следующем порядке:

1. Сначала включали кнопку ВКЛЮЧИТЬ приборов на передней панели. На индикаторе отобразится сообщение: «прогрев».
2. Прибор прогревается примерно не более 30 минут.
3. Потом в течение 1 минуты производится коррекция нуля. На панели прибора появляется сообщение: «прервите пробу».

3.2.6. Методика исследования мощности дизельного двигателя

Мощность двигателя измеряли на режиме мотортестера «МОЩНОСТЬ». Для этого по команде мотортестера «РАЗГОН» резко нажимали педаль акселератора до упора. После этого высвечивалась команда «ВЫБЕГ». Затем опускали педаль акселератора. При этом частота вращения понижалась до частоты начала разгона и высвечивалась команда «РАЗГОН». Снова резко нажимали педаль акселератора. Цикл «РАЗГОН-ВЫБЕГ» повторили три раза по команде мотортестера. В результате на экране высвечивалось измеренное значение мощности двигателя [140].

Процедуры измерений на различных режимах повторяли по пять раз с различными композициями топлив, в том числе на товарном дизельном, смесевом и чистом рапсовом масле [140].

3.2.7. Методика эксплуатационных испытаний

Эксплуатационные испытания проводили в ЗАО «Агрофирма Восток и СПК «Волжский» Волгоградской области на дизельных двигателях ЯМЗ-238, 740.30 установленных на автомобилях и тракторах. Тракторы выполняли транспортные работы на пахоте, посевах. Автомобили КАМАЗ выполняли транспортные перевозки. Для заправки автомобилей использовались различные смесевые композиции: 1–70 % ДТ:30 % РМ; 2–50 % ДТ:50 % РМ; 3–30 % ДТ:70 % РМ. Проверяли состояние фильтров тонкой очистки и распылителей форсунок, а также измеряли дымность. Для заправки тракторов использовалась наиболее часто

рекомендуемая композиция: 70 % ДТ:30 % РМ. Через различные наработки проверяли состояние фильтров и распылителей форсунок.

Выводы по главе 3

1. Разработана программа исследований, которая включает как общую, так и частные методики.

2. Разработана методика испытания топливных фильтров на биотопливе и состояние фильтрующих элементов по прочности на разрыв полосок фильтровальной бумаги.

3. Разработана методика исследований показателей топливоподачи и определения мощности дизельного двигателя на биотопливе с использованием мотортестора МО 3-2.

4. Разработана методика испытаний форсунок дизельных двигателей, работающих на биотопливе.

5. Разработана методика экологических показателей дизельного двигателя с использованием газоанализатора «АВТОТЕСТ–01.04М».

ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

4.1. Влияние биодобавок из рапсового масла в дизельное топливо на работоспособность фильтров

4.1.1. Влияние биодобавок из рапсового масла в дизельное топливо на сопротивление фильтров

На всей линии топливоподачи основным элементом обеспечивающим работоспособность топливной системы является фильтр тонкой очистки (далее ФТО) топлива. Фильтрующий элемент тонкой очистки топлива обязан обеспечить необходимую точность фильтрации и сохранять тактико-технические характеристики перепада давления до и после фильтра. На повышенное засорение фильтров тонкой очистки топлива при работе на биотопливе указывают многие исследователи [71].

Давление до и после фильтров является одним из основных диагностических параметров их состояния. Этот параметр измеряли устройством КИ-28140 на номинальной частоте вращения коленчатого вала дизельного двигателя при холостой работе дизельного двигателя [136]. Зависимость перепада давления до и после фильтра от содержания биодобавок рапсового масла в различных топливных композициях дана на рисунке 4.1.

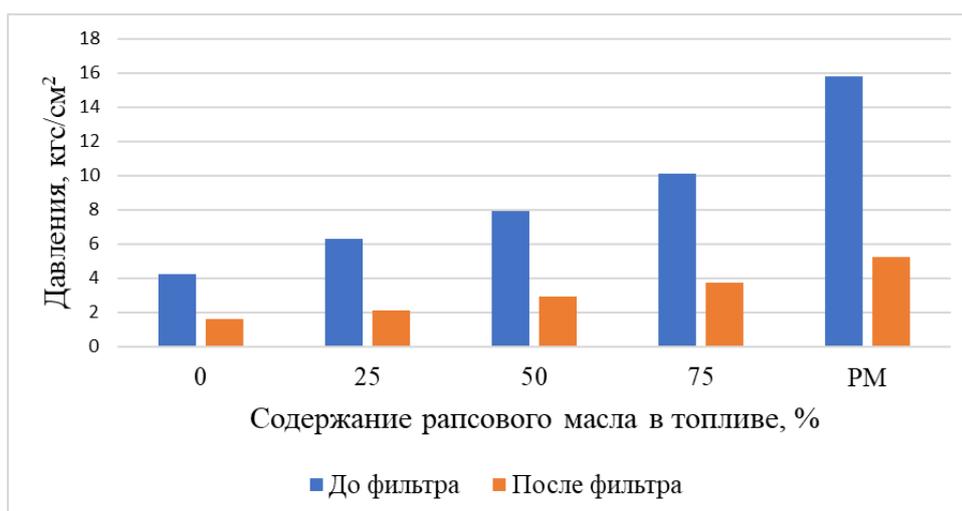


Рисунок 4.1 – Результаты исследования зависимости давления до и после фильтра тонкой очистки топлива от содержания рапсового масла в дизельном топливе

Исследованием установлено, что добавление рапсового масла в дизельном топливе создает дополнительное гидравлическое сопротивление. И связано это с повышением вязкости смесового топлива [137] (рис. 4.2).

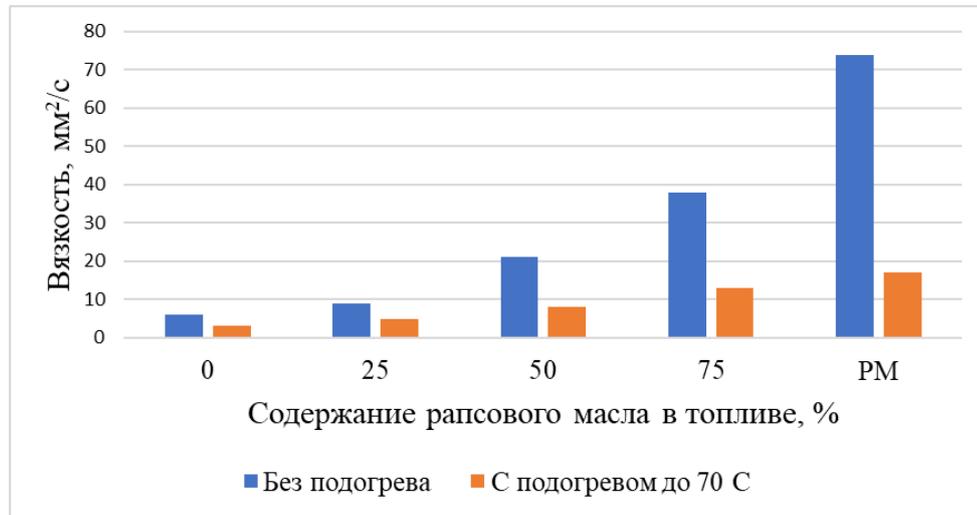


Рисунок 4.2 – Зависимость вязкости топлива от содержания рапсового масла в дизельном топливе

Результаты измерений плотности топлива от содержания рапсового масла в дизельном топливе представлены на рисунке 4.3.

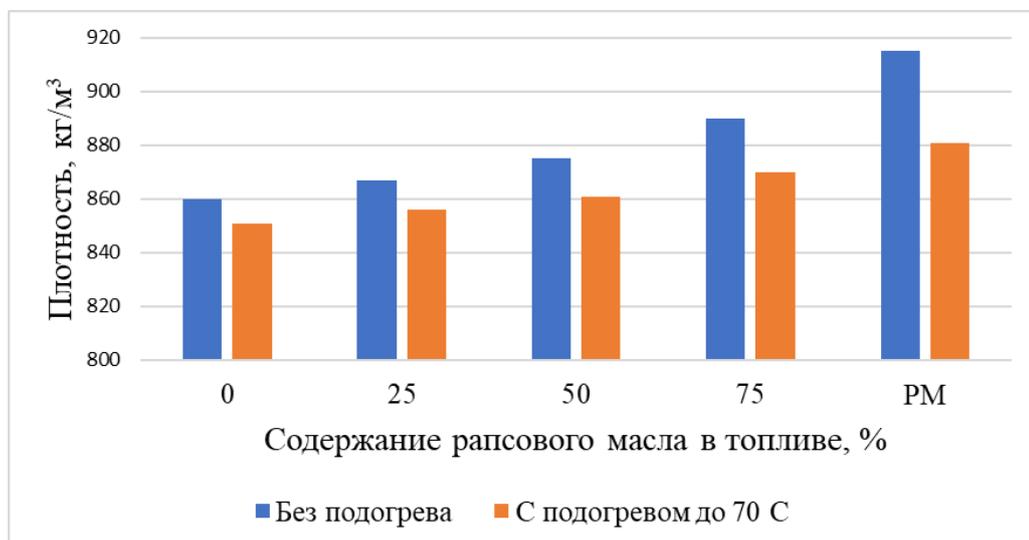


Рисунок 4.3 – Зависимость плотности топлива от содержания рапсового масла в дизельном топливе

Зависимость перепада давления до и после фильтра от содержания биодобавок рапсового масла в подогретых топливных композициях до 70 °С дана на рисунке 4.4.

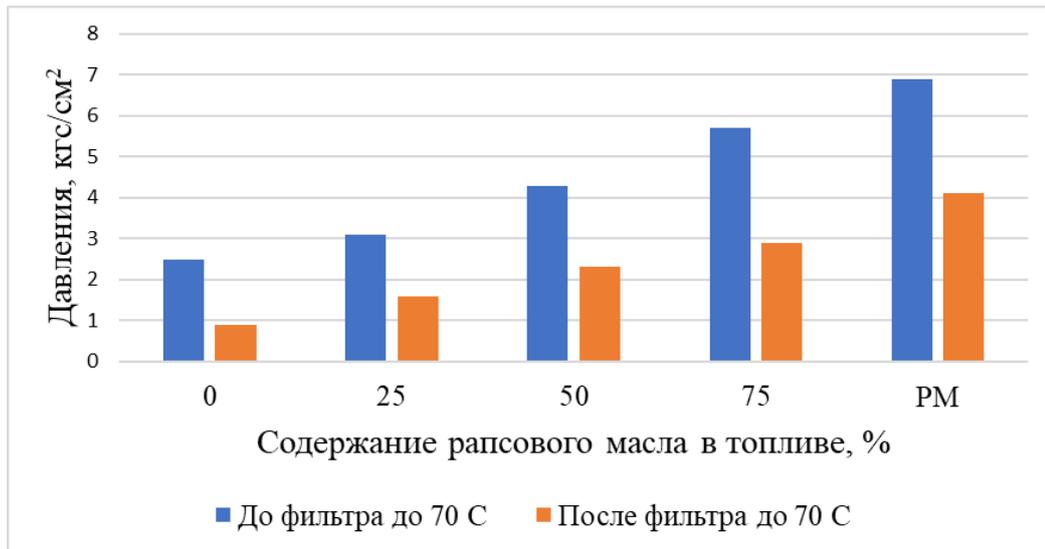


Рисунок 4.4 – Зависимость давления до и после фильтра от содержания биодобавок рапсового масла в подогретых топливных композициях температура подогрева топлива до 70°С

Таким образом, в результате исследований установлено, что использование биодобавок (рапсового масла) в дизельном топливе создает дополнительное гидравлическое сопротивление. Подогревом смесового топлива можно снизить гидравлическое сопротивление [136]. Перепад давления увеличивается пропорционально увеличению динамической вязкости [71]. Наши исследования подтвердили это положение.

4.1.2. Влияние биодобавок из рапсового масла в дизельное топливо на работоспособность фильтрующих элементов

Согласно методике, состояние фильтрующих элементов оценивали по усилию разрыва полосок фильтрующей бумаги. Результаты исследований представлены в таблице 4.1 [137].

Зависимость усилия разрыва полосок фильтра от содержания биодобавок из рапсового масла в смесовом топливе дана рисунке 4.5.

Таблица 4.1

Усилия разрыва полосок фильтрующей бумаги

Фильтр	Усилия разрыва, Н
Новый	80
Фильтр, выдержанный в товарном дизельном топливе	33
Фильтр, выдержанный в смесевом топливе (25 %РМ : 75 %ДТ)	41
Фильтр, выдержанный в смесевом топливе (50 %РМ : 50 %ДТ)	62
Фильтр, выдержанный в смесевом топливе (75 %РМ : 25 %ДТ)	78
Фильтр, выдержанный в рапсовом масле	90

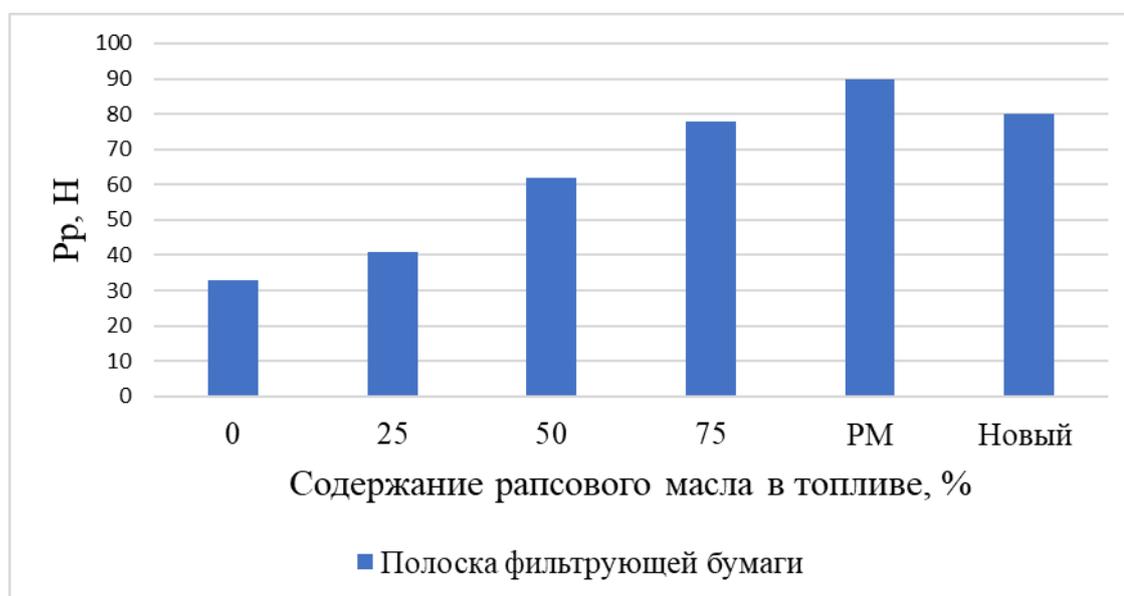


Рисунок 4.5 – Зависимость усилия разрыва полосок фильтра тонкой очистки топлива от содержания рапсового масла в дизельном топливе

Анализ полученных данных показал, что у фильтрующего элемента тонкой очистки топлива, который был выдержан в рапсовом масле, разрыв образца выше и составляет – 90 Н [136], а у фильтрующего элемента тонкой очистки топлива, выдержанного в дизельном топливе – 33 Н. Получается, что для повышения работоспособности фильтрующего элемента тонкой очистки топлива, работающего на смесевом топливе, его необходимо чаще менять или промывать.

4.1.3. Влияние биодобавок из рапсового масла в дизельное топливо на состояние резиновых изделий

Согласно разработанной нами методике, после шести месяцев выдержки резиновых изделий фильтрующего элемента тонкой очистки топлива в смесевом топливе их визуально сравнили (рис. 4.6).



Рисунок 4.6 – Резиновые изделия, выдержанные в дизельном топливе

После сравнения было видно, что резинотехнические изделия из емкости с рапсовым маслом №1, 2, 3 остались без изменения и пригодны для дальнейшей работы. А вот резинотехнические изделия, которые были извлечены из емкости с дизельным топливом № 4, 5, 6, были непригодны для дальнейшего использования. Резиновое изделие № 4 было повреждено, №5 увеличено в размерах, растянуто и мягкое, № 6 растянуто на 20 мм в диаметре (рис. 4.7).

Согласно полученным результатам исследования видно, что резинотехнические изделия № 4, 5, 6, из емкости с товарным дизельным топливом непригодны для дальнейшего использования [136; 137; 161].

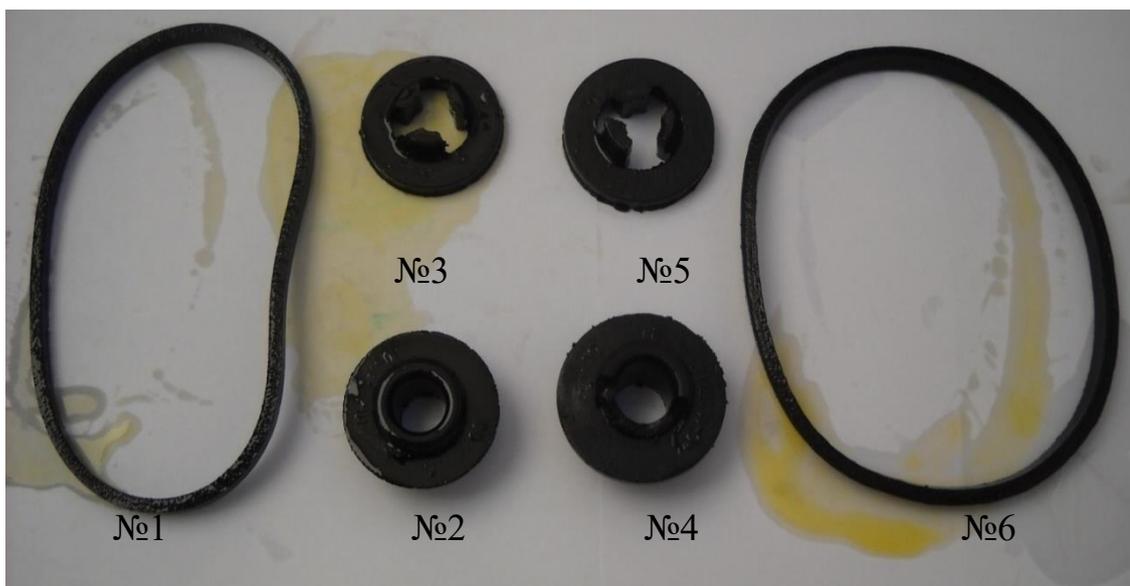


Рисунок 4.7 – Резинотехнические изделия (рем. комплект фильтра тонкой очистки топлива), извлеченные из емкости с рапсовым маслом (№ 1, 2, 3) и товарным дизельным топливом (№ 4, 5, 6) [161]

Установлено, что содержание рапсового масла в смесевом топливе не ухудшает состояние резинотехнических изделий фильтрующего элемента тонкой очистки топлива. Хотя в некоторых работах отмечается, что при работе на биотопливе отмечается размягчение и расслоение резиновых изделий [71; 161].

4.2. Влияние биодобавок в дизельное топливо на характеристики топливоподачи

Важнейшими характеристиками топливоподачи является угол нагнетания давления и длительность подачи топлива. Влияние биодобавок в дизельное топливо проводили на различных режимах работы дизельного двигателя. Исследовались как чистое дизельное топливо, так и смесевое с различной концентрацией рапсового масла. Влияние содержания рапсового масла в смесевом топливе на угол опережения подачи топлива [139; 161] дано в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Влияние содержания рапсового масла в смесевом топливе на угол опережения подачи топлива, град. до «ВМТ»

Режим работ дизельного двигателя	ДТ	75 % ДТ:25 % РМ	50 % ДТ:50 % РМ	25 % ДТ:75 % РМ
Холостой ход, 600 об/мин	24	24	24	24
При повышенных оборотах, 2000 об/мин	41	41	41	41

Таким образом, содержание рапсового масла в смесевом топливе не влияет на угол опережения подачи топлива (табл. 4.3, рис. 4.8) [133].

Таблица 4.3

Влияние содержания рапсового масла в смесевом топливе на длительность подачи топлива [137; 139]

Режим работ дизельного двигателя	ДТ	75 % ДТ : 25 % РМ	50 % ДТ : 50 % РМ	25 % ДТ : 75 % РМ
Холостой ход, 600 об/мин	2,3	2,3	3,1	3,9
При повышенных оборотах, 2000 об/мин	3,5	3,6	4,1	4,4

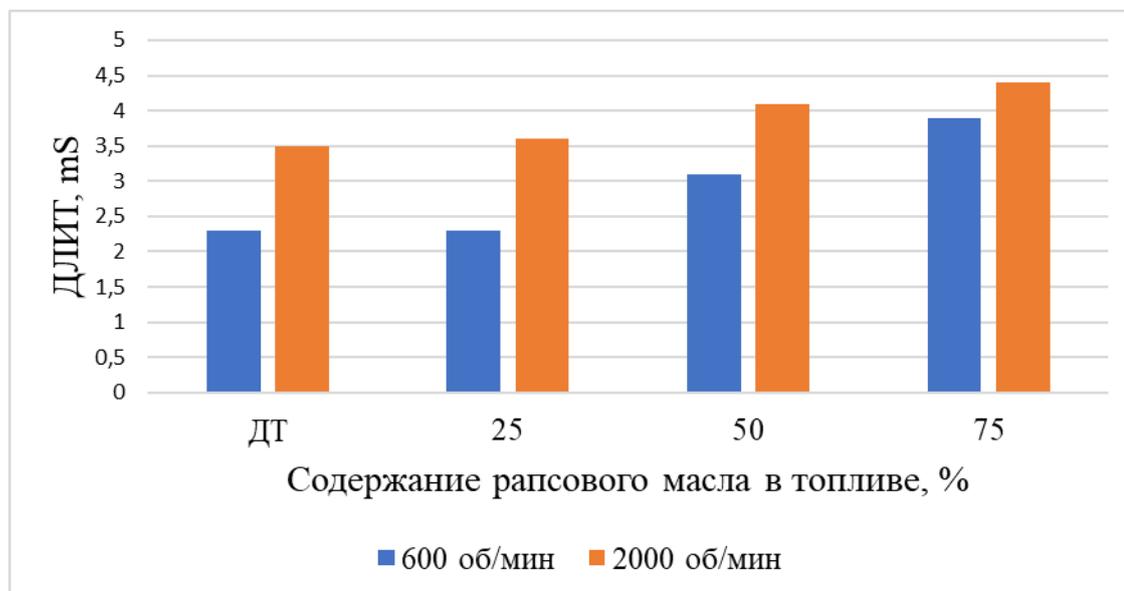


Рисунок 4.8 – Зависимость длительности подачи топлива от содержания рапсового масла в дизельном топливе

Как показали результаты испытаний, содержание рапсового масла в смесевом топливе влияет на длительность подачи топлива. Увеличение концентрации рапсового масла приводит к повышению длительности подачи топлива почти в 1,5 раза. Особенно характерно повышение длительности подачи топлива на режиме холостого хода. Это объясняется повышением вязкости топлива (табл. 4.4) [71; 137].

Результаты испытаний показали, что содержание рапсового масла в смесевом топливе влияет также на максимальное давление впрыска топлива. Увеличение концентрации рапсового масла приводит к повышению максимального давления впрыска топлива почти в 1,2 раза. Особенно характерно это повышение на режиме холостого хода (рис. 4.9) [137].

Таблица 4.4

Влияние содержания рапсового масла в смесевом топливе на максимальное давление впрыска топлива, МПа

Режим работ дизельного двигателя	ДТ	75 %ДТ : 25 %РМ	50 %ДТ : 50 %РМ	25 %ДТ : 75 %РМ
Холостой ход, 600 об/мин	19,0	19,0	21,0	23,0
При повышенных оборотах, 2000 об/мин	31,6	32,1	32,9	33,7

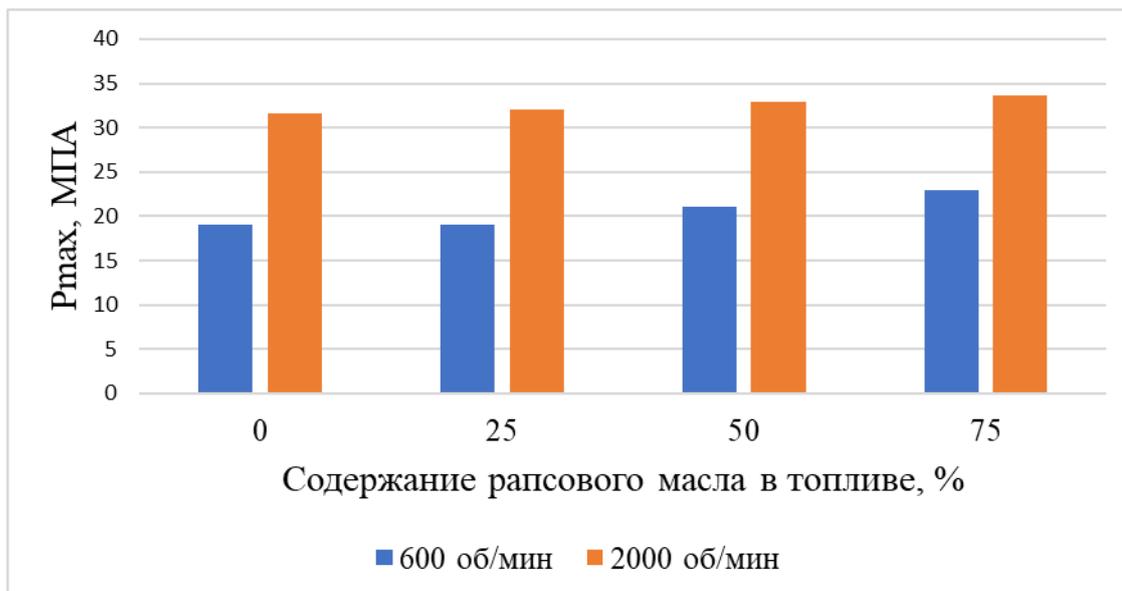


Рисунок 4.9 – Зависимость максимального давления впрыска топлива от содержания рапсового масла в дизельном топливе

Повышение максимального давления впрыска топлива при увеличении содержания рапсового масла в смесевом топливе объясняется повышением его вязкости [137].

В работе [71] также показано, что применение растительных масел сопровождается увеличением давления в топливопроводах [71]. Увеличение давления впрыскивания приводит к уменьшению диаметра распыляемых капель, а интенсификация турбулизации воздушного заряда улучшит процессы смесеобразования.

Исходя из результатов испытаний, содержание рапсового масла в смесевом топливе влияет на остаточное давление в топливопроводе высокого давления (табл. 4.5).

Таблица 4.5

Влияние содержания рапсового масла в смесевом топливе на остаточное давление в топливопроводе высокого давления, МПа

Режим работ дизельного двигателя	ДТ	75 %ДТ : 25 %РМ	50 %ДТ : 50 %РМ	25 %ДТ : 75 %РМ
Холостой ход, 600 об/мин	10,1	10,3	10,9	11,7
При повышенных оборотах, 2000 об/мин	13,2	13,2	13,9	14,5

Увеличение концентрации рапсового масла приводит к повышению остаточного давления в топливопроводе высокого давления почти в 1,2 раза. Особенно характерно это повышение на режиме холостого хода (рис. 4.10) [137].

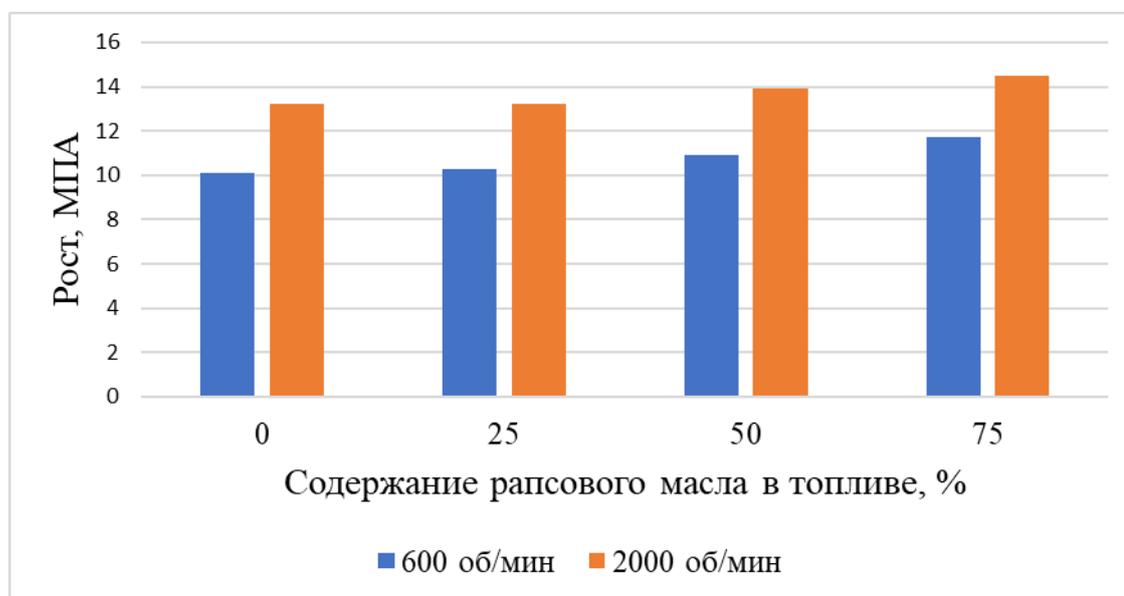


Рисунок 4.10 – Зависимость остаточного давления в топливопроводе высокого давления от содержания рапсового масла в дизельном топливе

Повышение остаточного давления в топливопроводе высокого давления при увеличении содержания рапсового масла в смесевом топливе объясняется повышением давления и продолжительности впрыска [133; 137].

4.3. Влияние биодобавок в дизельное топливо на работоспособность форсунок топливной аппаратуры дизельных двигателей

Работоспособность форсунок при работе с биодобавками в дизельное топливо мы проводили на стенде Т 9161-115, исследовались композиции топлива:

1. Дизельное топливо (ДТ).
2. Биотопливо (75 % дизельного топлива, 25 % рапсового масла).
3. Биотопливо (50 % дизельного топлива, 50 % рапсового масла).
4. Биотопливо (25 % дизельного топлива, 75 % рапсового масла).
5. Чистое рапсовое масло (РМ) [138].

Согласно методике исследований форсунок получали следующие показатели:

- давление начала впрыска;
- качество распыления топлива;
- герметичность по запирающему конусу распылителя [137].

Согласно результатам исследования (табл. 4.6), был построен график изменения параметров форсунки от состава композиции концентрации рапсового масла в смесевом топливе (рис. 4.11).

Таблица 4.6

Исследуемые параметры форсунки	ДТ (100 %)	РМ (25 %)- ДТ (75 %)	РМ (50 %)- ДТ (50 %)	РМ (75 %)- ДТ (25 %)	РМ (100 %)
Давление начала впрыска, кгс/см ²	175	180	180	185	190
Давление начала впрыска с подогревом до 70°С, кгс/см ²	171	175	177	180	183
Качество распыления топлива	норма	норма	норма	норма	норма
Герметичность запирающего конуса распылителя	норма	норма	норма	норма	норма

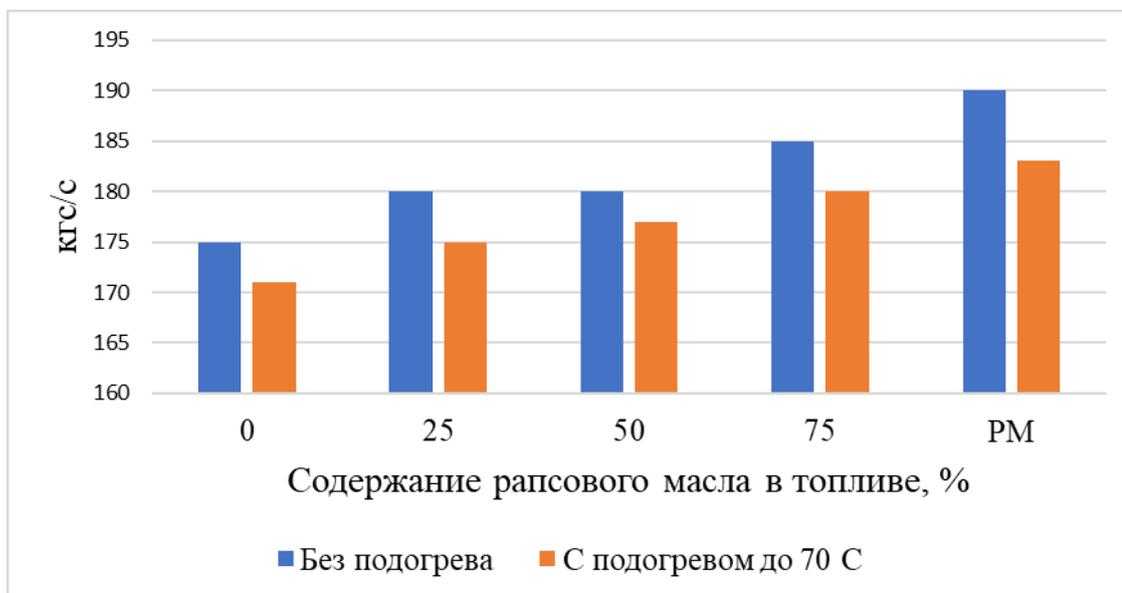


Рисунок 4.11 – Зависимость давления начала впрыска топлива форсунки от содержания рапсового масла в дизельном топливе

Таким образом, при увеличении содержания рапсового масла в дизельном топливе давление начала впрыска форсунок несколько увеличивается. При нагреве смесового топлива давление начала впрыска форсунок уменьшается. Вероятно, это объясняется тем, что повышается давление впрыска, а после срабатывания пружины стрелка прибора не успевает зафиксироваться.

Получается, что увеличение содержания рапсового масла в дизельном топливе не ухудшает работу форсунок. Проведенные испытания показали, что повышение вязкости топлива приводит к повышению давления впрыска, в результате чего происходит раннее открытие или закрытие иглы распылителя форсунки. На топливных композициях с большим содержанием рапсового масла увеличивается длительность сгорания, поэтому необходимо отрегулировать насос и форсунку на повышение давления начала впрыскивания.

4.4. Влияние биодобавок на экологические показатели дизельного двигателя

Результаты измерения оксида углерода CO, углеводорода CH и дымности N дизельных двигателей на чистом дизельном топливе и с биодобавками приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7

Изменение оксида углерода, углеводорода и дымности дизельных двигателей (%), от содержания биодобавок рапсового масла в дизельном топливе

Наименование	ДТ	25 % РМ : 75 % ДТ	50 % РМ : 50 % ДТ	75 % РМ : 25 % ДТ
CO	0,34	0,29	0,21	0,27
CH	0,0028	0,0021	0,0018	0,0020
N0	28,3	25,3	21,9	23,4
N1	43,7	36,3	34,8	35,4
N2	45,2	43,2	40,7	42,9
N3	51,9	51,5	45,1	49,6
N4	56,1	59,2	49,9	51,0
Ns	51,3	49,6	41,8	45,1
Nm	81,0	74,0	66,1	72,8

Изменение оксида углерода, углеводорода и дымности дизельных двигателей (%) от содержания биодобавок рапсового масла в дизельном топливе приведено на рисунках 4.12–4.15.

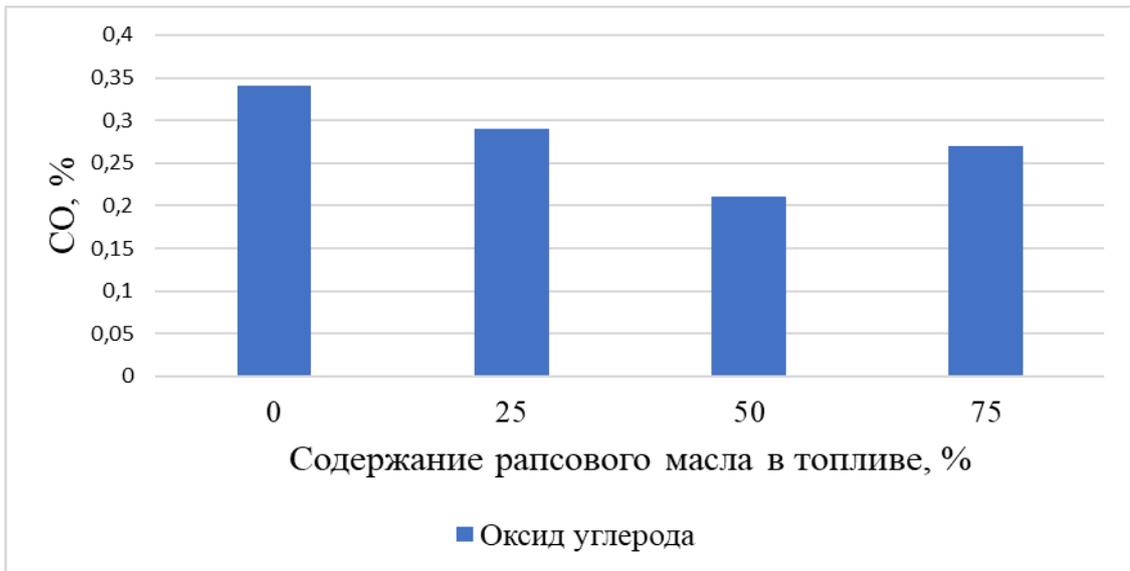


Рисунок 4.12 – Зависимость оксида углерода в выхлопных газах от содержания рапсового масла в дизельном топливе

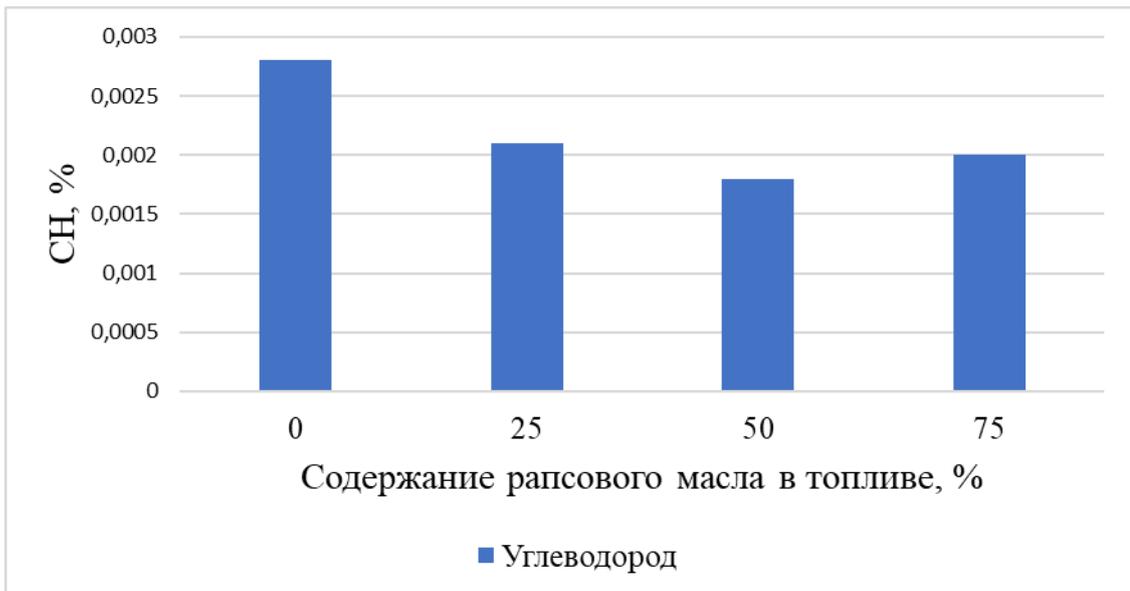


Рисунок 4.13 – Зависимость углеводорода в выхлопных газах от содержания рапсового масла в дизельном топливе

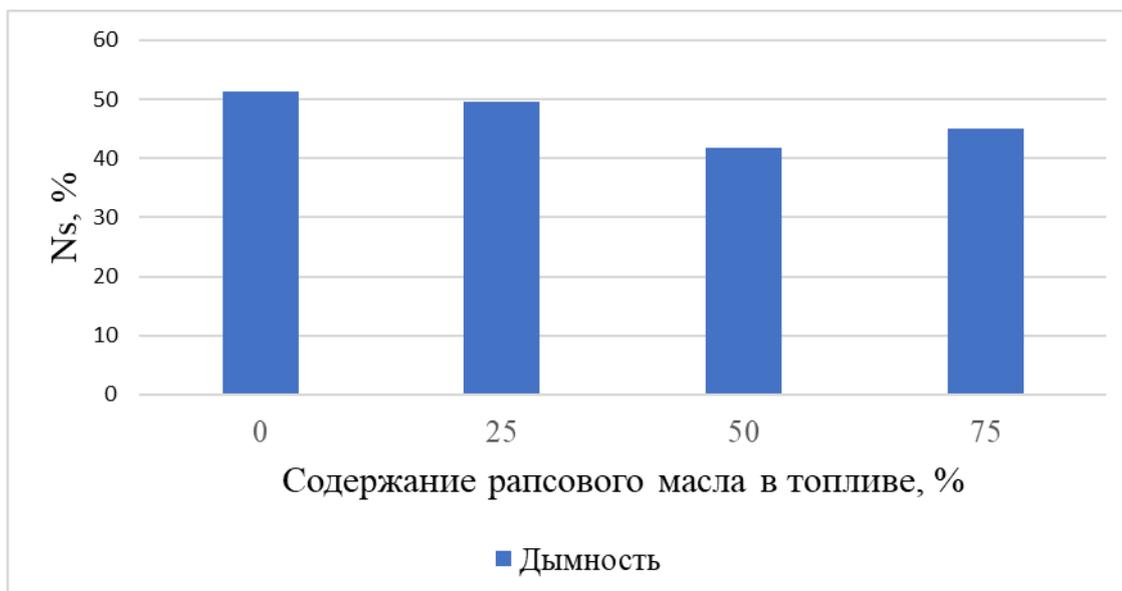


Рисунок 4.14 – Изменение пиковых значений дымности в режиме свободного ускорения двигателя от содержания рапсового масла в дизельном топливе

Исследованием установлено, что содержание CO, CH и дымность в выхлопных газах у дизельных двигателей уменьшается при увеличении концентрации рапсового масла в дизельное топливо [137].

При работе на рапсовом масле с большими нагрузками дымность отработанных газов меньше, чем при использовании дизельного топлива, так как в растительных маслах содержится около 10 % кислорода [71].

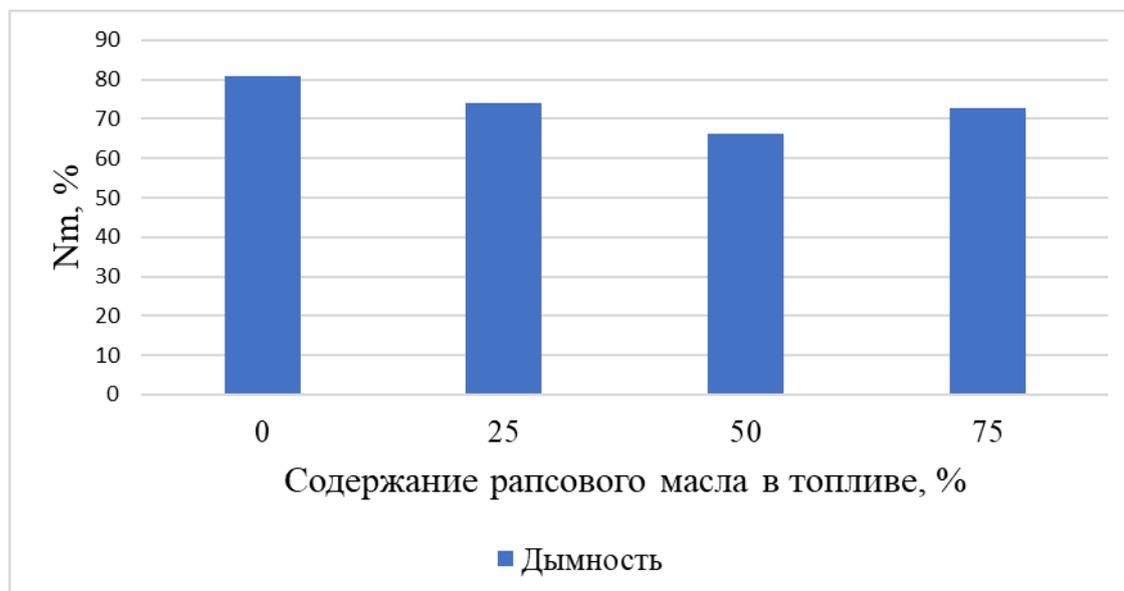


Рисунок 4.15 – Изменение дымности отработанных газов в режиме максимального числа оборотов двигателя от содержания рапсового масла в дизельном топливе

Вместе с тем, с помощью дополнительных регулировок возможно снижение токсических выбросов дизельного двигателя. Например, уменьшением угла опережения впрыскивания на 3° можно снизить выбросы оксида углерода и углеводородов.

4.5. Влияние биодобавок в дизельное топливо на систему пуска двигателя

Испытания двигателя проводились на чистом дизельном топливе и с биодобавками, для исследований использовали мотортестер МО 3-2. Результаты испытаний параметров системы пуска дизельного двигателя при температуре окружающего воздуха -5°C [140] представлены в таблице 4.8 и рисунках 4.16 и 4.17.

Таблица 4.8

Влияние содержания биодобавок из рапсового масла в дизельное топливо на параметры системы пуска дизельных двигателей

Наименование измерения параметры	ДТ	75 %ДТ : 25 %РМ	50 %ДТ : 50 %РМ	25 %ДТ : 75 %РМ
Ток, потребляемый стартером в момент пуска, А	1125	1237	1410	1573
Напряжение АКБ в момент пуска, V	22,8	22,3	22,1	21,5

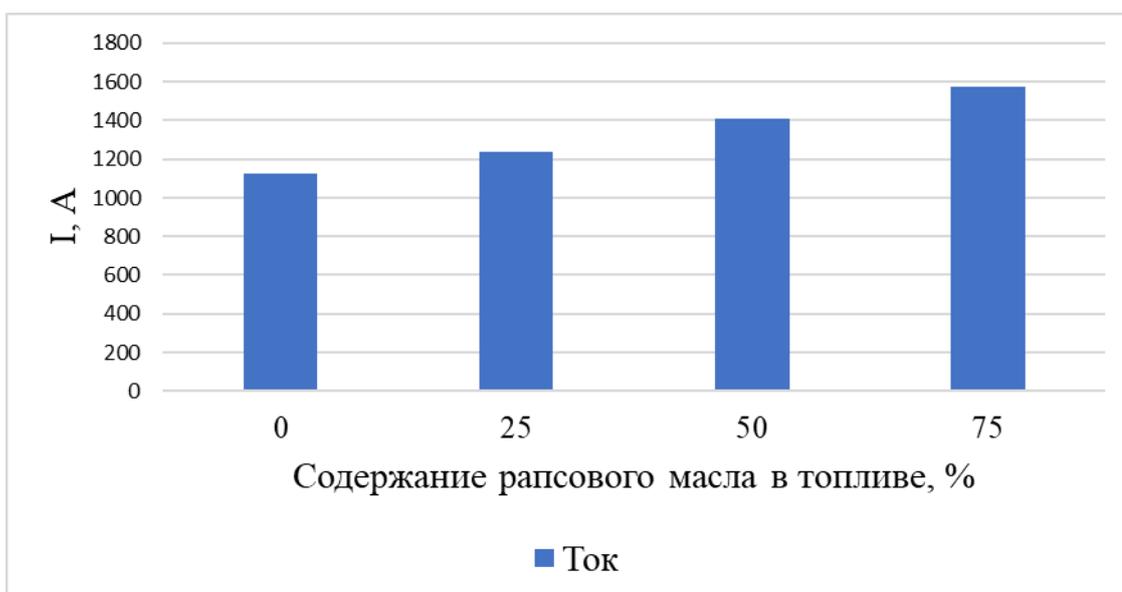


Рисунок 4.16 – Зависимость потребляемого тока стартером в момент пуска

Таким образом, потребляемый стартером ток в момент пуска увеличивается с повышением содержания рапсового масла в смесевом топливе [140].

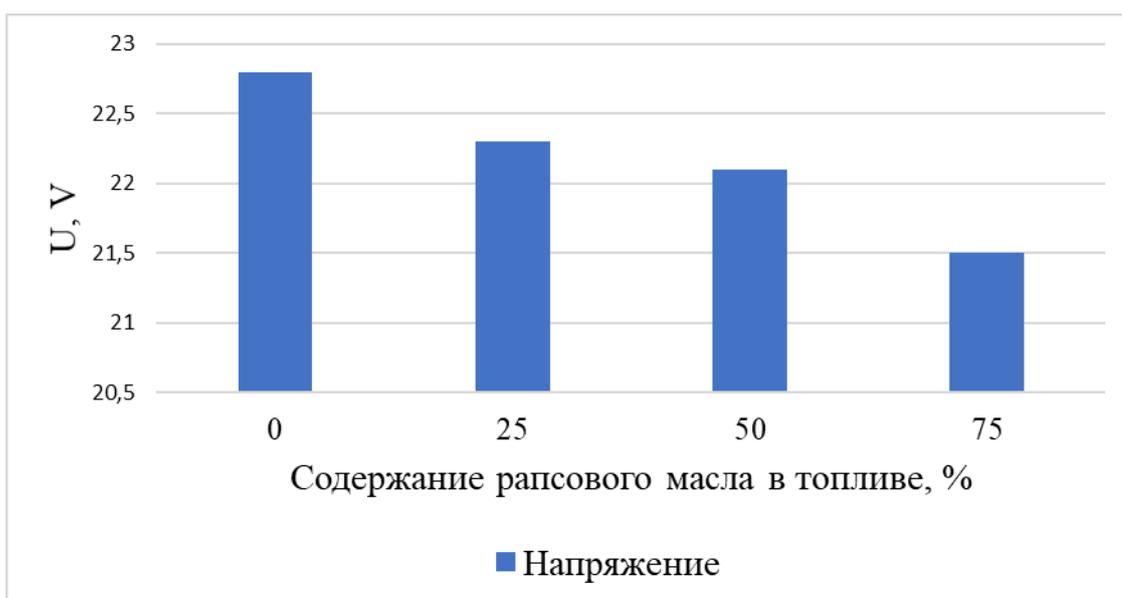


Рисунок 4.17 – Зависимость напряжения АКБ в момент пуска

Напряжение аккумуляторных батарей в момент пуска уменьшается с уменьшением содержания рапсового масла в смесевом топливе.

В результате испытаний отмечается ухудшение запуска дизельного двигателя на биотопливе. Этот факт объясняется повышением вязкости топлива и задержкой воспламенения в камере сгорания. Например, самовоспламенение при температуре окружающего воздуха -7°C на товарном топливе проходило в течение 4 секунд, а при использовании в смеси 75 % рапсового масла – 19 секунд.

4.6. Влияние биодобавок в дизельное топливо на мощность двигателя

Результаты испытаний параметров мощности дизельного двигателя с использованием мотортестера представлены в таблице 4.9 и на рисунке 4.18.

Таблица 4.9

Наименование измерения параметров	ДТ	75 % ДТ:25 % РМ	50 % ДТ:50 % РМ	25 % ДТ:75 % РМ
Мощность, (кВт/л.с.)	142.0/193	140.5/191	137.6/187	131.6/179
Мощность с подогревом до 70 ⁰ , (кВт/л.с.)	147.8/201	143.4/195	139.7/190	136.8/186

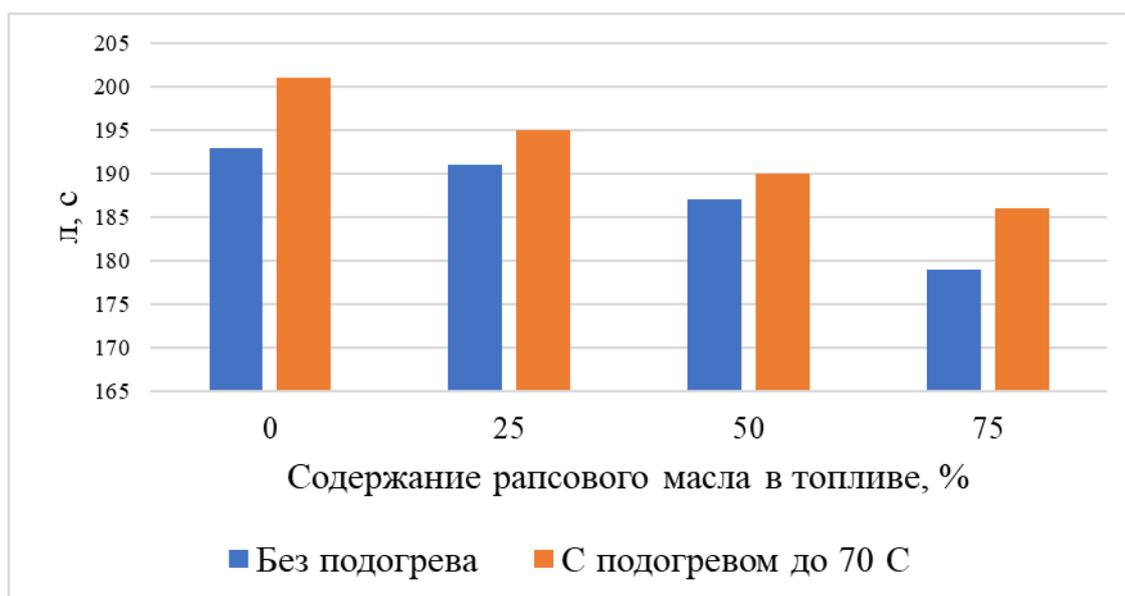


Рисунок 4.18 – Зависимость мощности дизельного двигателя от содержания рапсового масла в дизельном топливе

При увеличении содержания рапсового масла в смесевом топливе мощность двигателя снижается. Снижение мощности объясняется снижением теплоты сгорания смеси, так как теплотворная способность летнего дизельного топлива составляет 42,7 МДж/кг, а композиции с 25 % рапсового масла – 41,1 МДж/кг.

4.7. Результаты эксплуатационных испытаний

В процессе эксплуатации фильтрующий элемент снижает пропускную способность, биодобавки из рапсового масла забивают фильтр, повышая его сопротивление. Мы измеряли перепад давления до и после ФТО на двигателях автомобилей КАМАЗ, которые проходили эксплуатационные испытания в СПК «Волжский» Волгоградской области. Перепад давления до и после ФТО в двигателях автомобилей КАМАЗ, работающих на товарном дизельном топливе и различных композициях после пробега 8 тыс. км, показан на рисунке 4.19.

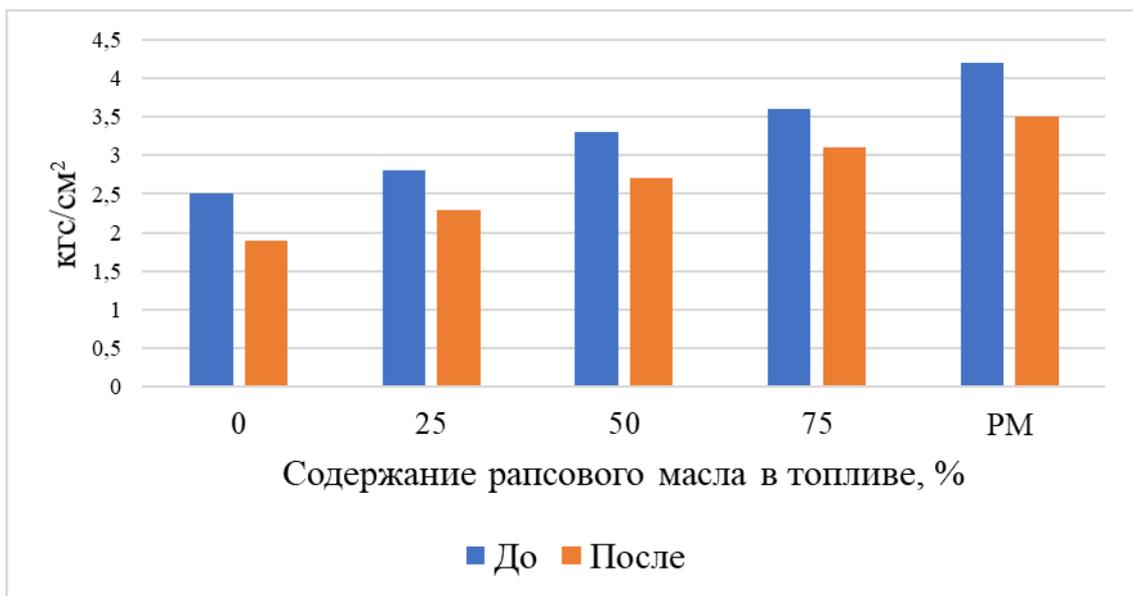


Рисунок 4.19 – Перепад давления ФТО двигателей автомобилей КАМАЗ, работающих на товарном дизельном топливе и различных композициях (пробега 8 тыс. км).

Эксплуатационные испытания показали, что работоспособность (по критерию сопротивления прокачиваемости топлива) топливного фильтра, работающего на смесевом топливе, меньше, чем у работающего на дизельном топливе. Для нормальной работы топливной системы дизельного двигателя необходимо чаще менять топливный фильтр, чем рекомендовано заводом изготовителем [137].

После пробега 8000 км у дизельных двигателей, работающих на композиции с 75 % рапсовым маслом, было обнаружено закоксовывание соплового отверстия форсунок, при этом дымность двигателя была наименьшей. Резинотехнические

изделия находились в удовлетворительном состоянии. Результаты сравнительных испытаний дизельных двигателей автомобилей на топливе с биодобавками из рапсового масла приведены в таблице 4.10.

Таблица 4.10

Результаты сравнительных испытаний дизельных двигателей на топливе с биодобавками (25 %) из рапсового масла

Дизельный двигатель	Пробег, тыс. км	Перепад давления до и после ФТО, кг·с/см ²	Состояние распылительной форсунки	Состояние резинотехнических изделий
КАМАЗ на товарном	12 300	2,6	Удовлетворительное	Удовлетворительное
КАМАЗ на смесевом	8 100	1,1	Удовлетворительное	Удовлетворительное

Выводы по главе 4

1. Установлено, что использование биодобавок рапсового масла в дизельном топливе создает дополнительное гидравлическое сопротивление. Подогревом смесового топлива можно снизить гидравлическое сопротивление.

2. Фильтрующий элемент фильтра тонкой очистки, который был выдержан в рапсовом масле, на разрыв образца выше и составляет – 90 Н, чем у фильтрующего элемента, выдержанного в товарном дизельном топливе – 33 Н.

3. Эксплуатационные испытания дизельного двигателя показало, что работоспособность топливного фильтра тонкой очистки топлива, работающего на смесевом топливе, меньше, чем у работающего на дизельном топливе, это связано с повышенной плотностью смесового топлива и засаливанием фильтровальной бумаги ФТО. Поэтому при работе топливного фильтра на смесевом топливе, необходимо производить его замену через каждые 8 000 километров, а не через 12 000 километров, как это предписано заводом–изготовителем.

4. Установлено, что содержание биодобавок из рапсового масла в смесевом топливе не ухудшает состояние резиновых деталей фильтров.

5. Содержание рапсового масла в смесевом топливе не влияет на угол опережения подачи топлива. 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.

6. 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. Особенно видно это повышение на режиме холостого хода. Повышение остаточного давления в топливопроводе высокого давления при увеличении содержания рапсового масла в смесевом топливе объясняется тем, что плотность и вязкость в несколько раз выше дизельного топлива, а работа нагнетательного клапана меняется в зависимости от топлива.

7. Рапсовое масло в дизельном топливе на работу форсунок не влияет, что не влечет никаких технических неисправностей в этой области.

8. Установлено, что наименьшее содержание оксида углерода и углеродов в выхлопных газах у дизельных двигателей, работающих на смесевом топливе 50 % РМ: 50 % ДТ. Наименьшая дымность у дизелей, работающих на смесевом топливе 50 % РМ: 50 % ДТ.

9. Установлено, что пусковой ток, потребляемый стартером в момент пуска, увеличивается с повышением содержания рапсового масла в смесевом топливе. 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, а потребление тока стартером увеличивается.

10. При увеличении содержания рапсового масла в смесевом топливе мощность двигателя снижается. Наибольшее снижение мощности обеспечивает состав 25 % РМ + 75 % ДТ. На всех исследуемых режимах работы дизельного двигателя на смесевом топливе незначительное снижение мощности объясняется тем, что меньшая теплота сгорания (теплотворная способность) компенсируется

большим процентным содержанием в нем свободного кислорода, участвующего в процессе сгорания.

ГЛАВА 5. ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОГРАММОЙ SPSS Statistics

5.1. Различия в давлении при проходе топлива через фильтр тонкой очистки

Для определения различий в давлении при проходе топлива с различным содержанием РМ через фильтр тонкой очистки исследуем различие между значениями переменных. В настоящем исследовании использованы количественные шкалы для измерения давления до и после фильтра для пяти видов топлива (ДТ, РМ, смеси ДТ с 25 % РМ, 50 % РМ, 75 % РМ). Таким образом получено десять шкал, по два измерения давления (до и после фильтра) для каждого из видов топлива.

По условию задачи исследования требуется выявить достоверность в различии давлений каждого вида топлива до и после фильтра. Проверка нормальности распределения шкал (приложение 1) с использованием критерия Шапиро-Уилка, рекомендованного для случаев с числом измерений менее 50 (в нашем случае 20), показывает отсутствие нормальности (по условию применения критерия в случае достижения достоверного уровня значимости $p < 0,05$ распределение значений не считается нормальным). Поэтому для поиска различий между значениями применим непараметрический критерий Уилкоксона, рекомендованный для двух последовательных измерений.

Использование критерия показало (приложение 2), что давление для всех пяти видов топлива различается с высоким уровнем достоверности ($p < 0,0001$). Дополнительная проверка с использованием значений доверительного интервала показала, что для 95 % случаев имеется разница в давлении до и после фильтра глубокой очистки.

Наглядно полученный результат виден на рисунке 5.1.

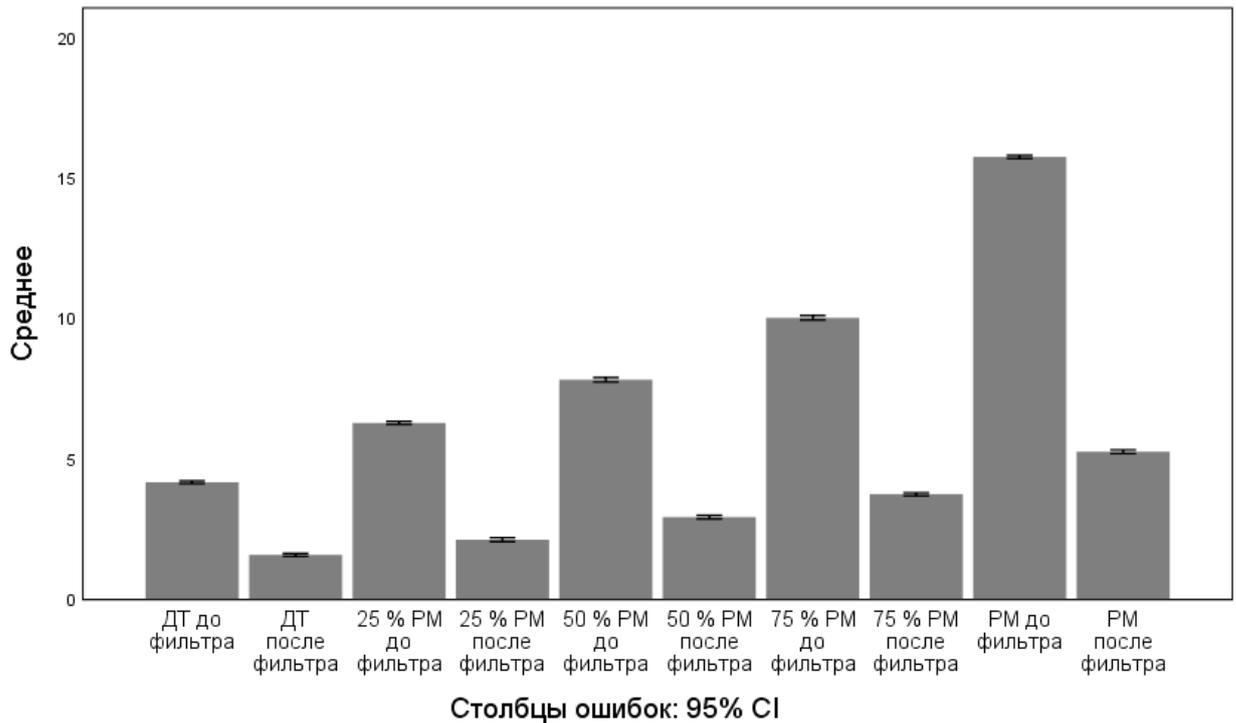


Рисунок 5.1 – Различия в давлении до и после фильтра тонкой очистки для разных видов топлива

В настоящем исследовании достоверно установлено, что фильтр тонкой очистки топлива снижает давление в трубопроводе. На давление оказывает влияние вид топлива. При увеличении концентрации РМ в топливе давление в трубопроводе возрастает до и после фильтра тонкой очистки топлива. Для различных видов топлива разница в давлении до и после фильтра имеет разное значение.

5.2. Исследование вязкости различных видов топлива в зависимости от температуры

В настоящем исследовании вязкость топлива измерялась для различных видов топлива без подогрева и с подогревом до 70°C. В связи с тем, что распределение значений по результатам измерения не достигает нормальности (приложение 1), а также количественной размерностью шкал, для исследования различий используем непараметрический критерий Уилкоксона, дополненный анализом доверительного интервала.

Результат применения критерия Уилкоксона (приложение 3) показывает, что во всех случаях достигнут высокий уровень достоверности различий ($p < 0,0001$). Использование доверительного интервала демонстрирует следующие различия.

Наглядно полученный результат виден на рисунке 5.2.

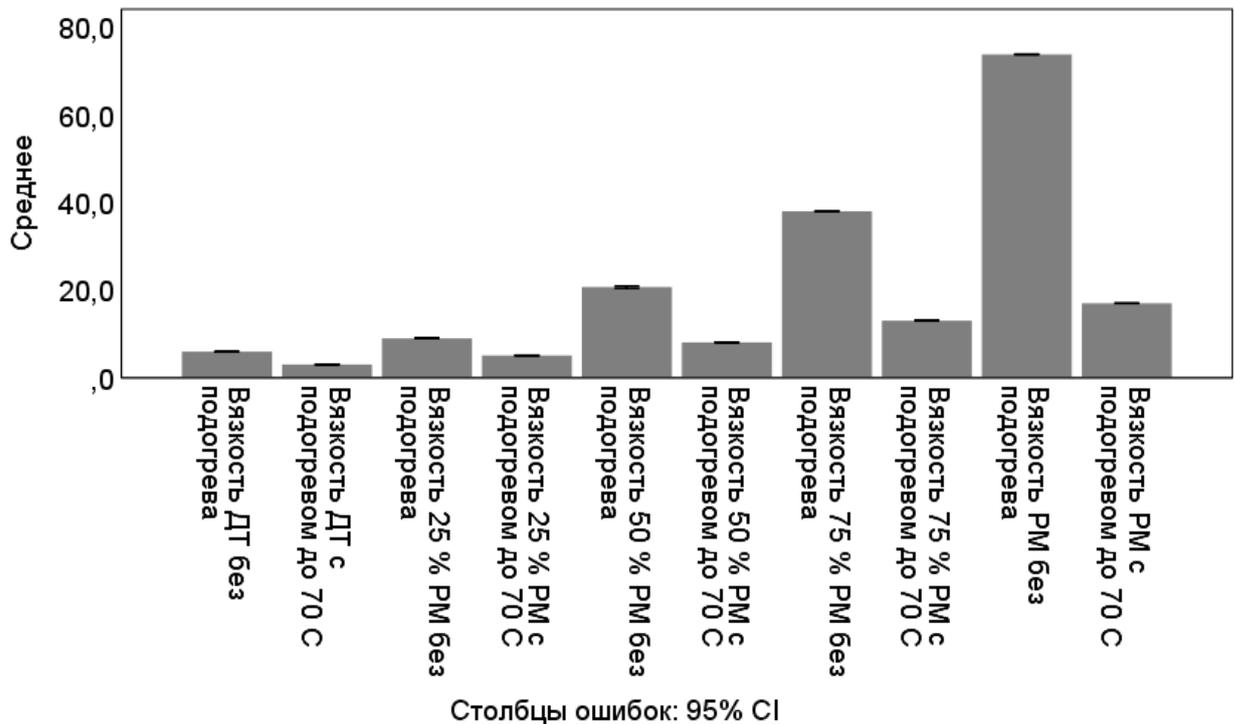


Рисунок 5.2 – Вязкость различных видов топлива в зависимости от температуры

С высокой степенью достоверности установлено, что вязкость различных видов топлива снижается при подогреве.

5.3. Исследование плотности различных видов топлива в зависимости от температуры

В связи с отсутствием нормальности в распределении значений плотности (приложение 1), для анализа различий также применяем непараметрическую статистику. Результат применения критерия Уилкоксона (приложение 4) показывает достижение высокой степени различий ($p < 0,0001$) для всех пар измерений. Использование доверительного интервала показывает отсутствие пересечения между границами интервалов и наличие следующих различий.

Наглядно полученный результат виден на рисунке 5.3.

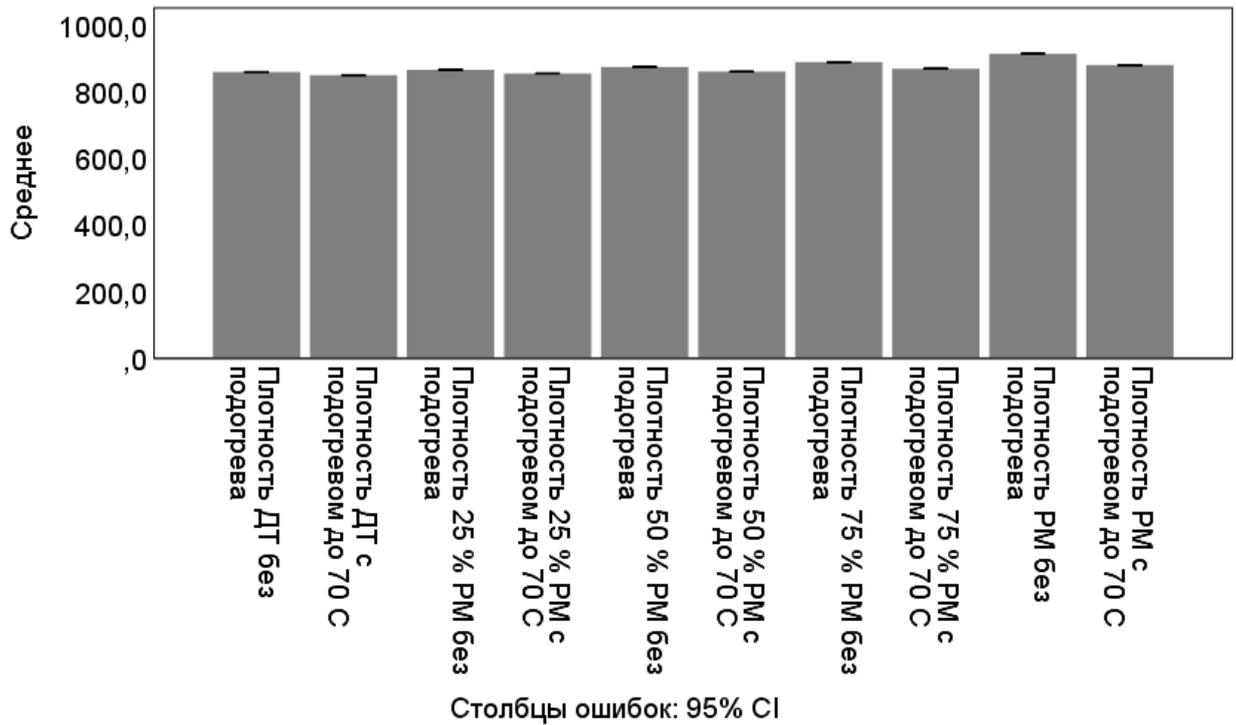


Рисунок 5.3 – Плотность различных видов топлива в зависимости от температуры

Подогрев топлива оказывает достоверное, но незначительное влияние на изменение плотности.

5.4. Исследование давления при проходе топлива через фильтр тонкой очистки различных видов топлива в зависимости от температуры

Использование непараметрического критерия Уилкоксона при сравнении различий в давлении при разной температуре (приложение 5) продемонстрировало достижение высокого уровня достоверности различий ($p < 0,0001$) для всех пар сравнения.

Использование доверительного интервала подтверждает наличие различий.

Наглядно полученный результат виден на рисунке 5.4.

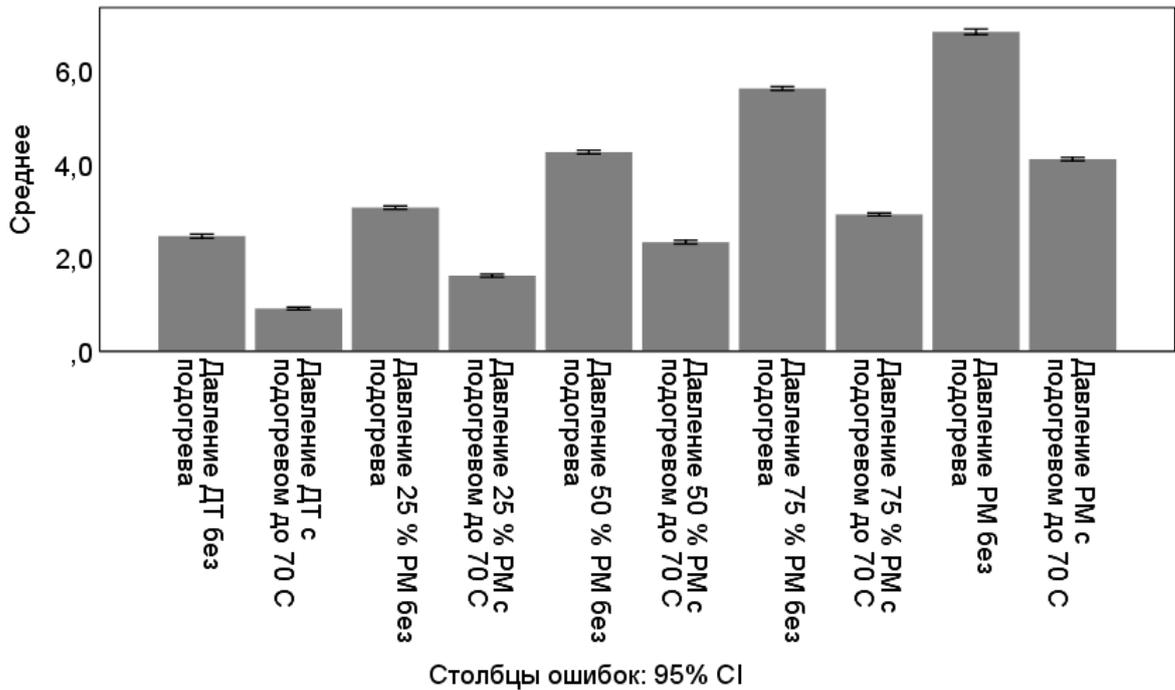


Рисунок 5.4 – Давление различных видов топлива в зависимости от температуры. Подогрев топлива оказывает достоверное влияние на изменение давления.

5.5. Исследование различий усилия разрыва фильтрующей бумаги в зависимости от вида топлива

В настоящем исследовании усилие разрыва фильтрующей бумаги определялось после вымачивания в различных видах топлива. В связи с этим необходимо сравнить значения разрыва между всеми вариантами по видам топлива (всего шесть вариантов, по числу видов топлива). Таким образом исследуется шесть последовательных измерений. Для таких случаев рекомендован непараметрический (в связи с отсутствием нормальности, приложение 1) критерий Фридмана. Применение критерия (приложение 6) показывает наличие достоверных различий между всеми шестью измерениями ($p < 0,0001$).

Для определения различий в разрывах между каждым из шести измерений, используем доверительный интервал. Критерий подтверждает достоверность различий, полученных на этапе использования критерия Фридмана (рис. 5.5).

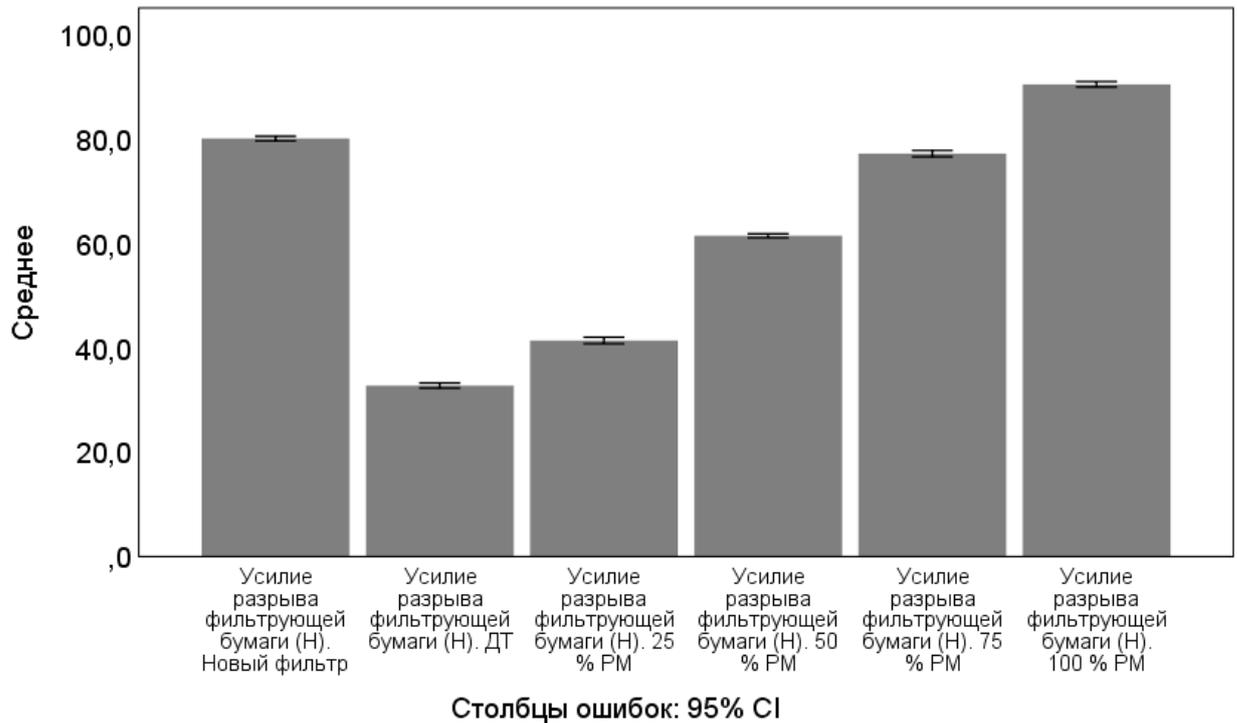


Рисунок 5.5 – Различия в усилии разрыва фильтрующей бумаги в зависимости от вида топлива

Усилие разрыва фильтрующей бумаги в зависимости от содержания в различных видах топлива различно.

5.6. Исследование различий в длительности подачи топлива в зависимости от оборотов двигателя у различных видов топлива

В связи с тем, что исследование различий в оборотах двигателя у разных видов топлива определялось в двух вариантах – при 600 и 2000 об. мин – применим непараметрический критерий Уилкоксона. Результат применения критерия говорит о наличии высокой степени различий для каждого вида топлива (приложение 7).

Результат применения доверительного интервала показывает отсутствие различий между длительностью подачи топлива при 600 об. мин для ДТ и смеси ДТ с 25 % РМ. Также отсутствуют достоверные различия между длительностью подачи топлива при 2000 об. мин для ДТ и смеси ДТ с 25 % РМ. В остальных случаях различия между видами топлива достоверны (рис. 5.6).

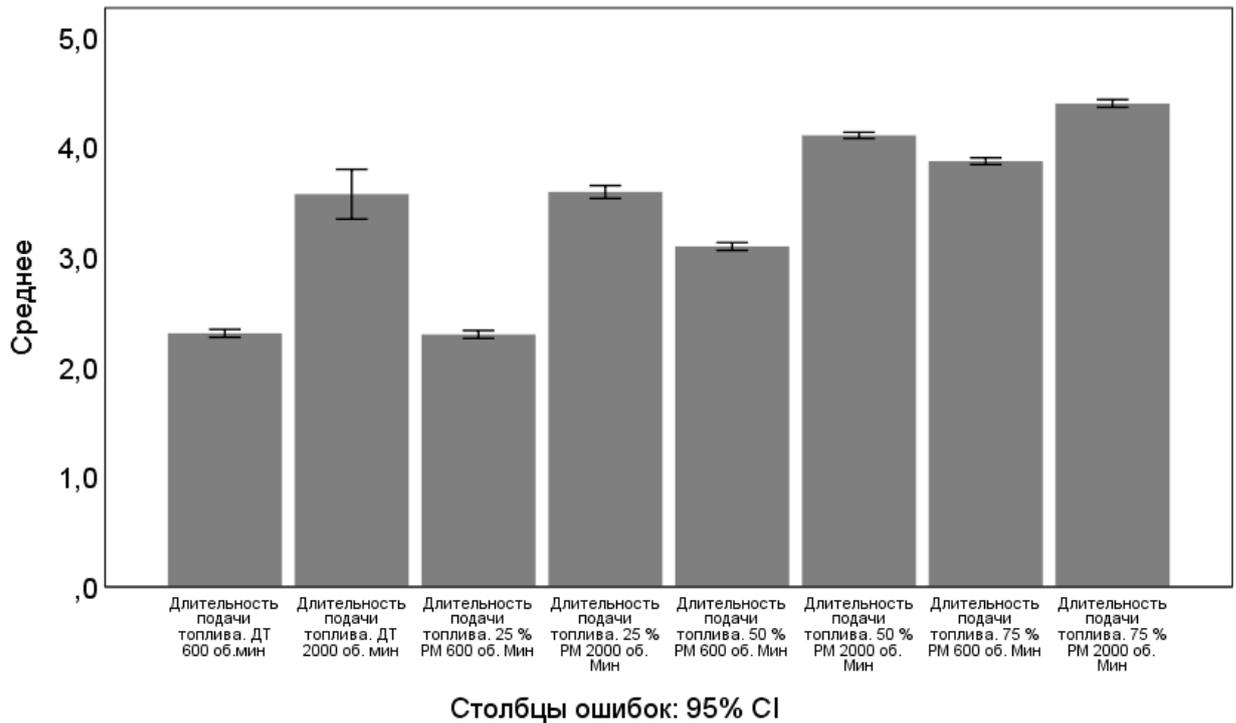


Рисунок 5.6 – Различия в длительности подачи топлива в зависимости от оборотов двигателя у различных видов топлива.

Установлено отсутствие различий между длительностью подачи топлива при 600 об. мин для ДТ и смеси ДТ с 25 % РМ. Также отсутствуют достоверные различия между длительностью подачи топлива при 2000 об. мин для ДТ и смеси ДТ с 25 % РМ. В остальных случаях различия между видами топлива достоверны. При увеличении концентрации РМ в топливе длительность подачи последовательно возрастает. При этом длительность подачи топлива выше при 2000 об. мин для всех видов топлива.

5.7. Исследование различий в максимальном давлении впрыска топлива в зависимости от оборотов двигателя у различных видов топлива

Максимальное давление впрыска топлива измерено при значении двух вариантов оборотов двигателя, как и в предыдущем случае – при 600 и 2000 об. мин. Поэтому для поиска различий применяем критерий Уилкоксона. Использование критерия продемонстрировало наличие достоверных различий для всех пар сравнения (приложение 8).

Использование доверительного интервала демонстрирует значительное различие между максимальным давлением впрыска топлива при 600 и 2000 об. мин для всех случаев. При этом при 600 об. мин отсутствуют различия для ДТ и смеси ДТ с 25 % РМ. При возрастании концентрации РМ в топливе давление впрыска топлива при 600 и 2000 об. мин испытывает незначительное повышение (рис. 5.7).

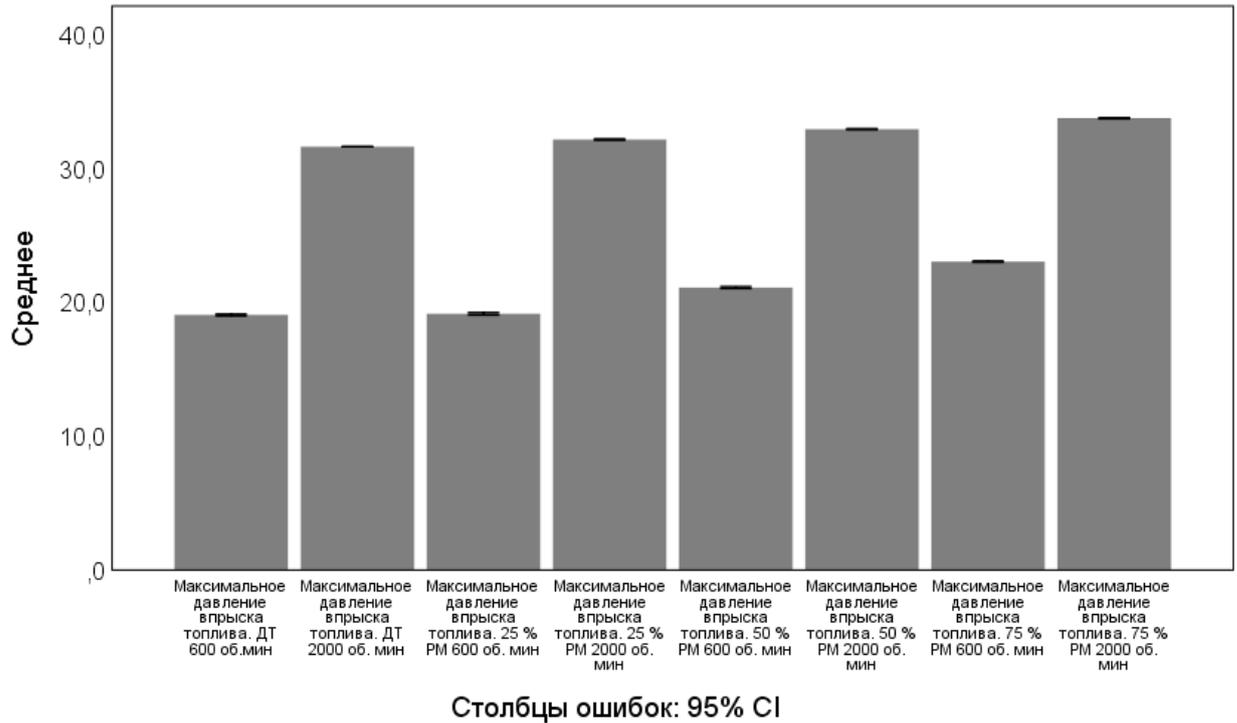


Рисунок 5.7 – Различия в максимальном давлении впрыска топлива в зависимости от оборотов двигателя у различных видов топлива

Установлено значительное различие между максимальным давлением впрыска топлива при 600 и 2000 об. мин для всех исследуемых видов топлива. При этом при 600 об. мин отсутствуют различия для ДТ и смеси ДТ с 25 % РМ. При возрастании концентрации РМ в топливе давление впрыска топлива при 600 и 2000 об. мин испытывает незначительное повышение.

5.8. Исследования различий в давлении начала впрыска форсунки в зависимости от температуры у разных видов топлива

В связи с тем, что в исследовании использованы два варианта подогрева, то для разных видов топлива используем непараметрический критерий Уилкоксона. Последовательное сравнение пар показало, что во всех случаях имеются достоверные различия на высоком уровне (приложение 9).

Использование доверительного интервала показало отсутствие достоверных различий (наблюдается пересечение границ доверительных интервалов) для давления начала впрыска форсунки для смеси ДТ с 25 % РМ и смеси ДТ с 50 % РМ без подогрева. В остальных случаях установлено достоверное, но незначительное увеличение значения давления для всех видов топлива (рис. 5.8).

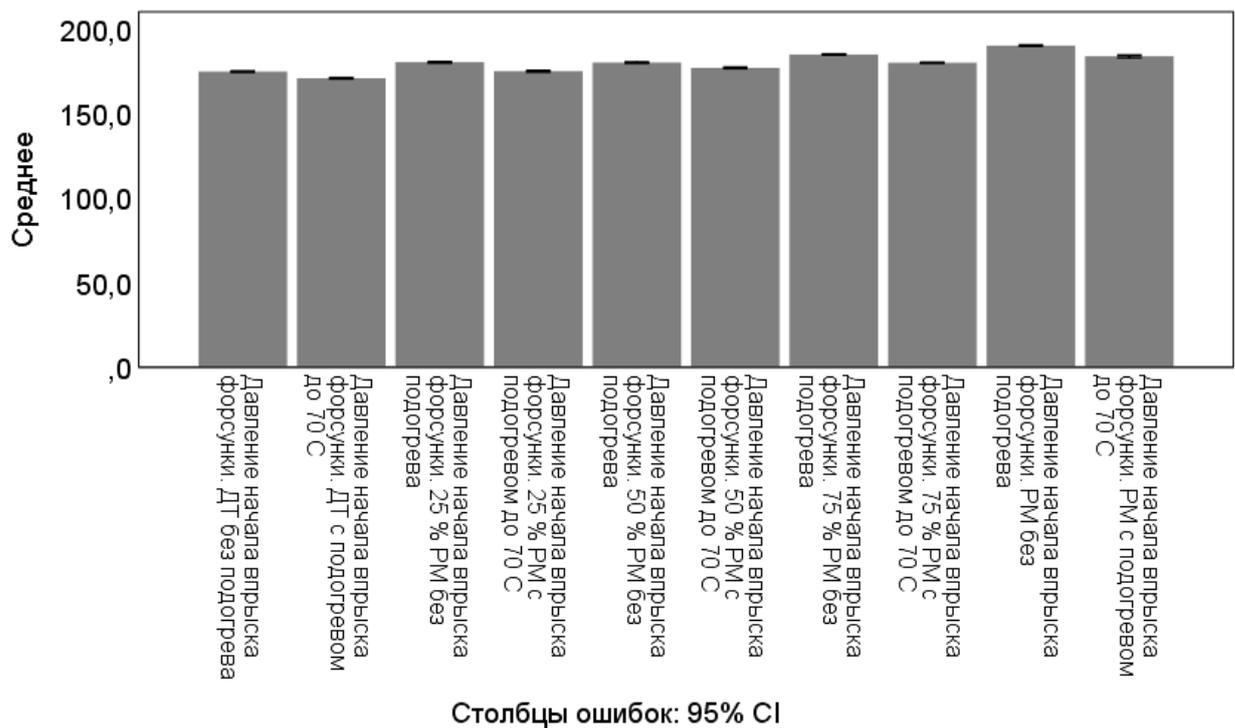


Рисунок 5.8 – Различия в давлении начала впрыска форсунки в зависимости от температуры у разных видов топлива

Установлено отсутствие достоверных различий для давления начала впрыска форсунки для смеси ДТ с 25 % РМ и смеси ДТ с 50 % РМ без подогрева. В остальных случаях установлено достоверное, но незначительное увеличение значения давления для всех видов топлива.

5.9. Концентрация продуктов горения топлива в выхлопных газах в зависимости от видов топлива

В настоящем исследовании произведены измерения концентрации следующих продуктов горения у разных видов топлива:

- оксид углерода;
- углеводород;
- дымность в режиме свободного ускорения двигателя;
- дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя.

По условию задачи исследования следует установить различия в концентрации каждого из продуктов горения при использовании различного вида топлива. В связи с необходимостью последовательного измерения, а также отсутствием нормальности в распределении значений (приложение 1) для анализа различий используем непараметрический критерий Фридмана, дополнив его использованием доверительного интервала.

Проведем последовательное исследование концентрации каждого из продуктов распада.

Оксид углерода

Использование критерия Фридмана показало наличие высокой степени достоверности различий ($p < 0,0001$) для всех исследуемых видов топлива (приложение 10). Применение доверительного интервала показало, что наименьшего значения концентрация оксида углерода в выхлопных газах достигает при использовании смеси ДТ и 50 % РМ:

Концентрация. ДТ (СО) оксид углерода 0,339 – 0,347;

Концентрация. 25 % РМ (СО) оксид углерода 0,286 – 0,292;

Концентрация. 50 % РМ (СО) оксид углерода 0,208 – 0,214;

Концентрация. 75 % РМ (СО) оксид углерода 0,263 – 0,272.

Различия в концентрации оксида углерода в выхлопных газах в зависимости от вида топлива представлены на рисунке 5.9.

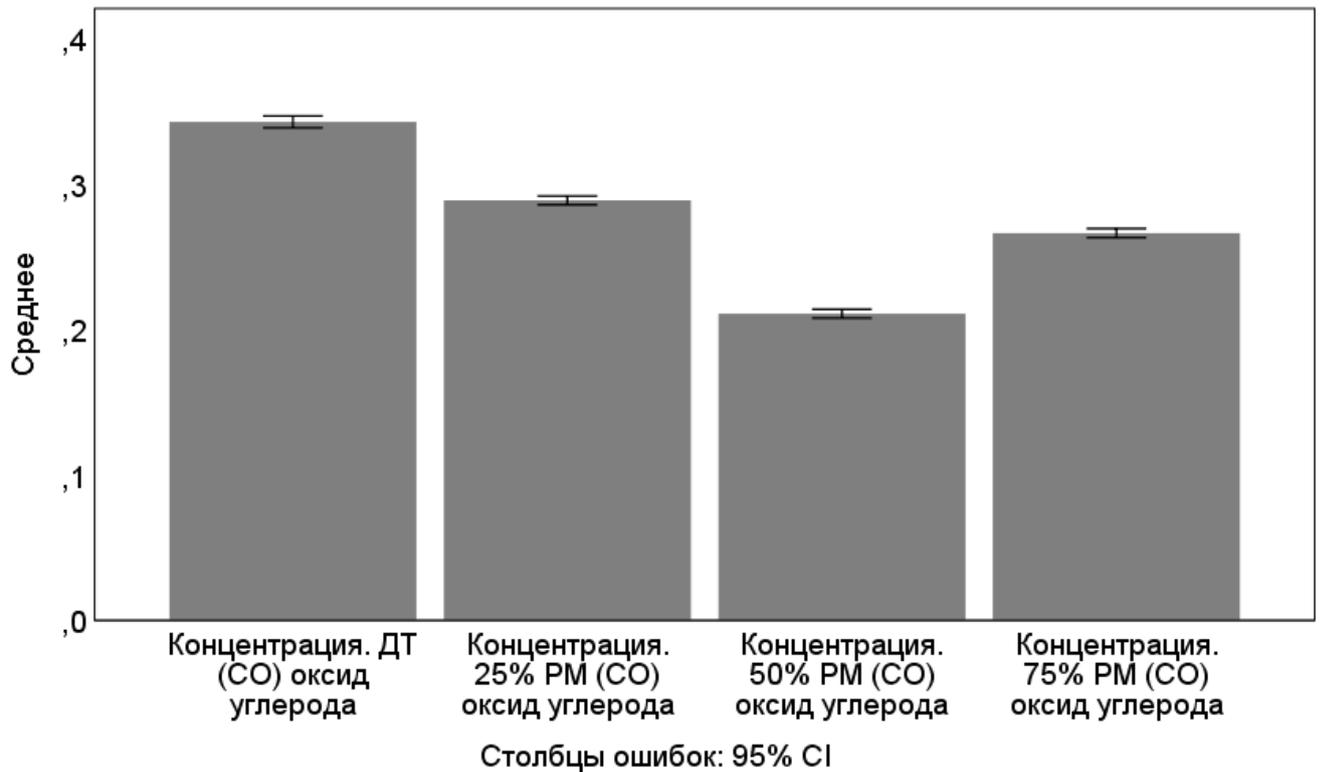


Рисунок 5.9 – Различия в концентрации оксида углерода в выхлопных газах в зависимости от вида топлива

Углеводород

Использование критерия Фридмана показало наличие высокой степени достоверности различий ($p < 0,0001$) для всех исследуемых видов топлива (приложение 11). Применение доверительного интервала показало, что наименьшего значения концентрация углеводорода в выхлопных газах достигает при использовании смеси ДТ и 50 % РМ:

Концентрация. ДТ (СН) углеводород 0,003 – 0,003;

Концентрация. 25 % РМ (СН) углеводород 0,002 – 0,002;

Концентрация. 50 % РМ (СН) углеводород 0,002 – 0,002;

Концентрация. 75 % РМ (СН) углеводород 0,002 – 0,002.

Различия в концентрации углеводорода в выхлопных газах в зависимости от вида топлива представлены на рисунке 5.10.

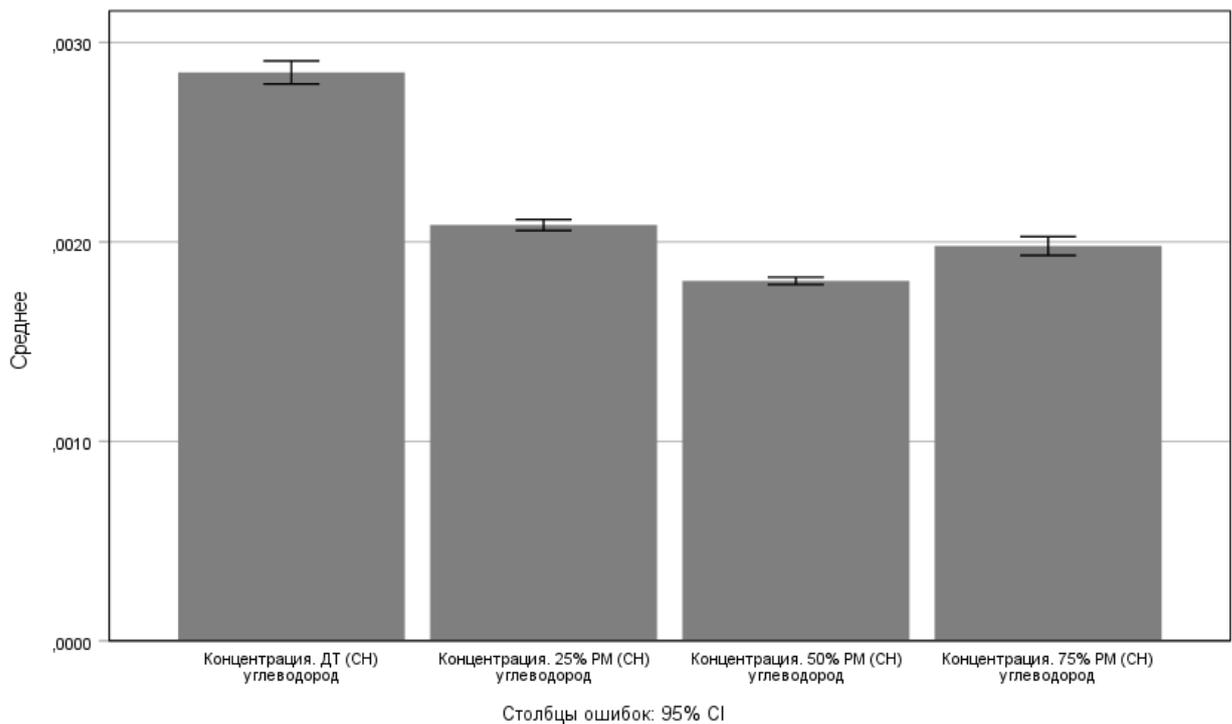


Рисунок 5.10 – Различия в концентрации углеводорода в выхлопных газах в зависимости от вида топлива

Дымность в режиме свободного ускорения двигателя

Использование критерия Фридмана показало наличие высокой степени достоверности различий ($p < 0,0001$) для всех исследуемых видов топлива (приложение 12). Применение доверительного интервала показало, что наименьшего значения концентрация дымности в режиме свободного ускорения двигателя в выхлопных газах достигает при использовании смеси ДТ и 50 % РМ:

Концентрация. ДТ (Ns) дымность в режиме свободного ускорения двигателя 51,290 – 51,440;

Концентрация. 25 % РМ (Ns) дымность в режиме свободного ускорения двигателя 49,459 – 49,611;

Концентрация. 50 % РМ (Ns) дымность в режиме свободного ускорения двигателя 41,645 – 41,785;

Концентрация. 75 % РМ (Ns) дымность в режиме свободного ускорения двигателя 44,96 – 45,08.

Различия в дымности в режиме свободного ускорения двигателя в выхлопных газах в зависимости от вида топлива представлены на рисунке 5.11.

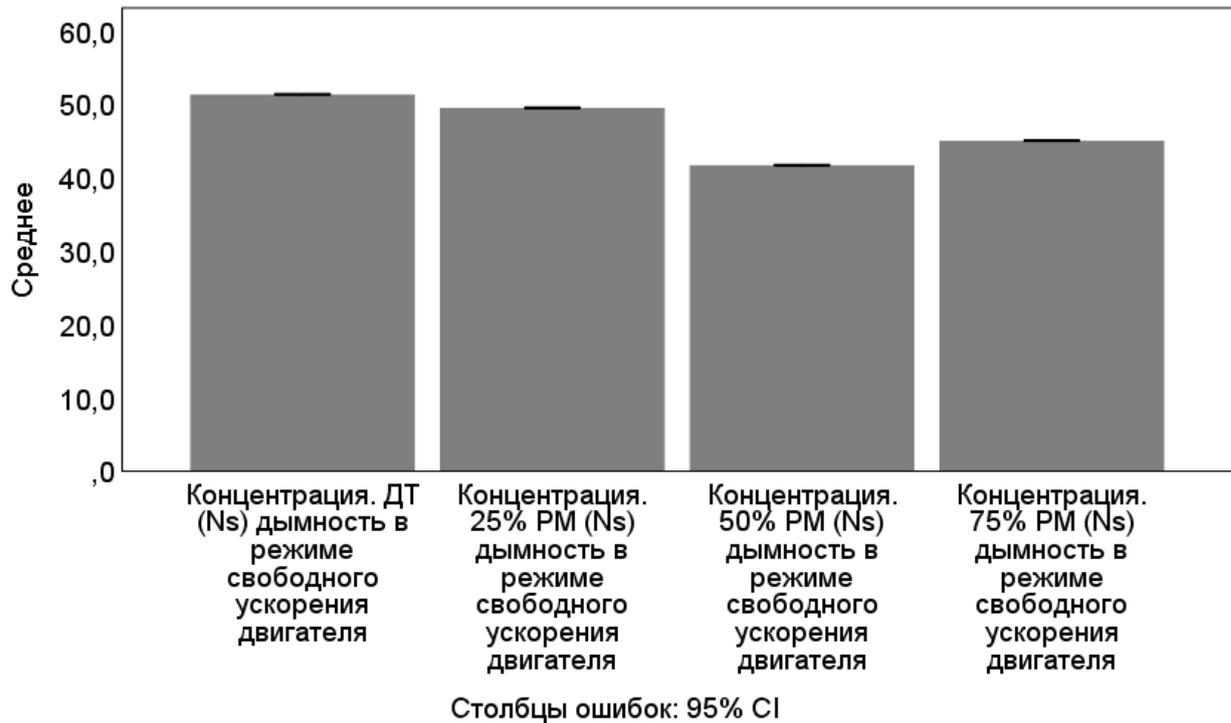


Рисунок 5.11 – Различия в дымности в режиме свободного ускорения двигателя в выхлопных газах в зависимости от вида топлива

Дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя

Использование критерия Фридмана показало наличие высокой степени достоверности различий ($p < 0,0001$) для всех исследуемых видов топлива (приложение 13). Применение доверительного интервала показало, что наименьшего значения концентрация дымности в режиме максимального числа оборотов двигателя в выхлопных газах достигает при использовании смеси ДТ и 50 % РМ:

Концентрация. ДТ (Nm) дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя 81,025 – 81,165;

Концентрация. 25 % РМ (Nm) дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя 73,847 – 73,983;

Концентрация. 50 % РМ (Nm) дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя 66,014 – 66,086;

Концентрация. 75 % РМ (Nm) дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя 72,433 – 72,727.

Различия в дымности в режиме максимального числа оборотов двигателя в выхлопных газах в зависимости от вида топлива представлены на рисунке 5.12.

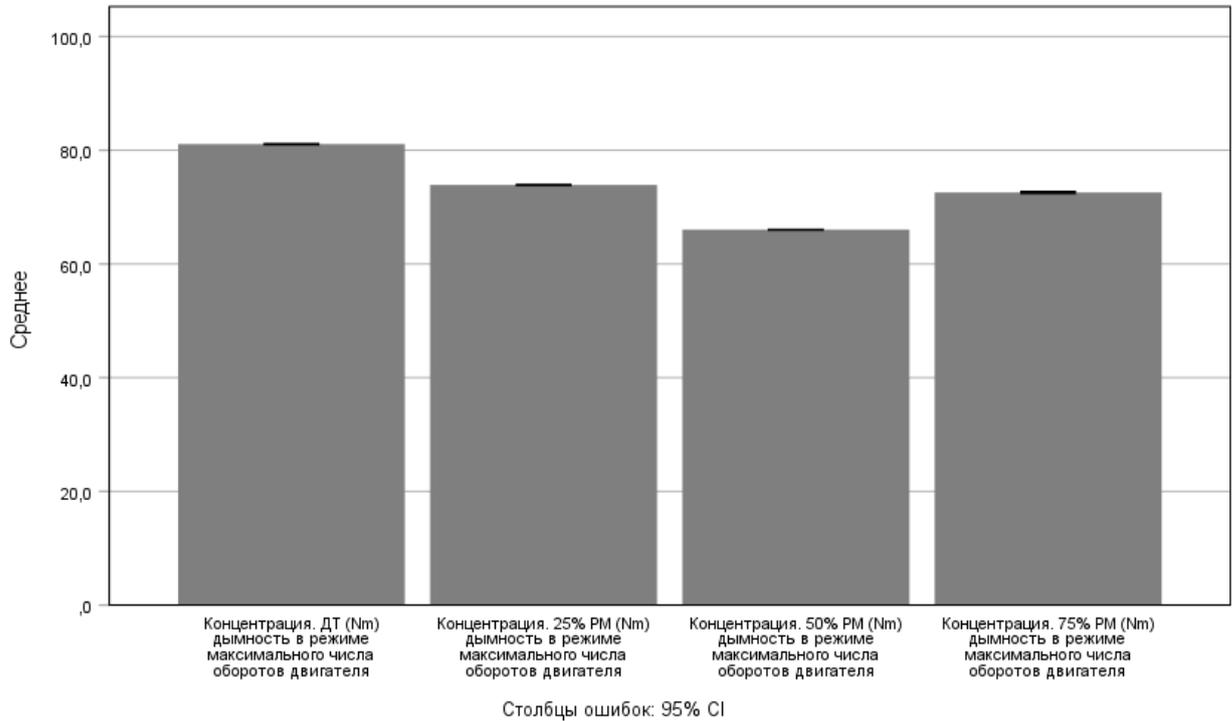


Рисунок 5.12 – Различия в дымности в режиме максимального числа оборотов двигателя в выхлопных газах в зависимости от вида топлива

Наименьшего значения концентрация дымности в режиме максимального числа оборотов двигателя в выхлопных газах достигает при использовании смеси ДТ и 50 % РМ.

5.10. Ток, потребляемый стартером, и напряжение АКБ в момент пуска

Ток и напряжение АКБ в момент пуска в настоящем исследовании измерены для четырех видов топлива. Таким образом для поиска взаимосвязи используем непараметрический критерий Фридмана, дополненный анализом доверительного интервала. Проведем измерение различий отдельно для тока и напряжения АКБ.

Ток, потребляемый стартером в момент пуска

Использование критерия Фридмана (приложение 14) показало достижение высокого уровня достоверных различий ($p < 0,0001$). Использование доверительного интервала показывает, что наименьший ток потребляется

стартером в момент пуска при использовании ДТ. При увеличении концентрации РМ потребление тока возрастает (рис. 5.13 и 5.14).

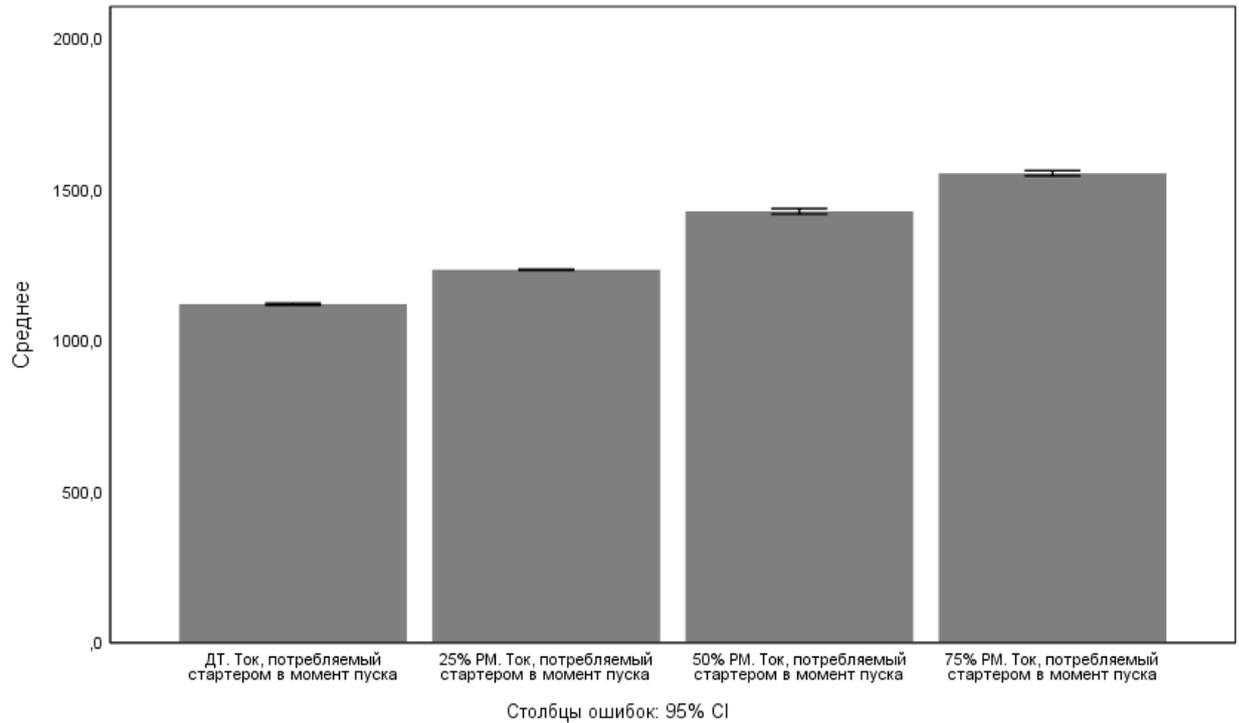


Рисунок 5.13 – Ток, потребляемый стартером в момент пуска

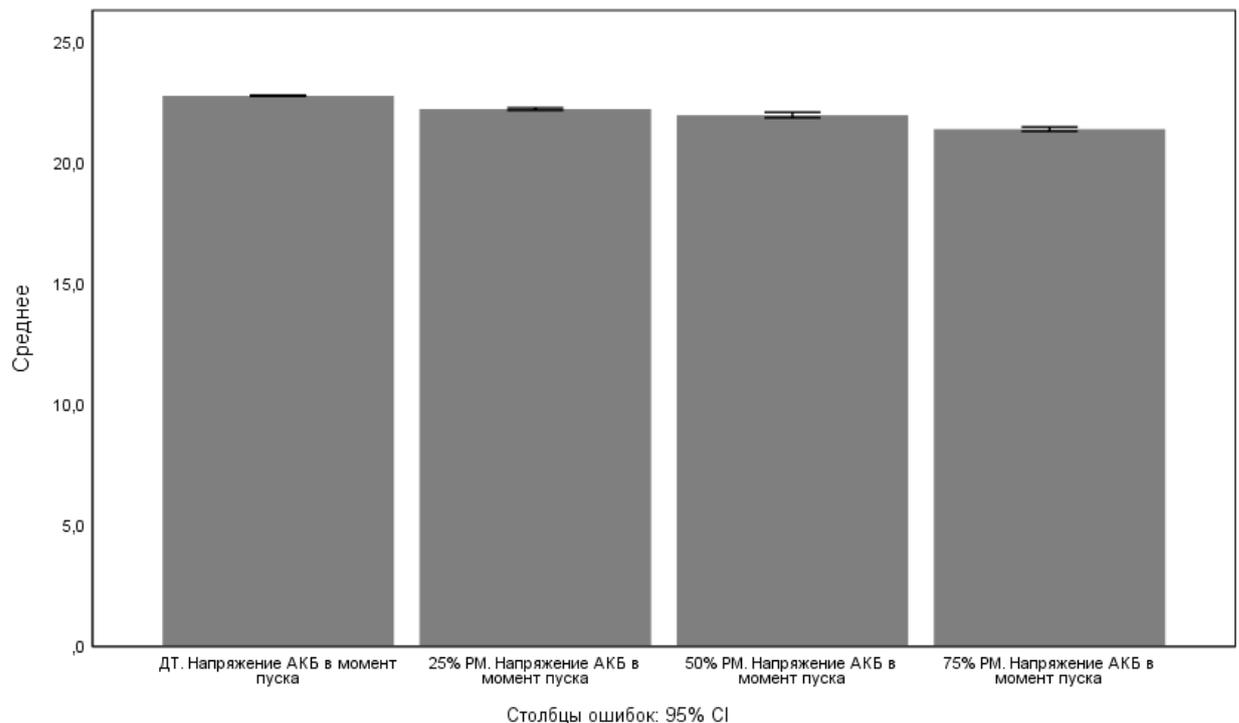


Рисунок 5.14 – Напряжение АКБ в момент пуска

Наименьший ток потребляется стартером в момент пуска при использовании ДТ. При увеличении концентрации РМ потребление тока возрастает [140].

Напряжение АКБ в момент пуска

Использование критерия Фридмана (приложение 15) показало достижение высокого уровня достоверных различий ($p < 0,0001$). Использование доверительного интервала показывает, что наименьшее напряжение АКБ в момент пуска достигается при использовании смеси ДТ с 75 % РМ.

Наименьшее напряжение АКБ в момент пуска достигается при использовании смеси ДТ с 75 % РМ.

5.11. Мощность двигателя

В настоящем исследовании не установлено различий в мощности двигателя при использовании разных видов топлива (приложение 16), что не позволяет применить статистические процедуры.

В таблице 1 Приложения 16 указаны значения мощности, из которых видно, что наибольшая мощность достигается при использовании ДТ с подогревом до 70°C. При этом увеличение концентрации РМ в топливе снижает мощность двигателя. Подогретое топливо повышает мощность двигателя (рис. 5.15).

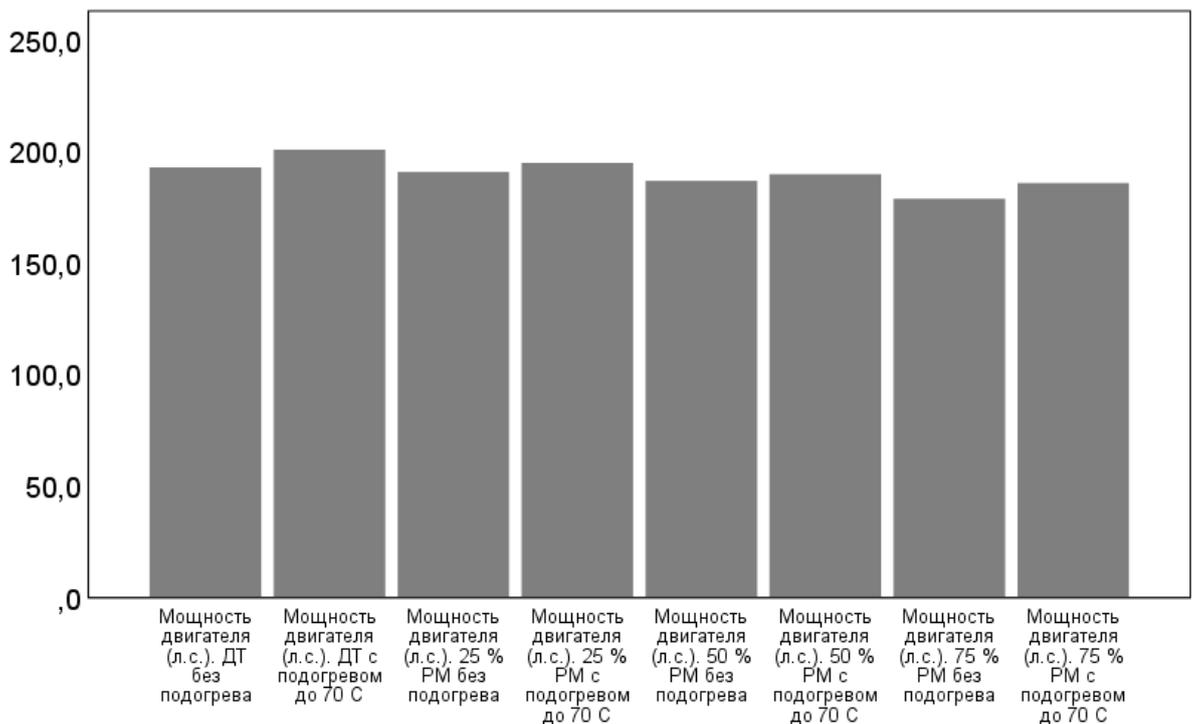


Рисунок 5.15 – Мощность двигателя

Установлено, что наибольшая мощность достигается при использовании ДТ с подогревом до 70°C. При этом увеличение концентрации РМ в топливе снижает мощность двигателя. Подогретое топливо повышает мощность двигателя.

5.12. Остаточное давление в топливопроводе высокого давления

Остаточное давление измерено в настоящем исследовании на оборотах двигателя 600 и 2000 для различных видов топлива. В связи с этим для определения различий воспользуемся критерием Уилкоксона, дополненным сравнением доверительного интервала.

Применение критерия Уилкоксона (приложение 17) продемонстрировало достижение высокой степени различий ($p < 0,0001$) для всех пар сравнений. Использование доверительного интервала показало, что остаточное давление не различается при 2000 об. мин для ДТ и смеси ДТ с 25 % РМ. Для всех остальных случаев установлены достоверные отличия. Остаточное давление незначительно повышается при увеличении содержания РМ в топливе. Остаточное давление при 600 об. мин ниже, чем при 2000 об. мин (рис. 5.16).

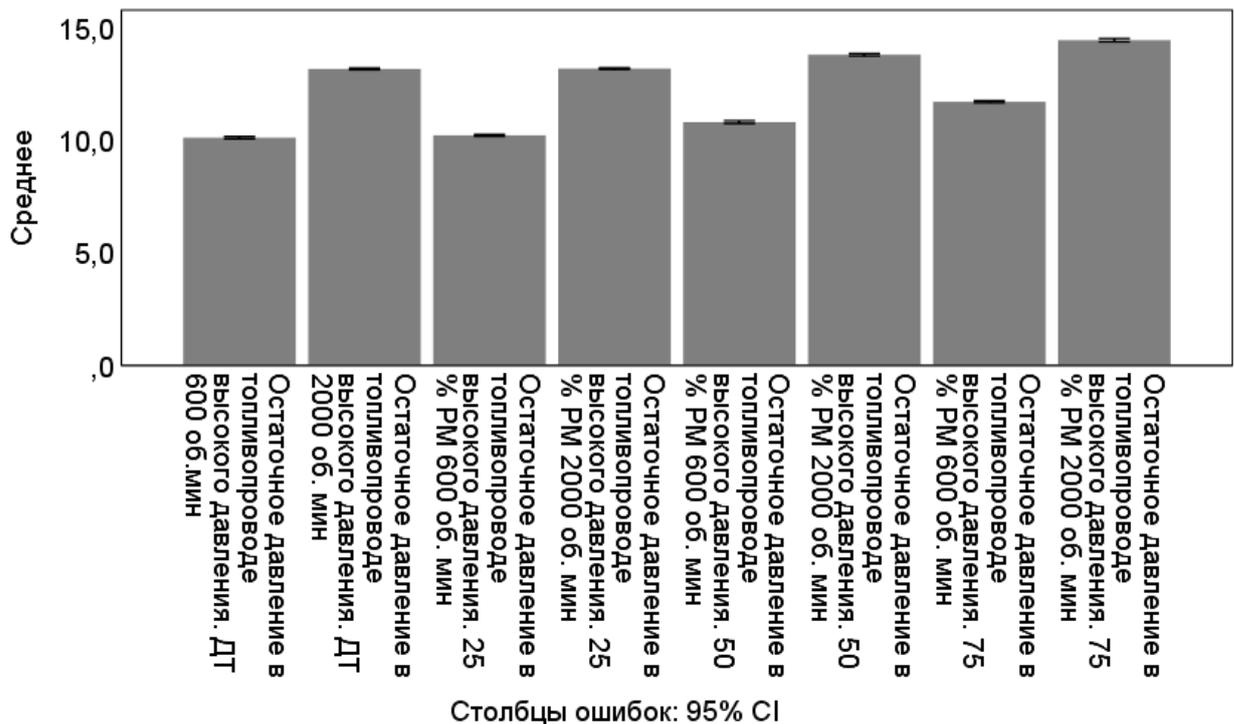


Рисунок 5.16 – Остаточное давление в топливопроводе высокого давления

Установлено, что остаточное давление не различается при 2000 об. мин для ДТ и смеси ДТ с 25 % РМ. Для всех остальных случаев установлены достоверные отличия. Остаточное давление повышается при увеличении содержания РМ в топливе. Остаточное давление при 600 об. мин ниже, чем при 2000 об. мин для всех видов топлива.

Выводы по главе 5

1. В результате обработки собранного статистического материала пяти видов топлива (ДТ, РМ, смеси ДТ с 25 % РМ, 50 % РМ, 75 % РМ). Выявлена достоверность в различии плотности, вязкости давлений, мощности, СО, СН, дымности каждого вида топлива. Проверка нормальности распределения шкал с использованием критерия Шапиро-Уилка, рекомендованного для случаев с числом измерений менее 50 (в нашем случае 20), показывает отсутствие нормальности (по условию применения критерия в случае достижения достоверного уровня значимости $p < 0,05$ распределение значений не считается нормальным). Поэтому для поиска различий между значениями применим непараметрический критерий Уилкоксона, рекомендованный для двух последовательных измерений. Применение критерия Уилкоксона продемонстрировало достижение высокой степени различий ($p < 0,0001$) для всех пар сравнений.

2. Полученные результаты обработки статистического материала позволяют осуществить весь цикл адаптации (перехода) дизельного двигателя на биотопливо из рапсового масла.

ГЛАВА 6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО АДАПТАЦИИ ТОПЛИВНОЙ СИСТЕМЫ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И ИХ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

6.1. Рекомендации по обслуживанию топливной системы дизельных двигателей работающей на топливе с биодобавками

У топливного насоса высокого давления (дизельный двигатель КАМАЗ-740) контролируется начало подачи смесового топлива секциями насоса. Для дизельных двигателей, работающих на смесовом топливе с содержанием 75 % рапсового масла, необходимо отрегулировать на повышенное давление начала подачи топлива на 2 МПа. Перед работой по регулировке:

- заливаем в картер насоса масло, которое применяется в данном дизельном двигателе;
- проверяем герметичность нагнетательных клапанов методом опрессовки, вязкость которого 4–5 сСт, при температуре 25–30 °С; проверяем давление по установленному манометру, течь не допускается.

Начало подачи топлива регулируем углом поворота кулачкового вала ТНВД при вращении по часовой стрелке.

Вращение кулачкового вала производится через ведомую полумуфту автоматической муфты опережения впрыска топлива.

При правильной регулировке ТНВД восьмая секция начнет подавать топливо за $42^{\circ} 30' \pm 30'$ до оси симметрии профиля кулачка.

Угол начала подачи топлива восьмой секцией принять за 0° , остальные секции начинают свою подачу топлива в порядке (в градусах угла поворота кулачкового вала):

Секция № 8.....0; Секция № 3.....180; Секция № 4.....45; Секция № 6.....225;
Секция № 5.....90; Секция № 2.....270; Секция № 7.....135; Секция № 1.....315.

Расхождение показаний начала подачи топлива одной из секции ТНВД относительно первой допускается не более 20.

Начало подачи топлива регулируем установкой под плунжер пяты толкателя определенной толщины. При увеличении толщины пяты на 0,05 мм топливо подается раньше, а при уменьшении толщины пяты топливо подается позже.

6.2. Рекомендации по периодичности обслуживания фильтров тонкой очистки

Согласно полученным результатам наших исследований по усилию разрыва полосок фильтрующей бумаги и производственных испытаний рекомендовано замена топливного ФТО топлива через каждые 8000 км. Поэтому для повышения работоспособности топливной аппаратуры дизельного двигателя, работающего на смесевом топливе, необходимая замена фильтра через 8000 км, что подтверждается актом испытания из СПК «Волжский» Волгоградской области.

6.3. Рекомендации по установке системы подогрева смесевого топлива

При эксплуатации транспортно-технологических машин с дизельным двигателем при низких температурах повышается вязкость топлива, ухудшается его прокачиваемость и наблюдается закупорка фильтров тонкой и грубой очистки из-за парафинизации. Данное явление происходит вследствие кристаллизации молекулярных цепочек твердых углеводородов, в большом количестве присутствующих в летнем дизельном топливе и в значительно меньших количествах - в зимнем. Этот эффект может наблюдаться не только в условиях Крайнего Севера, но и в районах средней полосы России.

Как известно, к дизельному топливу предъявляются следующие основные требования: температура кипения 200-350°C; коксовое число не должно превышать 0,1; содержание серы не более 0,2-0,5%; вязкость должна быть в пределах 1,15-1,70 градусов условной вязкости при 20°C; температура застывания должна соответствовать для тракторов и стационарных дизелей минус 35°C для зимнего сорта и не выше минус 10°C для летнего. Кроме того, для различных типов

дизельного топлива имеется оптимальный для работы двигателя диапазон рабочих температур топлива, поступающего в камеру сгорания.

Перспективные виды смесового топлива, в том числе, состоящего из смеси дизельного топлива с рапсовым маслом, в сравнении с дизельным топливом нефтяного происхождения, обладают целым рядом неоспоримых преимуществ: более высоким цетановым числом (47-63) и существенно сниженным содержанием серы и вредных веществ в выбросах (СО, СН, СО₂, твердые частицы). Это повышает эксплуатационные характеристики дизельных двигателей, работающих на смесовом топливе. Однако смесовое топливо имеет и свои недостатки: высокую температуру застывания (от минус 10 до минус 15°С), повышенное содержание воды, увеличенный расход топлива и количество выбросов оксида азота. По указанным причинам для подготовки биотоплива к впрыску в камеры сгорания двигателя требуются фильтрующие системы предварительной очистки более высокого уровня, включающие средства для нагрева топлива, отделения воды и т.п.

Обзор современных технических решений в данной области показывает, что для повышения эффективности работы двигателей и борьбы с парафинизацией стандартного дизельного топлива, особенно, смесового биодизельного топлива, системы топливоподачи дизельных двигателей должны оборудоваться специальными подогревателями. В первую очередь, это касается топливных фильтров грубой и тонкой очистки, поскольку именно фильтры являются самыми уязвимыми местами с точки зрения потери пропускной способности.

Разработанное устройство (патент на полезную модель №131420) для подогрева смесового топлива дизельных двигателей функционирует следующим образом: при использовании смесового биотоплива устройство для его подогрева активируется водителем при помощи выключателя на приборной панели, а процесс нагрева топлива отображается, преимущественно, посредством оптического индикатора. В качестве блока управления нагревателями используются компоненты электрической схемы машины. 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 (рис. 6.1).

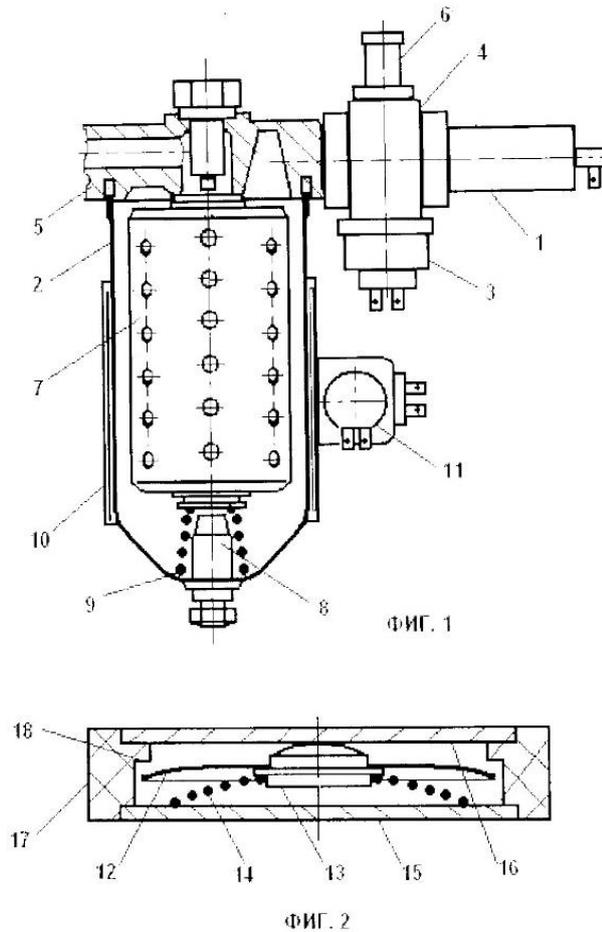


Рисунок 6.1 – Подогреватель топлива, устанавливаемый в топливный фильтр:
 1 – электрический нагреватель, 2 – фильтр тонкой очистки, 3 – термоэлектрический выключатель, 4 – проставка, 5 – корпус фильтр тонкой очистки, 6 – топливный штуцер, 7 – фильтрующий элемент, 8 – сливной штуцер, 9 – пружина, 10 – 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

Нагревательный элемент проточного электрического подогревателя 1 автоматически отключается с помощью термоэлектрического выключателя 3 при температуре указанного смесового топлива $+75^{\circ}\text{C}$ на входе в фильтр 2 и включается при температуре смесового топлива $+65^{\circ}\text{C}$. При достижении рабочей температуры смесового топлива ($+70^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$) термоэлектрический выключатель 3 автоматически поддерживает ее в указанном диапазоне. При температуре корпуса 5 фильтра 2 тонкой очистки, проставки 4 и корпуса термоэлектрического выключателя 3 ниже температуры срабатывания биметаллическая пластина 12 в форме тарелки свободно опирается на фланец подвижного контактного элемента 13. Прижимная пружина 4 вынуждает замыкание неподвижных контактных пластин 15, 16 с помощью подвижного контактного элемента 13. При росте температуры окружающей среды до указанного значения температуры срабатывания выключателя 3 тарелка биметаллической пластины 12 скачкообразно изменяет положение своего прогиба на противоположный. При этом внешняя кромка биметаллической пластины 12 опирается на внутренний буртик 18 изоляционного корпуса 17, а ее центральная часть отгибается в сторону токоподводящей прижимной пружины 14, приводя к отведению подвижного контактного элемента 13 от верхней неподвижной контактной пластины 16. Указанное состояние выключателя 3 поддерживается до тех пор, пока корпус выключателя 3 и находящиеся с ним в тепловом контакте узлы и детали 1, 4, 6 не остынут в достаточной мере. После охлаждения до указанной выше температуры, значение которой выходит из зоны гистерезиса биметаллической пластины 12, она автоматически возвращается в исходное положение, приводя к повторному скачкообразному замыканию контактов 15, 16 и обеспечивая подключение проточного электрического подогревателя 1 к источнику питания на очередной промежуток времени для нагрева смесового топлива. Таким образом запускающим параметром автоматического термоэлектрического выключателя 3 является, прежде всего, заданное значение рабочей температуры используемого смесового биотоплива. Работает разработанное устройство подогрева смесового топлива от

бортовой сети машины и потребляет сравнительно небольшое количество энергии, что делает ее использование безопасным.

При низких температурах окружающего воздуха возможно использовать дополнительный бандажный подогреватель 10 фильтра 2 тонкой очистки для предпускового и маршевого подогрева. Если необходимо обеспечить эксплуатацию автомобиля при очень низких температурах (до - 40°C) предпочтительно совместное применение проточного электрического нагревателя 1 и ленточного нагревателя 10 фильтра 2, а также подогрева сепаратора и топливозаборника. Управление подогревателями может осуществляться специальными клавишами на приборной панели машины.

Предложенное техническое решение обеспечивает достижение указанного технического результата, связанного с упрощением устройства для подогрева стандартного или смесового биотоплива, повышением надежности запуска двигателя и работоспособности топливной аппаратуры при низких температурах окружающей среды. Кроме того, при использовании дизельного топлива, состоящего из смеси дизельного топлива и рапсового масла, достигается также улучшение экологических характеристик дизельных двигателей.

6.4. Экономическая эффективность результатов исследований

По результатам исследований подобран оптимальный состав смесового топлива, для условий хозяйств ЦФО подходит композиция 25 % РМ и 75 % ДТ. Экономическую эффективность предложенных решений демонстрируем в процессе эксплуатации машин в АО «ЗЕЛЕНОГРАДСКОЕ» Московской области.

Определим расчет экономической эффективности эксплуатации трактора на биотопливе, а затем для всего транспорта из 14 единиц АО «ЗЕЛЕНОГРАДСКОЕ».

Осуществим оценку себестоимости биотоплива, исходные данные за 2022 год представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1

Исходные данные

Компоненты топлива	Стоимость, руб.	
	Летнее	Зимнее
ДТ	52,10	58,00
25 %РМ : 75ДТ %	50,33	54,75
50 %РМ : 50ДТ %	48,55	51,5
75 %РМ : 25ДТ %	46,78	48,25
РМ	45,00	45,00

Таблица 6.2

Исходные данные для расчета экономической эффективности применения биотоплива

Годовая загрузка, $T_{\text{ч}}$	1095	1095	1095
Оптовая цена за тонну, руб.	Биотопливо 25 %РМ : 75 %ДТ	ДТ Л – 0,2 – 62	ДТ З – 0,2 – 35
	50330 (54750)	52100	(58000)
Балансовая цена техники, руб.	435000	435000	
Расход топлива в час $G_{\text{ч}}$, кг/ч	15,81	15,81	

Производительность тракторов на смешанном биотопливе и дизельном топливе одинаковы, суммарный годовой экономический эффект от эксплуатации трактора на смешанном биотопливе можно определить по формуле:

$$\Delta = \sum T_{\text{ч},i} \cdot G_{\text{ч},\text{ДТ}} \cdot T_{\text{ок},\text{ДТ}} - \sum T_{\text{ч},i} \cdot G_{\text{ч},\text{БТ}} \cdot T_{\text{ок},\text{БТ}}, \quad (6.1)$$

где $T_{\text{ч},i}$ – годовая загрузка трактора;

$G_{\text{ч},\text{ДТ}}$ – расход дизельного (смешанного) топлива в час;

$T_{\text{ок},\text{ДТ}}$ – массовая цена дизельного топлива за литр;

$G_{\text{ч.бт}}$ – расход смесового биотоплива в час;

$T_{\text{ок.бт}}$ – массовая цена смесового биотоплива за литр;

Капитальные вложения по трактору на час наработки i -той операции определяются по формуле:

$$K = \frac{B}{T_{\text{ч}}}, \quad (6.2)$$

где B – балансовая цена трактора; $T_{\text{ч}}$ – годовая загрузка трактора.

Заработная плата тракториста вычисляется по формуле:

$$З = \frac{З_{\text{ч}}}{\tau_{\text{с}}}, \quad (6.3)$$

где $З_{\text{ч}}$ – оплата труда за час работы тракториста ($З_{\text{ч}} = 50$ р/ч) $\tau_{\text{с}} = 0,8$ – коэффициент использования времени смены.

Затраты на ремонт и техническое обслуживание на час наработки рассчитываются по формуле:

$$P = \frac{B_r}{T_{\text{ч}}}, \quad (6.4)$$

где $r = 0,15$ нормативный коэффициент.

Амортизационные отчисления на час наработки определяют по формуле:

$$A = \frac{B_a}{T_{\text{ч}}}, \quad (6.5)$$

где $a = 0,1$ нормативный коэффициент.

Объем топлива, израсходованный за расчетный период:

$$V_{\text{т}} = G_{\text{бт,дт}} \cdot T_{\text{ч}} \quad (6.6)$$

где $G_{\text{бт,дт}}$ – расход топлива за час основной работы.

Суммарный годовой экономический эффект от эксплуатации общего количества тракторов предприятия можно определить по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{пр}} = \mathcal{E} \cdot O_{\text{кт}}, \quad (6.7)$$

где $O_{\text{кт}}$ – общее количество тракторов, используемых в АО «ЗЕЛЕНОГРАДСКОЕ».

Переоборудование трактора при работе на смесевое биотопливе практически равно нулю, так как используется стандартная конструкция топливной аппаратуры и конструкция дизельного двигателя.

Далее проведя расчет, заносим их в сводную таблицу (6.3) и делаем соответствующие выводы.

Таблица 6.3

Сводные расчеты экономической эффективности применения биотоплива

Расчетный показатель	Обозначение	Расчетное значение, руб.	
		Биотопливо 25:75	Дизельное топливо
Капитальные вложения по трактору на час наработки i -ой операции	К	397,26	397,26
Заработная плата тракториста за час работы	З	62,5	62,5
Затраты на ремонт и техническое обслуживание на час наработки	Р	59,59	59,59
Амортизационные отчисления на час наработки	А	39,73	39,73
Расход топлива за час основной работы	$G_{бт}; G_{дт}$	15,81	15,81
Массовая цена топлива за 1 литр летнее (зимнее)	$T_{ок}$	50,33 (54,75)	52,10 (58,00)
Объем топлива, израсходованный за расчетный период	V_T	17311	17311
Экономический эффект от использования одного дизельного двигателя на биотопливе в год, руб.	Э	56 263,84	
Экономический эффект предприятия из 14 ед., от использования биотоплива за год, руб.	$Э_{пр}$	787 693,73	

Экономический эффект на один трактор в год за расчетный период равный 1095 ч составил 56 263 рубля 84 копейки, а всего в АО «ЗЕЛЕНОГРАДСКОЕ», состоящего из 14 единиц – 787 693 рубля 73 копейки.

Использование результатов исследований в ООО "АвтоПартнер-Сервис" при техническом обслуживании и ремонте автомобилей КАМАЗ эксплуатирующихся на смесевом топливе позволили:

- компенсировать уменьшение ресурса топливного фильтра, работающего на смесевом топливе, за счет пересмотра периодичности замены фильтрующего элемента;

- добавить ряд операций по ТО топливных систем дизелей с целью не допущения закоксовывания соплового отверстия форсунок и преждевременного выхода из строя топливного насоса;

- повысить работоспособность топливной системы, в том числе в зимний период путем установки в топливный фильтр устройства для подогрева биотоплива.

В целом, применения разработанных рекомендаций позволяет сократить количество отказов элементов топливной системы и повысить безотказность машин работающих на биотопливе с использование рапсового масла при их эксплуатации.

Выводы по главе 6

1. Даны рекомендации по обслуживанию и адаптации топливной системы дизельных двигателей для работы на смесевом биотопливе, в том числе по регулировке и настройке форсунок, ТНВД, привода управления подачей топлива, угла опережения впрыска топлива.

2. 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. Вместе с тем, при использовании смесового биотоплива, достигается также улучшение экологических характеристик дизельных двигателей.

3. Получен экономический эффект в АО «ЗЕЛЕНОГРАДСКОЕ» при использовании смесового биотоплива, содержащего 75 % дизельного топлива и 25 % рапсового масла, на один трактор в год за расчетный период, равный 1095 ч, что составляет 56263 рубля 84 копейки, а на 14 единиц автотракторной техники – 787693 рубля 73 коп.

4. Использование результатов исследований в ООО "АвтоПартнер-Сервис" при техническом обслуживании и ремонте автомобилей КАМАЗ эксплуатирующихся на смесовом топливе позволили:

- компенсировать уменьшение ресурса топливного фильтра, работающего на смесовом топливе, за счет пересмотра периодичности замены фильтрующего элемента;

- добавить ряд операций по ТО топливных систем дизелей с целью не допущения закоксовывания соплового отверстия форсунок и преждевременного выхода из строя топливного насоса;

- повысить работоспособность топливной системы, в том числе в зимний период путем установки в топливный фильтр устройства для подогрева биотоплива.

5. В целом, применения разработанных рекомендаций позволяет сократить количество отказов элементов топливной системы и повысить безотказность машин работающих на биотопливе с использованием рапсового масла при их эксплуатации.

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 73 копейки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков В.В. Методологические и технологические основы системы технического сервиса лесных машин: дисс. докт. техн. наук / Быков В.В. – М., 2005.
2. Быков В.В. Причины снижения качества ремонта машин лесного комплекса // Ремонт, восстановление, модернизация. – 2004. – № 5. – С. 14–15.
3. Еремеев Н.С. Повышение эффективности технической эксплуатации лесозаготовительных машин на основе управления их остаточным ресурсом: дисс. докт. техн. наук. – М., 2005. – 386 с.
4. Шамарин Ю.А. Совершенствование испытаний форсунок при техническом обслуживании и ремонте дизелей лесных машин: дисс. канд. техн. наук. – М.: МГУЛ, 2006. – 148 с.
5. Назаренко А.С. Диагностирование зубчатых передач агрегатов трансмиссии лесных машин: автореф. дисс. канд. техн. наук. – М.: МГУЛ, 2004. – 19 с.
6. Еремеев Н.С. Формирование ремонтной политики в ремонтной отрасли // Лесная промышленность. – 2002. – № 2. – С. 15–16.
7. Временные технические критерии предельного состояния агрегатов и узлов ТДТ-55А и ТБ-1 (Утверждены 24.11.78 НАТИ). – 8 с.
8. Копчиков В.П., Невмержицкий В.Н., Минков А.С. Техническая эксплуатация машин и оборудования лесозаготовительной промышленности. – М.: Лесная промышленность, 1986. – 184 с.
9. Быков В.В. и др. Технический сервис. Система технического обслуживания и ремонта лесозаготовительной и лесохозяйственной техники: учебное пособие. – М.: МГУЛ, 1999. – 128 с.
10. Воскобойников И.В. Техническое диагностирование лесозаготовительных машин. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 150 с.
11. Шамарин Ю.А. Анализ гидроплотности плунжерных пар насоса 4-УТНМ // Лесной вестник. 2005. – № 6. – С. 109–111.

12. Шамарин Ю.А. Анализ зазора плунжерных пар насоса 4-УТНМ // Лесной вестник. 2005. – № 6. – С. 105–109.
13. Шамарин Ю.А., Корнеев В.М., Назаренко А.С., Прохоров В.Ю. Оценка и анализ технического состояния дизельной топливной аппаратуры: учебное пособие. – М.: МГУЛ, 2005. – 75 с.
14. Мазаев Ю.В., Чванов К.Г. Ремонт дизельной топливной аппаратуры: методические рекомендации по выполнению лабораторной работы. – М.: МГАУ, 2001. – 30 с.
15. Мылов А.А., Харыбин А.А. Оценка технического состояния нагнетательных клапанов секций топливного насоса высокого давления // Вестник Российского государственного аграрного заочного университета. – 2007. – № 2. – С. 50–51.
16. Антипов В.В. Износ прецизионных деталей и нарушение характеристик топливной аппаратуры дизелей. – М.: Машиностроение, 1972. – 287 с.
17. Справочник по технологическим и транспортным машинам лесопромышленных предприятий и техническому сервису /под ред. В.В. Быкова, А.Ю. Тесовского. – М.: МГУЛ, 2000. – 534 с.
18. Гайдар С.М., Петровская Е.А. Обеспечение износостойкости узлов трения // В сб.: Вклад молодых ученых в инновационное развитие АПК России: сборник статей Международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 65-летию ФГБОУ ВО Пензенской ГСХА. – Пенза, 2016. – С. 99–102.
19. Гайдар С.М., Кононенко А.С. Ингибированные составы для хранения сельскохозяйственной техники // Техника в сельском хозяйстве. – 2011. – № 3. – С. 21–22.
20. Пучин Е.А. Система технического обслуживания тракторов в современных условиях // Труды ГОСНИТИ. – 1998. – № 97. – С. 106–110.
21. Селиванов А.И. Основы теории старения машин. – 2-ое изд. – М.: Машиностроение, 1971. – 408 с.

22. Власов П.А. Особенности эксплуатации дизельной топливной аппаратуры. – М.: Агропромиздат, 1986. – 125 с.
23. Малышев Г.А. Теория авторемонтного производства. – М.: Транспорт, 1977. – 224 с.
24. Петровский Д.И. Диагностирование топливной системы высокого давления дизелей по амплитудно-фазовым параметрам топливоподачи: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2004. – 18 с.
25. Петровский Д.И. Диагностика снижает потери // Сельский механизатор. – 2006. – № 9. – С. 38.
26. Бахтиаров Н.И., Логинов В.Е., Лихачев И.И. Повышение надежности работы прецизионных пар топливной аппаратуры дизеля. – М.: Машиностроение, 1972. – 200 с.
27. Котиков В.М. и др. Лесные машины. – М.: Лесная промышленность, 1989. – 512 с.
28. Черноиванов В.И. и др. Мониторинг технического уровня и надежности основных видов сельскохозяйственной техники. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 108 с.
29. Ежевский А.А., Черноиванов В.И., Федоренко В.Ф. Тенденции машинно-технологической модернизации сельского хозяйства. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 289 с.
30. Нагорнов С.А., Зазуля А.Н., Романцова С.В., Голубев И.Г. Повышение эффективности работы нефтехозяйств в АПК. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 167 с.
31. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Зазуля А.Н., Голубев И.Г. Эффективное использование нефтепродуктов в сельском хозяйстве. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 192 с.
32. Орстик Л.С. и др. Биоэнергетика: мировой опыт и прогнозы развития. – 2-е изд. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 404 с.
33. Митин С.Г. и др. Биоэнергетика: мировой опыт и прогноз развития. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 202 с.

34. Сорокин Н.Т. Биоэнергетика и проблемные вопросы ее развития в России: материалы 2-го Международного конгресса «Биоэнергетика-2007». – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – С. 70–74.

35. Федоренко В.Ф. и др. Состояние и развитие производства биотоплива: научный аналитический обзор. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 130 с.

36. Федоренко В.Ф. Информационно-аналитическое обеспечение развития биоэнергетики: материалы 2-го Международного конгресса «Биоэнергетика-2007». – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – С. 83–88.

37. Федоренко В.Ф., Голубев И.Г. и др. Использование биологических добавок в дизельное топливо. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 50 с.

38. Савельев Г.С. Производство и использование дизельного топлива из рапса. – М.: ВИМ, 2007. – 94 с.

39. Нагорнов С.А., Романцова С.В., Зазуля А.Н., Голубев И.Г. Эффективное использование нефтепродуктов в сельском хозяйстве. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2007. – 192 с.

40. Шилова Е.П., Крюков И.В. Опыт применения альтернативных видов топлива для автомобильной и сельскохозяйственной техники. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – 96 с.

41. Савельев Г.С., Краснощеков Н.В. Биологическое моторное топливо для дизелей на основе рапсового масла // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – №10. – С. 11–16.

42. Глазков Ю.Е. Виды жидкого биотоплива для дизелей и пути его получения // В сб.: Современная наука: теория, методология, практика: материалы IV Всероссийской национальной научно-практической конференции. – 2022. – С. 202–205.

43. Глазков Ю.Е. Потенциал производства дизельного биотоплива в Российской Федерации // В сб.: Современная наука: теория, методология, практика: материалы IV Всероссийской национальной научно-практической конференции. – 2022. – С. 205–209.

44. Глазков Ю.Е., Доровских Д.В. Анализ исследований снижения дымности отработавших газов автотракторных дизелей // В сб.: Проблемы экономичности и эксплуатации автотракторной техники: материалы XXXIV Международной научно-технической конференции имени Михайлова В.В. – Саратов, 2021. – С. 111–115.

45. Барановский С., Чумаков А. Альтернативная энергетика России: Проблемы и перспективы // Альтернативная энергетика. – 2008. – №1. – С. 2–6.

46. Шаповальянц А.Г. Задачи национальной биоэнергетической ассоциации по развитию производственных мощностей по переработке биомассы: материалы 2-го Международного конгресса «Биоэнергетика-2007». – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – С. 78–83.

47. Коваленко В.П. и др. «Зеленое» дизельное топливо. Автозаправочный бизнес. – 2006. – №11. – С. 85–87.

48. Биотопливу принадлежит будущее: Просп. фирмы «WPR Communication ФРГ». – Berlin WPR Communication, 2007. – 2 с.

49. Lee K.T., Foglia T.A., Chang K.S. Production of Alkyl Ester as Biodiesel from Fractionated Lard and Restaurant Grease // JAOCS. – 2002. – Vol. 79. – №2. – P. 191–195.

50. Hashimoto M., Dan T., Asano I., Arakawa T. Combustion of the Rape-Seed Oil in a Diesel Engine // SAE Technical Paper Series. – 2002. – №2002-01-0867. – P. 1–12.

51. LeBlanc N., Kern J., Duoba M., Bohn T., Larsen R. Analysis of Performance Results from Future Trus 2001 // SAE Technical Paper Series. – 2002. – № 2002-01-1209. – P. 1–9.

52. McCormick R.L., Alvarez J.R., Graboski M.S., Tyson K.S., Vertin K. Fuel Abbitive anb Blending Approches to Reducing NOx Emissions from Biodiesel // SAE Technical Paper Series. – 2002. – № 2002-01-1658. – P. 1–10.

53. Зазуля А.Н., Нагорнов С.А., Сапьян Ю.Н., Голубев И.Г. Анализ направлений экономии топливно-смазочных материалов путем модернизации нефтехозяйств. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 167 с.

54. Марков В.А., Козлов С.И. Топливо и топливоподача многотопливных и газодизельных двигателей. – М.: Издательство МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2000. – 296 с.

55. Шкаликова В.Н., Патрахальцев Н.Н. Применение нетрадиционных топлив в дизелях. – М.: Издательство Российский университет дружбы народов, 1993. – 64 с.

56. Лютко О., Луканин В.Н., Хачиян А.С. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания. – М.: Изд-во МАДИ (ТУ), 2000. – 311 с.

57. Чертков Я.Б. Моторные топлива. – Новосибирск: Наука, 1987. – 208 с.

58. Гуреев А.А., Азев В.С., Камфер Г.М. Топливо для дизелей. Свойства и применение. – М.: Химия, 1993. – 336 с.

59. Игревский В.И., Портнов А.М. Настоящее и будущее топливно-энергетического комплекса // Топливо-энергетический комплекс. – 2004. – № 1. – С. 57–59.

60. Горохов Д.Г., Бабурина М.И., Иванкин А.Н. Переработка жировых отходов в биодизельное топливо // Масложировая промышленность. – 2010. – №5. – С. 36–38.

61. Морозов В.А. О внедрении малотоннажных комплексов для получения дизельного топлива из древесных отходов и торфа: материалы парламентских слушаний «О совершенствовании законодательного обеспечения биотехнологической отрасли промышленности». Государственная Дума. Комитет по промышленности (15 октября). – М., 2009. – 156 с.

62. Девянин С.Н., Марков В.А., Семенов В.Г. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. – М.: МГАУ имени В.П. Горячкина, 2008. – 340 с.

63. Суханов В.С. Роль биоэнергетики в повышении эффективности лесопромышленного комплекса // В кн.: Биоэнергетика и биотехнологии-эффективное использование отходов лесозаготовок и деревообработки: тезисы докладов Международной научно-практической конференции (г. Москва, МГУЛ, –16 октября 2009 г.). – М.: МГУЛ, 2009. – С. 20–22.

64. Савельев Г.С. Биологическое моторное топливо для дизелей на основе рапсового масла / Г.С. Савельев, Н.В. Краснощекоев // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 10. – С. 11–16.
65. Нагорнов С.А. Перспективное топливо для дизельных двигателей // Вопросы современной науки и практики. Университет имени В.И. Вернадского. – 2006. – № 1(3). – С. 212–216.
66. Антифеев В.Н. Моторное топливо XXI века. Экологические, сырьевые и технические аспекты // Мировая энергетика. – 2005. – № 2. – С. 3–8.
67. Вагнер В.А. Применение альтернативных топлив в ДВС // Двигателестроение. – 2000. – № 3. – С. 12–16.
68. Продукция биодизель из растительных масел или жиров: Прост. / Компания «Merloni Progetti». – 2006. – 5 с.
69. Возможности рапса как альтернативы дизельному топливу // Железные дороги мира. – 2003. – № 10. – С. 41–46.
70. Головенчик Е. Зарубежный опыт организации производства и использования дизельного биотоплива на основе продуктов переработки рапсового масла // Агрэкономика. – 2005. – № 8. – С. 40–42.
71. Емельянов В.Е. Решение экологических проблем автотранспорта // Экология и промышленность России. – 2005. – № 4. – С. 36–37.
72. Емельянов В.Е., Крылов И.Ф. Альтернативные экологически чистые виды топлива для автомобилей. – М.: АСТ Астрель, 2004. – 128 с.
73. Shlykov A.E., Mironov E.B., Gaidar S.M., Erzamaev M.P., Kurmanova L.S. Methodology and results of comparative atmospheric tests of experimental conservation composition // В сб.: International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019). International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2019), 2020. – С. 02-15.
74. Семенович В.С., Малашенков К.А. Современные направления использования рапса // Проблемы реформирования в агропромышленном комплексе: сборник научных трудов. – М.: МГАУ имени В.П. Горячкина, 1999. – С. 104–108.

75. В Москве обсудили перспективы развития рынка биодизеля // Хим. Журн. – 2006 – С. 10–18.
76. Малашенков К.А. Альтернативный рапс // Сельский механизатор. – 2007. – № 1. – С. 26–27.
77. Haas M.J., Michalski P.J., Runyon S., Nunez A., Scott K.M. Production of FAME from Acid Oil, a By-Product of Vegetable Oil Refining // JAOCS. – 2003. – Vol. 80. – № 1. – P. 97–102.
78. Dasari M.A., Goff M.J., Suppes G.J. Noncatalytic Alcoholysis Kinetics of Soybean Oil // JAOCS. – 2003. – Vol. 80. – № 2. – P. 189–192.
79. Torres M., Loscos V., Sanahuja V., Canela R. Reactive Extraction of Acylglycerides Using *Aspergillus Flavus* Resting Cells // JAOCS. – 2003. – Vol. 80. – № 4. – P. 347–351.
80. Neue Pflanzenolmotoren von DMC // MTZ. – 1993. – Jg. 54. – № 7/8. – S. 365. – Нем.
81. Abreu F.R., Lima D.G., Hamu E.H., Einloft S., Rubim J.C., Suarez P.A.Z. New Metal Catalysts for Soybean Oil Transesterification // JAOCS. – 2003. – Vol. 80. – №6. – P. 601–604.
82. Mittelbach M., Schober S. The Influence of Antioxidants on the Oxidation Stability of Biodiesel // JAOCS. – 2003. – Vol. 80. – №8. – P. 817–823.
83. Knothe G., Dunn R.O. Dependence of Oil Stability Index of Fatty Compounds on Their Structure and Presence of Metals // JAOCS. – 2003. – Vol. 80. – №10. – P. 1021–1026.
84. Dunn R.O., Knothe G. Oxidative Stability of Biodiesel in Blends with Jet Fuel by Analysis of Oil Stability Index // JAOCS. – 2003. – Vol. 80. – №10. – P. 1047–1048.
85. Tat M.E., Van Gerpen J.H. Effect of Temperature and Pressure on the Speed of Sound and Isentropic Bulk Modulus of Mixtures of Biodiesel and Diesels Fuel // JAOCS. – 2003. – Vol. 80. – №11. – P. 1127–1130.
86. Tat M.E., Van Gerpen J.H. Speed of Sound and Isentropic Bulk Modulus of Alkyl Monoesters at Elevated Temperatures and Pressures // JAOCS. – 2003. – Vol. 80. – №12. – P. 1249–1256.

87. Hamasaki K., Tanaka Y., Kuwamitsu K., Takada M. Рапсовое масло в качестве топлива для дизелей // Кагосима дангаку когакубу кэнкю хококу = Research Reports of the Faculty of Engineering Kagoshima University. – 1987. – №29. – Р. 17–24. – Яп. (рез. Англ).

88. Федоренко В.Ф., Голубев И.Г. и др. Результаты испытаний и перспективы эксплуатации дизелей на биотопливе. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2008. – 133 с.

89. Федоренко В.Ф., Голубев И.Г., Коноваленко Л.Ю. и др. Инновационные технологии производства биотоплива второго поколения. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2009. – 68 с.

90. Слепцов О.Н. Эффективность применения топлив растительного происхождения в АПК: дисс. ... канд. техн. наук. – М.: МГАУ, 2007. – 184 с.

91. Марков В.А., Гайворонский А.И., Девянин С.Н., Понамарев Е.Г. Рапсовое масло как альтернативное топливо для дизеля // Автомобильная промышленность. – 2006. – №2. – С. 18–29.

92. Уханов А.П. и др. Биотопливо из рыжика // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – №2. – С. 8–9.

93. Доровских Д.В., Глазков Ю.Е., Доровских И.Ю., Глазкова М.М. Анализ путей улучшения дизельного топлива применением биодобавок // В сб.: Современная наука: теория, методология, практика: материалы 2-ой Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. – 2020. – С. 200–204.

94. Уханов А.П. и др. Результаты экспериментальных исследований дизеля 4С11,0/12,5 при работе на биотопливных композициях // Наука и образование – сельскому хозяйству: сборник материалов научно-практической конференции, посвященный 55-летию Пензенской ГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2006. – С. 181–182.

95. Ликсутина А.П. Улучшение качества и экологических свойств дизельного топлива за счет использования биологического компонента: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Мичуринск: Наукоград, 2006. – 23 с.

96. Вальехо П. Испытания дизеля МД-6 при работе на рапсовом масле / П. Вальехо, С.В. Гусаков и др. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2001. – № 4. – С. 42-44.

97. Бубнов Д.Б. Адаптация дизеля сельскохозяйственного трактора для работы на рапсовом масле: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М., 1996. – 17 с.

98. Савельев Г.С. Результаты испытаний двигателя ММЗ-243 трактора МТЗ-82 при работе на смеси рапсового масла с дизельным топливом // В сб.: «Переработка рапса на биологическое топливо»: сборник трудов научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону, 2006. – С. 14-18.

99. Gaidar S., Karelina M., Laguzin A., Quang H.D. Impact of operational factors on environmental safety of internal combustion engines // В сб.: Transportation Research Procedia. 14. Сер. "14th International Conference on Organization and Traffic Safety Management in Large Cities, OTS 2020", 2020. – С. 136–144.

100. Зазуля А.Н., Уханов А.П., Нагорнов С.А., Ликсутина А.П. Методика моторных испытаний дизеля на товарном топливе и биотопливных композициях // Наука и образование – сельскому хозяйству: сборник материалов научно-практической конференции, посвящённый 55-летию Пензенской ГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2006. – С. 201–202.

101. Уханов А.П. и др. Использование рапсового биотоплива на автотракторной технике // Материалы Юбилейной научно-технической конференции ФГНУ «Росинфомагротех». – 2007. – С. 33–37.

102. Смайлис В., Сенчила В., Берейшене К. Моторные испытания РМЭ на высокооборотном дизеле воздушного охлаждения // Двигателестроение. – 2005. – № 4. – С. 45–49.

103. Рапсовое биотопливо. Результаты экспериментальных исследований. – Пенза: Пензенская ГСХА, 2008. – 6 с.

104. Кульчицкий А.И. др. Использование рапсового масла в дизеле: стоит трижды подумать // Аграрный эксперт. – 2008. – №1. – С. 25–28.

105. Голубев В.А. Эффективность использования тракторного агрегата при использовании горчично-минеральном топливе: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Пенза: Пензенская ГСХА, 2012. – 20 с.

106. Ротанов Е.Г. Снижения износа плунжерных пар ТНВД применением рационального состава дизельного топлива: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Пенза: Пензенская ГСХА, 2012. – 17 с.

107. Кочетков М.Н. Разработка технических средств обеспечения энергоавтономности сельскохозяйственного предприятия при замещении дизельного топлива рапсовым маслом: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – М.: ВИМ, 2010. – 35 с.

108. Иванов В.А. Оценка эксплуатационных показателей трактора класса 14кН при работе на растительно-минеральном топливе: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Пенза: Пензенская ГСХА, 2010. – 23 с.

109. Левин М.Ю. Сохранение биодизельного топлива за счет совершенствования технологии его хранения. Автореферат диссертации кандидата технических наук. – Мичуринск: МичГАУ, 2012. – 21 с.

110. Мылов А.А. Конструкция дизельной топливной аппаратуры. – М.: Московский автомобильный колледж, 2006. – 28 с.

111. Кислов В.Г., Павлов В.А., Трусков А.Л. и др. Топливная аппаратура тракторных и комбайновых дизелей. Справочник. – М.: Машиностроение, 1981. – 204 с.

112. Костин А.К., Пугачев Б.Л., Кочинев Ю.Ю. Работа дизелей в условиях эксплуатации. – Л.: Машиностроение, 1989. – 283 с.

113. Лышевский А.С. Системы питания дизелей. – М.: Машиностроение, 1981. – 215 с.

114. Кутовой В.А. Впрыск топлива в дизелях. – М.: Машиностроение, 1981. – 118 с.

115. Свиридов Ю.Б. Смесеобразования и сгорания в дизелях. – Л.: Машиностроение, 1972. – 222 с.

116. Павлов Б.В. Как работает топливоподающая аппаратура дизельного двигателя // Техника в сельском хозяйстве. – 1960. – № 1. – С. 25–32.
117. Астахов И.В., Трусков В.И., Хачиян А.С. и др. Подача и распыливание топлива в дизелях. – М.: Машиностроение, 1972. – 359 с.
118. Лышевский А.С. Системы питания дизелей. – М.: Машиностроение, 1981. – 216 с.
119. Нуйкин А.А., Власов П.А. Система питания дизельных двигателей. Технический справочник. – Пенза, 2004. – 140 с.
120. Файнлейб Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1990. – 352 с.
121. Файнлейб Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей. – Л.: Машиностроение, 1990. – 348 с.
122. Белявцев А.В., Процеров А.С. Топливная аппаратура автотракторных дизелей: Конструктивные особенности и эксплуатация. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 223 с.
123. Ачкасов К.А., Вегера В.П. Справочник начинающего слесаря: Ремонт и регулирование приборов системы питания и гидросистемы тракторов, автомобилей, комбайнов. – Изд. 2-е перераб. и дополн. – М.: Агропромиздат, 1987. – 352 с.
124. Горбаневский В.Е., Кислов В.Г., Баширов Р.М., Марков В.А. Дизельная топливная аппаратура. – М.: Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана, 1996. – 140 с.
125. Баширов, Кислов В.Г., Павлов В.А. и др. Надежность топливной аппаратуры тракторных и комбайновых дизелей. – М.: Машиностроение, 1978. – 183 с.
126. Коячин А.В. и др. Технологическое руководство по контролю и регулировки тракторных и комбайновых дизелей при эксплуатации. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 133 с.
127. Колчин А.В. Обеспечение экологической безопасности и нормативной топливной экономичности тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин при эксплуатации. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. – 136 с.

128. Гутарович Ю.Н. Влияние неисправности дизеля на его токсичность и экологичность // Автомобильный транспорт. – 1981. – №4. – С. 50–51.
129. Кузнецов А.В. и др. Проблемы повышения экологической безопасности ДВС // Двигателестроение. – 1991. – № 8. – С. 10–12.
130. Медведев Ю.С. Обоснование эффективности методов снижения отработавших газов автотракторных дизелей: автореф. дисс. ... докт. техн. наук. – М., 2006. – 32 с.
131. Ликсутина А.П. Улучшение качества экологических свойств топлива за счёт использования биологического компонента: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. – Мичуринск: Наукоград, 2006. – 23 с.
132. Руденко И.И. Работоспособность форсунок дизелей на биотопливе // Лесной вестник. – 2010. – №1 (70). – С. 98–100.
133. Руденко И.И. Испытания дизеля на биотопливе с использованием «Мотортестера МО 3-2» // Лесной вестник. – 2010. – №5 (74). – С. 110–118.
134. Голубев И.Г., Руденко И.И. Результаты испытания дизелей на смесевом топливе // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 107. – №1. – С. 72–73.
135. Руденко И.И., Голубев И.Г. Работоспособность топливной аппаратуры дизелей на топливе с биодобавками из рапсового масла // Ремонт, восстановление и модернизация. – 2012. – №8. – С. 53–54.
136. Голубев И.Г., Руденко И.И., Панферов В.И. Работоспособность топливной аппаратуры дизелей на топливе с биодобавками // Труды ГОСНИТИ. – 2013. – Т. 112. – № 2. – С. 51–52.
137. Голубев И.Г., Руденко И.И. Испытание дизелей на топливе с биодобавками // Труды ГОСНИТИ. – 2014. – Т. 114. – № 1. – С. 66–68.
138. Голубев И.Г., Руденко И.И., Панферов В.И. Влияние биодобавок в смесевое топливо на работоспособность форсунок дизелей // Труды ГОСНИТИ. – 2017. – Т. 126. – №3. – С. 22–25.
139. Голубев И.Г., Руденко И.И. Влияние биодобавок в смесевое топливо на работоспособность топливной аппаратуры дизельных двигателей // Техника и оборудование для села. – 2017. – №5. – С. 45–47.

140. Апатенко А.С., Руденко И.И. Показатели системы пуска и мощности работы дизеля на биотопливе из рапсового масла. Естественные и технические науки. – 2021. – №10. – С. 223-227.

141. Апатенко А.С., Руденко И.И., Севрюгина Н.С. Сопоставление согласованности характеристик типовых фильтрующих элементов с работой в биотопливе из рапсового масла. Естественные и технические науки. – 2022. – №1. – С. 228-234.

142. Апатенко А.С., Руденко И.И., Прибытков А.С. Влияние биотопливных композиций в дизельном топливе на параметры двигателя // Ремонт, восстановление и модернизация. – 2022. – №3. – С. 24–27.

143. Панферов В.И., Голубев И.Г., Руденко И.И. Патент на пол. мод. 129564 Российская Федерация. Устройство для подогрева смесового топлива. Заявитель и патентообладатель Московский государственный университет леса. – №2012155533/06; заявл. 21.12.2012; опубл. 27.06.2013. Бюл. №18 (П.ч). – 2 с.: ил.

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

145. Голубев И.Г., Руденко И.И. Работоспособность форсунок топливной аппаратуры дизелей на биотопливе // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: сборник научных докладов XV-й Международной научно-практической конференции. – Тамбов: ГНУ ВИИТиН, 2009. – С. 448–451.

146. Голубев И.Г., Руденко И.И. Работоспособность форсунок топливной аппаратуры дизелей на биотопливе // В сб.: Повышение эффективности функционирования механических и энергетических систем: материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Саранск: ГОУВПО МГУ имени Н.П. Огарева, 2009. – С. 112–115.

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

148. Голубев И.Г., Руденко И.И. Испытание форсунок топливной аппаратуры дизелей на смесевом топливе // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: V-я Международная научно-практическая конференция. – М.: ФГБНУ Росинформагротех, 2011. – С. 248–252.

149. Голубев И.Г., Руденко И.И. Работоспособность топливной аппаратуры дизелей на смесевом топливе // В сб.: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: сборник научных докладов XVI-й Международной научно-практической конференции. – Тамбов: ГНУ ВИИТиН, 2011. – С. 242–243.

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

151. Голубев И.Г., Руденко И.И. Работоспособность фильтров тонкой очистки дизелей, работающих на биотопливе // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Международной научно-практической конференции. – Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. – С. 243–245.

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

153. Голубев И.Г., Руденко И.И., Панферов В.И. Влияние биодобавок на работоспособность топливной аппаратуры дизелей // Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: сборник научных докладов XVII-й Международной научно-практической конференции. – Тамбов: ГНУ ВИИТиН, 2013. – С. 171–172.

154. Голубев И.Г., Руденко И.И., Панферов В.И. Методика и результаты испытания дизелей на смесевом топливе // Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: сборник материалов VII-й Международной научно-практической конференции «ИнформАгро-2014». – М.: Минсельхоз России, 2014. – С. 357–359.

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

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

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

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

159. Руденко И.И., Шамарин Ю.А. Устройство для подогрева биотоплива при использовании в дизельных двигателях: материалы Международной научной конференции молодых учёных и специалистов, посвящённой 135-летию со дня рождения А.Н. Костякова (г. Москва, 6–8 июня 2022 г.). – М., 2022. – С. 645–647.

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

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

162. Гайдар С.М. Модификация консистентных смазок с использованием нанотехнологий // Техника в сельском хозяйстве. – 2010. – № 2. – С. 38–40.

163. Гайдар С.М., Дёмина Л.Ю., Дмитревский А.Л., Петровская Е.А. Полифункциональные ингибиторы биокоррозии эффективное средство повышения сохраняемости машин в животноводстве // Техника и оборудование для села. – 2014. – № 4. – С. 26–29.

164. Гайдар С.М., Волков А.А., Карелина М.Ю. Адсорбция фтор-пав и ее влияние на смазку трибосопряжений в условиях граничного и гидродинамического трения // Труды ГОСНИТИ. – 2015. – Т. 118. – С. 113–124.

165. Гайдар С.М., Карелина М.Ю. Инновационное техническое средство для нанесения защитной молекулярной пленки на поверхность машин // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 3. – С. 26–28.

166. Кононенко А.С., Гайдар С.М. Адгезионная прочность герметиков и нанокмпозиций на их основе // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2011. – № 6. – С. 38–42.

167. Гайдар С.М., Свечников В.Н., Усманов А.Ю., Иванов М.И. Использование наноматериалов в качестве присадок к маслам для уменьшения трения в трибосопряжениях // Техника и оборудование для села. – 2013. – № 1. – С. 35–37.

168. Северный А.Э. и др. Практикум по хранению и защите от коррозии сельскохозяйственной техники. – М., 2009. – 38 с.

169. Гайдар С.М., Низамов Р.К., Голубев М.И., Голубев И.Г. Защитная эффективность водорастворимых ингибиторов коррозии // Вестник Мордовского университета. – 2018. – Т. 28. – № 3. – С. 429–444.

170. Петровская Е.А., Гайдар С.М., Петровский Д.И. Повышение коррозионной стойкости оборудования, работающего в агрессивных средах АПК путем применения полифункциональных ингибиторов // В сб.: Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов /под общей редакцией Н.И. Бухтоярова, Н.М. Дерканосовой, В.А. Гулевского. – М., 2016. – С. 74–77.

171. Дунин А.Ю., Шатров М.Г., Голубков Л.Н., Трофименко Ю.В. Применение интегрированного расчетно-экспериментального комплекса для разработки и доводки рабочих процессов дизеля с аккумуляторной топливной системой // Двигателестроение. – 2022. – № 1 (287). – С. 32–44.

172. Kuin' N.T., Dunin A.Y., Akhmetzhanova E.U., Golubkov L.N., Bogdanov S.N. Replacement of diesel fuel by hydrogen-based fuel // Russian Engineering Research. – 2022. – Т. 42. – № 2. – С. 182–184.

173. Дунин А.Ю. и др. Улучшение энергетических и экологических показателей дизельного ДВС путем применения водородосодержащей добавки // Известия МГТУ МАМИ. – 2022. – Т. 16. – № 2. – С. 125–133.

174. Голубков Л.Н., Шатров М.Г., Дунин А.Ю. Опыт создания топливных систем для подачи диметилового эфира в камеру сгорания дизеля // В сб.: 9-ые Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса: сборник докладов Международной научно-технической конференции. – М., 2021. – С. 83–99.

175. Quynh N.T., Shatrov M.G., Golubkov L.N., Dunin A.Y., Dushkin P.V. Influence of injection pressure and pressure oscillation and on the rate of fuel outflow from the sprayer of an electrohydraulic diesel nozzle // В сб.: 2021 Wave Electronics and its Application in Information and Telecommunication Systems, WECONF, 2021 – Conference Proceedings. – 2021. – С. 9470538.

176. Глазков Ю.Е., Глазкова М.М. Анализ особенностей эксплуатации двигателей транспортных средств на различных видах биотоплива // Тенденции развития науки и образования. – 2020. – № 67-2. – С. 27–30.

177. Илюшин Д.Н., Курапин А.В., Салыкин Е.А., Федянов Е.А. Определение сжимаемости смесей дизельного топлива с пальмовым маслом // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2023. – № 1 (35). – С. 21 - 29.

178. Илюшин Д.Н., Салыкин Е.А., Сафаров Э.Г., Федянов Е.А. Влияние добавок водорода на показатели двигателя, работающего на сжиженном углеводородном газе // Автомобиль. Дорога. Инфраструктура. – 2023. – № 1 (35). – С. 35 - 42

179. Дудников Р.Д., Левин Ю.В., Федянов Е.А. Влияние добавок синтез-газа на полноту сгорания топлива в бензиновом роторно-поршневом двигателе // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт. – 2023. – № 1 (42). – С. 40–43.

180. Захаров Е.А., Сафаров Э.Г., Федянов Е.А. Влияние добавок синтез-газа к пропан-бутану на показатели автомобильного ДВС // В сб.: 9-е Луканинские чтения. Проблемы и перспективы развития автотранспортного комплекса: сборник докладов Международной научно-технической конференции. – М., 2021. – С. 177–185.

181. Агеев Е.С., Федянов Е.А. Совершенствование дизельных двигателей путем улучшения характеристик топливоподачи // В сб.: Advances in Science and Technology: сборник статей XLI Международной научно-практической конференции. – М., 2021. – С. 33–34.

182. Fedyanov E.A., Levin Y.V., Itkis E.M., Prikhodkov K.V. Use of phased supply of hydrogen additives for improvement of the ecological characteristics of the

wankel rotary engine // В сб.: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. III International Scientific Conference. – Krasnoyarsk, 2021. – С. 12077.

183. Федянов Е.А., Левин Ю.В., Шумский С.Н. Влияние малых добавок водорода на показатели роторно-поршневого двигателя, работающего на обедненных топливовоздушных смесях // Двигателестроение. – 2021. – № 2 (284). – С. 15–19.

184. Кадиата Ч.Э., Федянов Е.А. Эффективность использования дизельного топлива с добавками пальмового масла в сельскохозяйственной мобильной технике // В сб.: Актуальные вопросы совершенствования технической эксплуатации мобильной техники: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры технической эксплуатации транспорта. – 2020. – С. 201–206.

185. Levin Y.V., Prikhodkov K.V., Fedyanov E.A. Influence of hydrogen additives on cycle-to-cycle variability of working process of rotary engine // В сб.: Proceedings of the 5th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2019). Conference proceedings ICIE 2019. Сер. "Lecture Notes in Mechanical Engineering" Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "South Ural State University" (national research university), Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education «Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI)». – 2020. – С. 617–624.

186. Gaidar S.M., Nizamov R.K., Golubev M.I. Conception of corrosion inhibiting factors creation with the usage of nanotechnological approach // Scientific Israel – Technological Advantages. – 2012. – Т. 14. – № 2-3. – С. 92–95.

187. Гайдар С.М., Быкова Е.В. Применение наномодификатора в качестве эмульгирующей добавки для органоразбавляемых лакокрасочных материалов // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 4. – С. 39–40.

188. *Oko-Vielstoffmotor* // *Antriebtechnik*. – 1991. – Jg. 30. – № 9. – S. 95.

189. *Rapsol ist grundsätzlich als Ersatz für Dieselkraftstoff geeignet* // *BMT: Baumaschinen Technik*. – 1992. – Jg. 39. – № 1. – S. 34. – Нем.

190. Neues Motorenkonzept // Deutsche Maschinenwelt. – 1992. – Jg. 69. – № 4. – S. 20. – Нем.

191. Volkswagen testet Rapsol-Diesel // Steinbruch und Sandgrube. – 1992. – Jg. 85. – № 6. – S. 472. – Нем.

192. Hemmerlein N., Korte V., Richter H., Schroder G., Performance Exhaust Emissions and Durability of Modern Diesel Engines Running on Rapeseed Oil // SAE Technical Paper Series. – 1991. – № 910848. – P. 1-16. – АНГЛ.

193. Pak M., Alexi A., Kaltgepresstes Rapsol im Test // Landtechnik. – 1992. – Jg. 47. – № 7/8. – S. 372-374. – Нем.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Патент на полезную модель № 131420

«Устройство для подогрева топлива дизельных двигателей»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 131420

**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДОГРЕВА ТОПЛИВА ДИЗЕЛЬНЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ**

Патентообладатель(ли): *Руденко Иван Иванович (RU)*

Автор(ы): *Панферов Виталий Иванович (RU), Руденко Иван
Иванович (RU), Шамарин Юрий Алексеевич (RU)*

Заявка № 2012153698

Приоритет полезной модели 12 декабря 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных
моделей Российской Федерации 20 августа 2013 г.

Срок действия патента истекает 12 декабря 2022 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.П. Симонов



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** (11) **131 420** (13) **U1**

(51) МПК
F02M 31/125 (2006.01)
F02M 37/14 (2006.01)

(12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012153698/06, 12.12.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
12.12.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 12.12.2012

(45) Опубликовано: 20.08.2013 Бюл. № 23

Адрес для переписки:

143007, Московская обл., г. Одинцово, ул.
Ново-Спортивная, 4, кв.40, В.М. Короткому

(72) Автор(ы):

Панферов Виталий Иванович (RU),
Руденко Иван Иванович (RU),
Шамарин Юрий Алексеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Руденко Иван Иванович (RU)

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДОГРЕВА ТОПЛИВА ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

(57) Формула полезной модели

1. Устройство для подогрева топлива дизельных двигателей, содержащее проточный электрический нагреватель топлива, установленный перед входом фильтра тонкой очистки, и блок управления, отличающееся тем, что между выходом проточного электрического нагревателя топлива и входом фильтра тонкой очистки в тепловом контакте с ними размещен термоэлектрический выключатель с рабочим элементом в виде биметаллической пластины, выполненный с возможностью разрыва электрической цепи указанного нагревателя при подогреве топлива до максимально допустимой рабочей температуры и соединения электрической цепи при охлаждении топлива до минимально допустимой рабочей температуры, причем термоэлектрический выключатель подключен к электрической цепи проточного электрического нагревателя напрямую или через блок управления.

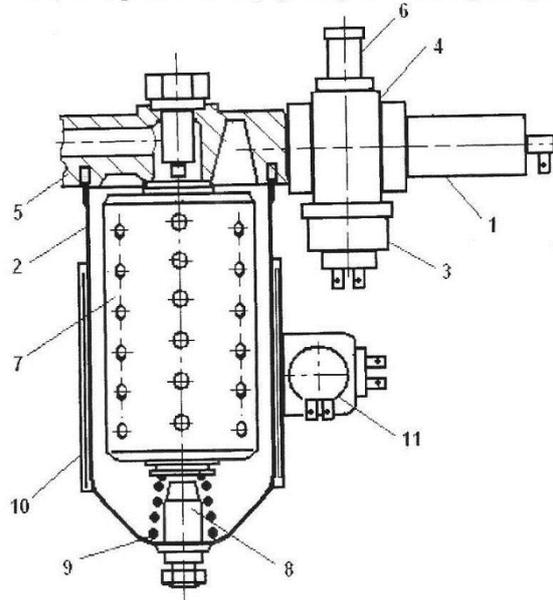
2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что установленный перед входом фильтра тонкой очистки термоэлектрический выключатель выполнен с возможностью разрыва электрической цепи указанного нагревателя при подогреве топлива до температуры +75°C и соединения электрической цепи при охлаждении топлива до температуры +65°C.

3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что биметаллическая пластина рабочего элемента термоэлектрического выключателя выполнена в форме тарелки, кинематически связанной с подвижным контактным элементом выключателя, а выводы неподвижных контактов выключателя подключены в разрыв электрической цепи проточного электрического нагревателя.

4. Устройство по п.1, отличающееся тем, что биметаллическая пластина рабочего элемента термоэлектрического выключателя выполнена в форме пластины, кинематически связанной с подвижным контактным элементом выключателя, а

слаботочные выводы его неподвижных контактов подключены к входу блока управления питанием проточного электрического нагревателя.

5. Устройство по п.1, отличающееся тем, что содержит дополнительный ленточный электрический нагреватель, размещенный коаксиально фильтру тонкой очистки, выполненный в виде разрезного хомута с возможностью изменения своего диаметра и снабженный дополнительным термоэлектрическим выключателем, находящимся в тепловом контакте с цилиндрическим корпусом указанного фильтра.



RU 1 3 1 4 2 0 U 1

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Патент на полезную модель № 129564

«Устройство для подогрева смешанного топлива»

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

**ПАТЕНТ**

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 129564

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДОГРЕВА СМЕШАННОГО ТОПЛИВА

Патентообладатель(ли): *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский государственный университет леса" (RU)*

Автор(ы): *см. на обороте*

Заявка № 2012155533

Приоритет полезной модели 21 декабря 2012 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 27 июня 2013 г.

Срок действия патента истекает 21 декабря 2022 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Б.И. Симонов



Автор(ы): *Панферов Виталий Иванович (RU), Голубев Иван Григорьевич (RU), Руденко Иван Иванович (RU)*

ПО И

12

12

12

П

12

U I

12

12

12

RU

12

12

12

12

12

12

12

12

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** (11) **129 564** (13) **U1**
(51) МПК
F02M 31/125 (2006.01)**ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(21) Заявка: 2012155533/06, 21.12.2012

(24) Дата начала отчета срока действия патента:
21.12.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.12.2012

(45) Опубликовано: 27.06.2013 Бюл. № 18

Адрес для переписки:

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, 1-я
Институтская ул., 1, патентный отдел

(72) Автор(ы):

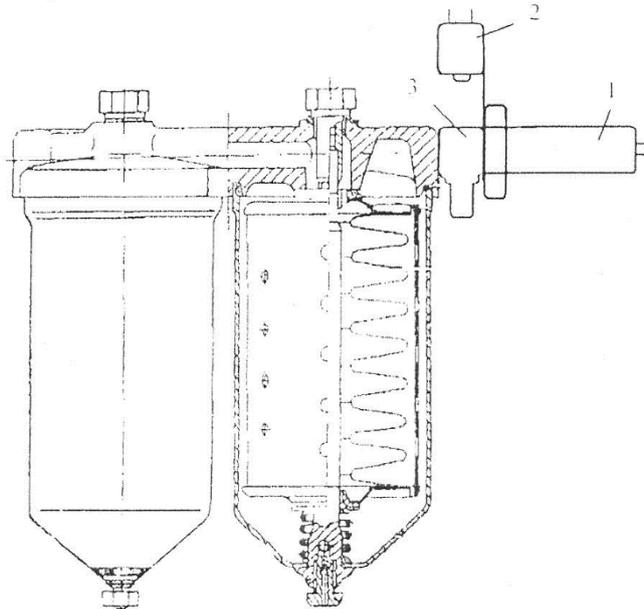
Панферов Виталий Иванович (RU),
Голубев Иван Григорьевич (RU),
Руденко Иван Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Московский государственный университет
леса" (RU)**УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОДОГРЕВА СМЕСЕВОГО ТОПЛИВА**

(57) Формула полезной модели

Устройство для подогрева смешанного топлива, включающее электрический нагреватель, отличающееся тем, что устройство дополнительно снабжено электрическим термостатом.



Стр. 1

RU 129564 U1

RU 129564 U1

ПРИЛОЖЕНИЕ В**Акты испытания дизельных двигателей на смесевом топливе**

УТВЕРЖДАЮ

Председатель СПК «Волжский»

Волгоградская область

Быковецкий р-он с. Кислово

Привалов В.М.

20 апреля 2011 г.



Акт испытания дизелей
на смесевом топливе

С 2009 по 2011 гг в СПК Волжский использовалось смесевое топливо следующих составов №1(70%ДТ : 30%РМ), №2(50%ДТ : 50%РМ), №3(30%ДТ : 70%РМ), для дизелей, установленных на автомобиле КАМАЗ-740.

В результате испытаний установлено, что при пробеге 8000 км у дизелей на смесевом топливе состава №1 не обнаружено отказов топливной системы. При работе на составе №2 вышли из строя фильтры тонкой очистки при пробеге 8000 км. При работе на составе №3 при пробеге 7000 км было обнаружено закоксовывание соплового отверстия форсунки. Использование смесевое топлива позволяет также снизить СО, СН и дымность дизелей на 27% по сравнению с товарным топливом.



от СПК «Волжский»

механик

Петрунин А.Я.

Зав. отделом

технического сервиса

ФГНУ «Росинформагротех»

д.т.н., профессор

И.Г. Голубев

ответственный исполнитель

аспирант

И.И. Руденко

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Акты использования результатов исследований



Акт
 Об использовании результатов исследований
 Ивана Ивановича Руденко

Комиссия в составе:
 председатель Мухин А.В., члены комиссии: Отдельнова А.В. Шадров Д.М.

составили настоящий акт о том, что результаты исследований Руденко И.И. использованы в ООО "АвтоПартнер-Сервис" при техническом обслуживании и ремонте автомобилей КАМАЗ эксплуатирующихся на смесевом топливе позволили:

- компенсировать уменьшение ресурса топливного фильтра, работающего на смесевом топливе, за счет пересмотра периодичности замены фильтрующего элемента;
- добавить ряд операций по ТО топливных систем дизелей с целью недопущения закоксовывания соплового отверстия форсунок и преждевременного выхода из строя топливного насоса;
- повысить работоспособность топливной системы, в том числе в зимний период путем установки в топливный фильтр устройства для подогрева биотоплива.

В целом, применения рекомендаций И.И. Руденко позволяет сократить количество отказов элементов топливной системы и повысить безотказность машин, работающих на биотопливе с использованием рапсового масла при их эксплуатации.

Председатель:
 Заместитель директора по техническим вопросам _____ А.В. Мухин

Члены комиссии:
 Заместитель директора по финансовым вопросам _____ А.В. Отдельнова

Мастер приемщик _____ Д.М. Шадров

к.т.н., доцент кафедры технический сервис машин и оборудования
 ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева _____ В.М. Корнеев

соискатель кафедры технический сервис машин и оборудования
 ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева _____ И.И. Руденко

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор
АО "ЗЕЛЕНОГРАДСКОЕ"

Ю.Е. Валецкий

21 сентября 2022 г.



Акт

Об использовании результатов исследований
Ивана Ивановича Руденко

Результаты диссертационной работы И.И. Руденко, а именно рекомендации по смесевому составу биотоплива с использованием рапсового масла в пропорции 75% дизельного топлива и 25% рапсового масла и периодичности обслуживания деталей топливной системы при использовании биотоплива, позволило сократить затраты на эксплуатацию машин, увеличить ресурс двигателя и получить годовой экономический эффект в размере 787 693 рубля.

Члены комиссии:

Главный инженер


 _____ Э.Н. Чистяков

Заместитель директора по экономике


 _____ Г.В. Илюшина

Инженер механик


 _____ А.А. Логинов

к.т.н., доцент кафедры
технический сервис машин
и оборудования
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева


 _____ В.М. Корнеев

соискатель кафедры
технический сервис машин
и оборудования
ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА
имени К.А. Тимирязева


 _____ И.И. Руденко

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ – МСХА
имени К.А.ТИМИРЯЗЕВА»

(ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

Тимирязевская ул., д. 49, Москва, 127434

Тел.: (499) 9760480

E-mail: info@rgau-msha.ru http://www.timacad.ru

ОКПО 00492931, ОГРН 1037739630697

ИНН/КПП 7713080682/771301001

В диссертационный совет

35.2.030.03

260723 № 02-15/181
На № _____ от _____

СПРАВКА

Дана Руденко Ивану Ивановичу в том, что результаты его исследований в области повышения работоспособности топливной системы дизельных двигателей транспортно-технологических машин, в том числе на биотопливе, используются в учебном процессе на профильных (выпускающих) кафедрах института механики и энергетики имени В.П. Горячкина.

Проректор по учебной работе



Е.В. Хохлова

И.о. директора института
Механики и энергетики
им. В.П. Горячкина

Е.П. Парлюк

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Распределение переменных

Критерии нормального распределения

	Колмогорова-Смирнова ^a			Критерий Шапиро-Уилка		
	Статистика	ст.св.	Значимость	Статистика	ст.св.	Значимость
Вязкость ДТ без подогрева	,360	20	,000	,784	20	,001
Вязкость ДТ с подогревом до 70°C	,492	20	,000	,425	20	,000
Вязкость 25 % РМ без подогрева	,350	20	,000	,779	20	,000
Вязкость 25 % РМ с подогревом до 70°C	,307	20	,000	,877	20	,015
Вязкость 50 % РМ без подогрева	,336	20	,000	,798	20	,001
Вязкость 50 % РМ с подогревом до 70°C	,338	20	,000	,801	20	,001
Вязкость 75 % РМ без подогрева	,254	20	,002	,906	20	,054
Вязкость 75 % РМ с подогревом до 70°C	,339	20	,000	,693	20	,000
Вязкость РМ без подогрева	,272	20	,000	,804	20	,001
Вязкость РМ с подогревом до 70°C	,496	20	,000	,441	20	,000
Плотность ДТ без подогрева	,400	20	,000	,632	20	,000
Плотность ДТ с подогревом до 70°C	,499	20	,000	,447	20	,000
Плотность 25 % РМ без подогрева	,450	20	,000	,545	20	,000

Плотность 25 % РМ с подогревом до 70°C	,450	20	,000	,545	20	,000
Плотность 50 % РМ без подогрева	,433	20	,000	,613	20	,000
Плотность 50 % РМ с подогревом до 70°C	,450	20	,000	,448	20	,000
Плотность 75 % РМ без подогрева	,450	20	,000	,448	20	,000
Плотность 75 % РМ с подогревом до 70°C	,438	20	,000	,611	20	,000
Плотность РМ без подогрева	,400	20	,000	,644	20	,000
Плотность РМ с подогревом до 70°C	,350	20	,000	,736	20	,000
Давление ДТ без подогрева	,327	20	,000	,828	20	,002
Давление ДТ с подогревом до 70°C	,427	20	,000	,676	20	,000
Давление 25 % РМ без подогрева	,353	20	,000	,724	20	,000
Давление 25 % РМ с подогревом до 70°C	,363	20	,000	,790	20	,001
Давление 50 % РМ без подогрева	,436	20	,000	,634	20	,000
Давление 50 % РМ с подогревом до 70°C	,287	20	,000	,863	20	,009
Давление 75 % РМ без подогрева	,371	20	,000	,687	20	,000
Давление 75 % РМ с подогревом до 70°C	,449	20	,000	,578	20	,000
Давление РМ без подогрева	,352	20	,000	,781	20	,000

Давление РМ с подогревом до 70°C	,303	20	,000	,850	20	,005
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). Новый фильтр	,233	20	,006	,878	20	,016
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). ДТ	,275	20	,000	,890	20	,027
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 25 % РМ	,330	20	,000	,818	20	,002
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 50 % РМ	,357	20	,000	,784	20	,001
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 75 % РМ	,255	20	,001	,874	20	,014
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 100 % РМ	,300	20	,000	,847	20	,005
Длительность подачи топлива. ДТ 600 об. мин	,326	20	,000	,817	20	,002
Длительность подачи топлива. ДТ 2000 об. мин	,458	20	,000	,348	20	,000
Длительность подачи топлива. 25 % РМ 600 об. мин	,324	20	,000	,796	20	,001
Длительность подачи топлива. 25 % РМ 2000 об. мин	,282	20	,000	,857	20	,007

Длительность подачи топлива. 50 % РМ 600 об. мин	,324	20	,000	,796	20	,001
Длительность подачи топлива. 50 % РМ 2000 об. мин	,433	20	,000	,613	20	,000
Длительность подачи топлива. 75 % РМ 600 об. мин	,476	20	,000	,515	20	,000
Длительность подачи топлива. 75 % РМ 2000 об. мин	,376	20	,000	,712	20	,000
Максимальное давление впрыска топлива. ДТ 600 об. мин	,301	20	,000	,821	20	,002
Максимальное давление впрыска топлива. ДТ 2000 об. мин	.	20	.	.	20	.
Максимальное давление впрыска топлива. 25 % РМ 600 об. мин	,298	20	,000	,813	20	,001
Максимальное давление впрыска топлива. 25 % РМ 2000 об. мин	,376	20	,000	,786	20	,001
Максимальное давление впрыска топлива. 50 % РМ 600 об. мин	,361	20	,000	,745	20	,000

Максимальное давление впрыска топлива. 50 % РМ 2000 об. мин	,326	20	,000	,819	20	,002
Максимальное давление впрыска топлива. 75 % РМ 600 об. мин	,352	20	,000	,791	20	,001
Максимальное давление впрыска топлива. 75 % РМ 2000 об. мин	,436	20	,000	,634	20	,000
Давление начала впрыска форсунки. ДТ без подогрева	,303	20	,000	,850	20	,005
Давление начала впрыска форсунки. ДТ с подогревом до 70°C	,345	20	,000	,812	20	,001
Давление начала впрыска форсунки. 25 % РМ без подогрева	,384	20	,000	,672	20	,000
Давление начала впрыска форсунки. 25 % РМ с подогревом до 70°C	,388	20	,000	,757	20	,000
Давление начала впрыска форсунки. 50 % РМ без подогрева	,363	20	,000	,768	20	,000
Давление начала впрыска форсунки. 50 % РМ с подогревом до 70°C	,332	20	,000	,833	20	,003

Давление начала впрыска форсунки. 75 % РМ без подогрева	,375	20	,000	,775	20	,000
Давление начала впрыска форсунки. 75 % РМ с подогревом до 70°C	,424	20	,000	,632	20	,000
Давление начала впрыска форсунки. РМ без подогрева	,382	20	,000	,679	20	,000
Давление начала впрыска форсунки. РМ с подогревом до 70°C	,301	20	,000	,822	20	,002
Концентрация. ДТ (СО) оксид углерода	,436	20	,000	,634	20	,000
Концентрация. ДТ (СН) углеводород	,457	20	,000	,480	20	,000
Концентрация. ДТ (Ns) дымность в режиме свободного ускорения двигателя	,458	20	,000	,484	20	,000
Концентрация. ДТ (Nm) дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя	,336	20	,000	,699	20	,000
Концентрация. 25 % РМ (СО) оксид углерода	,412	20	,000	,690	20	,000
Концентрация. 25 % РМ (СН) углеводород	,451	20	,000	,609	20	,000

Концентрация. 25 % PM (Ns) дымность в режиме свободного ускорения двигателя	,405	20	,000	,596	20	,000
Концентрация. 25 % PM (Nm) дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя	,420	20	,000	,627	20	,000
Концентрация. 50 % PM (CO) оксид углерода	,412	20	,000	,690	20	,000
Концентрация. 50 % PM (CH) углеводород	,450	20	,000	,545	20	,000
Концентрация. 50 % PM (Ns) дымность в режиме свободного ускорения двигателя	,365	20	,000	,762	20	,000
Концентрация. 50 % PM (Nm) дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя	,394	20	,000	,669	20	,000
Концентрация. 75 % PM (CO) оксид углерода	,449	20	,000	,578	20	,000
Концентрация. 75 % PM (CH) углеводород	,481	20	,000	,506	20	,000
Концентрация. 75 % PM (Ns) дымность в режиме свободного ускорения двигателя	,409	20	,000	,613	20	,000

Концентрация. 75 % PM (Nm) дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя	,382	20	,000	,684	20	,000
ДТ, ток, потребляемый стартером в момент пуска	,261	20	,001	,830	20	,002
ДТ, напряжение АКБ в момент пуска	,520	20	,000	,354	20	,000
25 % PM, ток, потребляемый стартером в момент пуска	,281	20	,000	,852	20	,006
25 % PM, напряжение АКБ в момент пуска	,425	20	,000	,635	20	,000
50 % PM, ток, потребляемый стартером в момент пуска	,313	20	,000	,820	20	,002
50 % PM, напряжение АКБ в момент пуска	,332	20	,000	,810	20	,001
75 % PM, ток, потребляемый стартером в момент пуска	,180	20	,091	,847	20	,005
75 % PM, напряжение АКБ в момент пуска	,394	20	,000	,737	20	,000
Мощность двигателя (л.с.). ДТ без подогрева	.	20	.	.	20	.
Мощность двигателя (л.с.). ДТ с подогревом до 70°C	.	20	.	.	20	.

Мощность двигателя (л.с.). 25 % РМ без подогрева	.	20	.	.	20	.
Мощность двигателя (л.с.). 25 % РМ с подогревом до 70°C	.	20	.	.	20	.
Мощность двигателя (л.с.). 50 % РМ без подогрева	.	20	.	.	20	.
Мощность двигателя (л.с.). 50 % РМ с подогревом до 70°C	.	20	.	.	20	.
Мощность двигателя (л.с.). 75 % РМ без подогрева	.	20	.	.	20	.
Мощность двигателя (л.с.). 75 % РМ с подогревом до 70°C	.	20	.	.	20	.
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. ДТ 600 об. мин	,272	20	,000	,897	20	,036
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. ДТ 2000 об. мин	,284	20	,000	,843	20	,004
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 25 % РМ 600 об. мин	,345	20	,000	,707	20	,000

Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 25 % РМ 2000 об. мин	,255	20	,001	,812	20	,001
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 50 % РМ 600 об. мин	,300	20	,000	,724	20	,000
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 50 % РМ 2000 об. мин	,237	20	,004	,877	20	,016
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 75 % РМ 600 об. мин	,329	20	,000	,834	20	,003
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 75 % РМ 2000 об. мин	,213	20	,018	,943	20	,270

а. Коррекция значимости Лильефорса

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Различие в давлении в зависимости от вида топлива

Ранги

		N	Средний ранг	Сумма рангов
ДТ после фильтра – ДТ до фильтра	Отрицательные ранги	20 ^a	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^b	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^c		
	Всего	20		
25 % РМ после фильтра – 25 % РМ до фильтра	Отрицательные ранги	20 ^d	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^e	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^f		
	Всего	20		
50 % РМ после фильтра – 50 % РМ до фильтра	Отрицательные ранги	20 ^g	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^h	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ⁱ		
	Всего	20		
75 % РМ после фильтра – 75 % РМ до фильтра	Отрицательные ранги	20 ^j	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^k	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^l		
	Всего	20		
РМ после фильтра – РМ до фильтра	Отрицательные ранги	20 ^m	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ⁿ	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^o		
	Всего	20		

a. ДТ после фильтра < ДТ до фильтра

b. ДТ после фильтра > ДТ до фильтра

c. ДТ после фильтра = ДТ до фильтра

d. 25 % РМ после фильтра < 25 % РМ до фильтра

- e. 25 % РМ после фильтра > 25 % РМ до фильтра
- f. 25 % РМ после фильтра = 25 % РМ до фильтра
- g. 50 % РМ после фильтра < 50 % РМ до фильтра
- h. 50 % РМ после фильтра > 50 % РМ до фильтра
- i. 50 % РМ после фильтра = 50 % РМ до фильтра
- j. 75 % РМ после фильтра < 75 % РМ до фильтра
- k. 75 % РМ после фильтра > 75 % РМ до фильтра
- l. 75 % РМ после фильтра = 75 % РМ до фильтра
- m. РМ после фильтра < РМ до фильтра
- n. РМ после фильтра > РМ до фильтра
- o. РМ после фильтра = РМ до фильтра

Статистические критерии^а

	ДТ после фильтра – ДТ до фильтра	25 % РМ после фильтра – 25 % РМ до фильтра	50 % РМ после фильтра – 50 % РМ до фильтра	75 % РМ после фильтра – 75 % РМ до фильтра	РМ после фильтра – РМ до фильтра
Z	-3,963 ^b	-4,000 ^b	-4,023 ^b	-3,998 ^b	-3,979 ^b
Асимп. знач. (двухсторонняя)	,000	,000	,000	,000	,000

а. Критерий знаковых рангов Вилкоксона

б. На основе положительных рангов

Описательные статистики

			Статистика	Стандартная ошибка
ДТ до фильтра	Среднее		4,175	,0239
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	4,125	
		Верхняя граница	4,225	
ДТ после фильтра	Среднее		1,595	,0246
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	1,544	
		Верхняя граница	1,646	
25 % РМ до фильтра	Среднее		6,290	,0261
		Нижняя граница	6,235	

	95 % Доверительный интервал для среднего	Верхняя граница	6,345	
25 % РМ после фильтра	Среднее		2,135	,0342
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	2,063	
		Верхняя граница	2,207	
50 % РМ до фильтра	Среднее		7,825	,0369
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	7,748	
		Верхняя граница	7,902	
50 % РМ после фильтра	Среднее		2,940	,0303
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	2,877	
		Верхняя граница	3,003	
75 % РМ до фильтра	Среднее		10,030	,0371
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	9,952	
		Верхняя граница	10,108	
75 % РМ после фильтра	Среднее		3,750	,0256
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	3,696	
		Верхняя граница	3,804	
РМ до фильтра	Среднее		15,755	,0266
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	15,699	
		Верхняя граница	15,811	
РМ после фильтра	Среднее		5,265	,0310
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	5,200	
		Верхняя граница	5,330	

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Вязкость различных видов топлива в зависимости от температуры

Ранги

		N	Средний ранг	Сумма рангов
Вязкость ДТ с подогревом до 70°C –	Отрицательные ранги	20 ^a	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^b	,00	,00
Вязкость ДТ без подогрева	Совпадающие наблюдения	0 ^c		
	Всего	20		
	Отрицательные ранги	20 ^d	10,50	210,00
Вязкость 25 % РМ с подогревом до 70°C –	Положительные ранги	0 ^e	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^f		
Вязкость 25 % РМ без подогрева	Всего	20		
	Отрицательные ранги	20 ^g	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^h	,00	,00
Вязкость 50 % РМ с подогревом до 70°C –	Совпадающие наблюдения	0 ⁱ		
	Всего	20		
Вязкость 50 % РМ без подогрева	Отрицательные ранги	20 ^j	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^k	,00	,00
Вязкость 75 % РМ с подогревом до 70°C –	Совпадающие наблюдения	0 ^l		
	Всего	20		
	Отрицательные ранги	20 ^m	10,50	210,00
Вязкость 75 % РМ без подогрева	Положительные ранги	0 ⁿ	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^o		
Вязкость РМ с подогревом до 70°C –	Всего	20		
	Отрицательные ранги	20 ^m	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ⁿ	,00	,00
Вязкость РМ без подогрева	Совпадающие наблюдения	0 ^o		
	Всего	20		

a. Вязкость ДТ с подогревом до 70°C < Вязкость ДТ без подогрева

b. Вязкость ДТ с подогревом до 70°C > Вязкость ДТ без подогрева

c. Вязкость ДТ с подогревом до 70°C = Вязкость ДТ без подогрева

d. Вязкость 25 % РМ с подогревом до 70°C < Вязкость 25 % РМ без подогрева

- e. Вязкость 25 % РМ с подогревом до 70°C > Вязкость 25 % РМ без подогрева
 f. Вязкость 25 % РМ с подогревом до 70°C = Вязкость 25 % РМ без подогрева
 g. Вязкость 50 % РМ с подогревом до 70°C < Вязкость 50 % РМ без подогрева
 h. Вязкость 50 % РМ с подогревом до 70°C > Вязкость 50 % РМ без подогрева
 i. Вязкость 50 % РМ с подогревом до 70°C = Вязкость 50 % РМ без подогрева
 j. Вязкость 75 % РМ с подогревом до 70°C < Вязкость 75 % РМ без подогрева
 k. Вязкость 75 % РМ с подогревом до 70°C > Вязкость 75 % РМ без подогрева
 l. Вязкость 75 % РМ с подогревом до 70°C = Вязкость 75 % РМ без подогрева
 m. Вязкость РМ с подогревом до 70°C < Вязкость РМ без подогрева
 n. Вязкость РМ с подогревом до 70°C > Вязкость РМ без подогрева
 o. Вязкость РМ с подогревом до 70°C = Вязкость РМ без подогрева

Статистические критерии^a

	Вязкость ДТ с подогревом до 70°C – Вязкость ДТ без подогрева	Вязкость 25 % РМ с подогревом до 70°C – Вязкость 25 % РМ без подогрева	Вязкость 50 % РМ с подогревом до 70°C – Вязкость 50 % РМ без подогрева	Вязкость 75 % РМ с подогревом до 70°C – Вязкость 75 % РМ без подогрева	Вязкость РМ с подогревом до 70°C – Вязкость РМ без подогрева
Z	-4,025 ^b	-3,952 ^b	-3,951 ^b	-3,931 ^b	-3,963 ^b
Асимп. знач. (двухсторонняя)	,000	,000	,000	,000	,000

a. Критерий знаковых рангов Вилкоксона

b. На основе положительных рангов.

Описательные статистики

		Статистика	Стандартная ошибка
Вязкость ДТ без подогрева	Среднее	5,980	,0296
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	5,918
		Верхняя граница	6,042
	Среднее	3,040	,0245

Вязкость ДТ с подогревом до 70°C	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	2,989	
		Верхняя граница	3,091	
Вязкость 25 % РМ без подогрева	Среднее		9,035	,0310
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	8,970	
		Верхняя граница	9,100	
Вязкость 25 % РМ с подогревом до 70°C	Среднее		5,115	,0310
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	5,050	
		Верхняя граница	5,180	
Вязкость 50 % РМ без подогрева	Среднее		20,725	,1267
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	20,460	
		Верхняя граница	20,990	
Вязкость 50 % РМ с подогревом до 70°C	Среднее		8,090	,0315
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	8,024	
		Верхняя граница	8,156	
Вязкость 75 % РМ без подогрева	Среднее		38,060	,0455
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	37,965	
		Верхняя граница	38,155	
Вязкость 75 % РМ с подогревом до 70°C	Среднее		13,075	,0339
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	13,004	
		Верхняя граница	13,146	
Вязкость РМ без подогрева	Среднее		73,870	,0493
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	73,767	
		Верхняя граница	73,973	
Вязкость РМ с подогревом до 70°C	Среднее		17,030	,0179
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	16,992	
		Верхняя граница	17,068	

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Плотность различных видов топлива в зависимости от температуры

Ранги

		N	Средний ранг	Сумма рангов
Плотность ДТ с подогревом до 70°C – Плотность ДТ без подогрева	Отрицательные ранги	20 ^a	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^b	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^c		
	Всего	20		
Плотность 25 % РМ с подогревом до 70°C – Плотность 25 % РМ без подогрева	Отрицательные ранги	20 ^d	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^e	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^f		
	Всего	20		
Плотность 50 % РМ с подогревом до 70°C – Плотность 50 % РМ без подогрева	Отрицательные ранги	20 ^g	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^h	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ⁱ		
	Всего	20		
Плотность 75 % РМ с подогревом до 70°C – Плотность 75 % РМ без подогрева	Отрицательные ранги	20 ^j	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^k	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^l		
	Всего	20		
Плотность РМ с подогревом до 70°C – Плотность РМ без подогрева	Отрицательные ранги	20 ^m	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ⁿ	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^o		
	Всего	20		

a. Плотность ДТ с подогревом до 70°C < Плотность ДТ без подогрева

b. Плотность ДТ с подогревом до 70°C > Плотность ДТ без подогрева

c. Плотность ДТ с подогревом до 70°C = Плотность ДТ без подогрева

d. Плотность 25 % РМ с подогревом до 70°C < Плотность 25 % РМ без подогрева

- е. Плотность 25 % РМ с подогревом до 70°C > Плотность 25 % РМ без подогрева
 ф. Плотность 25 % РМ с подогревом до 70°C = Плотность 25 % РМ без подогрева
 г. Плотность 50 % РМ с подогревом до 70°C < Плотность 50 % РМ без подогрева
 h. Плотность 50 % РМ с подогревом до 70°C > Плотность 50 % РМ без подогрева
 і. Плотность 50 % РМ с подогревом до 70°C = Плотность 50 % РМ без подогрева
 j. Плотность 75 % РМ с подогревом до 70°C < Плотность 75 % РМ без подогрева
 к. Плотность 75 % РМ с подогревом до 70°C > Плотность 75 % РМ без подогрева
 l. Плотность 75 % РМ с подогревом до 70°C = Плотность 75 % РМ без подогрева
 m. Плотность РМ с подогревом до 70°C < Плотность РМ без подогрева
 n. Плотность РМ с подогревом до 70°C > Плотность РМ без подогрева
 о. Плотность РМ с подогревом до 70°C = Плотность РМ без подогрева

Статистические критерии^а

	Плотность ДТ с подогревом до 70°C – Плотность ДТ без подогрева	Плотность 25 % РМ с подогревом до 70°C – Плотность 25 % РМ без подогрева	Плотность 50 % РМ с подогревом до 70°C – Плотность 50 % РМ без подогрева	Плотность 75 % РМ с подогревом до 70°C – Плотность 75 % РМ без подогрева	Плотность РМ с подогревом до 70°C – Плотность РМ без подогрева
Z	-4,128 ^b	-4,088 ^b	-4,087 ^b	-4,089 ^b	-4,127 ^b
Асимп. знач. (двухсторонняя)	,000	,000	,000	,000	,000

а. Критерий знаковых рангов Вилкоксона

б. На основе положительных рангов.

Описательные статистики

		Статистика	Стандартная ошибка
Плотность ДТ без подогрева	Среднее	860,000	,1026
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	859,785
		Верхняя граница	860,215
	Среднее	850,800	,1170

Плотность ДТ с подогревом до 70°C	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	850,555	
		Верхняя граница	851,045	
Плотность 25 % РМ без подогрева	Среднее		866,950	,0881
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	866,766	
		Верхняя граница	867,134	
Плотность 25 % РМ с подогревом до 70°C	Среднее		855,950	,0881
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	855,766	
		Верхняя граница	856,134	
Плотность 50 % РМ без подогрева	Среднее		875,050	,1352
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	874,767	
		Верхняя граница	875,333	
Плотность 50 % РМ с подогревом до 70°C	Среднее		861,000	,0725
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	860,848	
		Верхняя граница	861,152	
Плотность 75 % РМ без подогрева	Среднее		890,000	,0725
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	889,848	
		Верхняя граница	890,152	
Плотность 75 % РМ с подогревом до 70°C	Среднее		870,100	,1000
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	869,891	
		Верхняя граница	870,309	
Плотность РМ без подогрева	Среднее		915,000	,1622
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	914,660	
		Верхняя граница	915,340	
Плотность РМ с подогревом до 70°C	Среднее		881,000	,1257
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	880,737	
		Верхняя граница	881,263	

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Давление различных видов топлива в зависимости от температуры

Ранги

		N	Средний ранг	Сумма рангов
Давление ДТ с подогревом до 70°С –	Отрицательные ранги	20 ^a	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^b	,00	,00
Давление ДТ без подогрева	Совпадающие наблюдения	0 ^c		
	Всего	20		
Давление 25 % РМ с подогревом до 70°С –	Отрицательные ранги	20 ^d	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^e	,00	,00
Давление 25 % РМ без подогрева	Совпадающие наблюдения	0 ^f		
	Всего	20		
Давление 50 % РМ с подогревом до 70°С –	Отрицательные ранги	20 ^g	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^h	,00	,00
Давление 50 % РМ без подогрева	Совпадающие наблюдения	0 ⁱ		
	Всего	20		
Давление 75 % РМ с подогревом до 70°С –	Отрицательные ранги	20 ^j	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^k	,00	,00
Давление 75 % РМ без подогрева	Совпадающие наблюдения	0 ^l		
	Всего	20		
Давление РМ с подогревом до 70°С –	Отрицательные ранги	20 ^m	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ⁿ	,00	,00
Давление РМ без подогрева	Совпадающие наблюдения	0 ^o		
	Всего	20		

a. Давление ДТ с подогревом до 70°С < Давление ДТ без подогрева

b. Давление ДТ с подогревом до 70°С > Давление ДТ без подогрева

c. Давление ДТ с подогревом до 70°С = Давление ДТ без подогрева

- d. Давление 25 % РМ с подогревом до 70°C < Давление 25 % РМ без подогрева
 e. Давление 25 % РМ с подогревом до 70°C > Давление 25 % РМ без подогрева
 f. Давление 25 % РМ с подогревом до 70°C = Давление 25 % РМ без подогрева
 g. Давление 50 % РМ с подогревом до 70°C < Давление 50 % РМ без подогрева
 h. Давление 50 % РМ с подогревом до 70°C > Давление 50 % РМ без подогрева
 i. Давление 50 % РМ с подогревом до 70°C = Давление 50 % РМ без подогрева
 j. Давление 75 % РМ с подогревом до 70°C < Давление 75 % РМ без подогрева
 k. Давление 75 % РМ с подогревом до 70°C > Давление 75 % РМ без подогрева
 l. Давление 75 % РМ с подогревом до 70°C = Давление 75 % РМ без подогрева
 m. Давление РМ с подогревом до 70°C < Давление РМ без подогрева
 n. Давление РМ с подогревом до 70°C > Давление РМ без подогрева
 o. Давление РМ с подогревом до 70°C = Давление РМ без подогрева

Статистические критерии^a

	Давление ДТ с подогревом до 70°C – Давление ДТ без подогрева	Давление 25 % РМ с подогревом до 70°C – Давление 25 % РМ без подогрева	Давление 50 % РМ с подогревом до 70°C – Давление 50 % РМ без подогрева	Давление 75 % РМ с подогревом до 70°C – Давление 75 % РМ без подогрева	Давление РМ с подогревом до 70°C – Давление РМ без подогрева
Z	-3,968 ^b	-3,979 ^b	-3,975 ^b	-3,968 ^b	-3,964 ^b
Асимп. знач. (двухсторонняя)	,000	,000	,000	,000	,000

a. Критерий знаковых рангов Вилкоксона

b. На основе положительных рангов.

Описательные статистики

			Статистика	Стандартная ошибка
Давление ДТ без подогрева	Среднее		2,470	,0206
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	2,427	
		Верхняя граница	2,513	
Давление ДТ с подогревом до 70°С	Среднее		,920	,0138
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	,891	
		Верхняя граница	,949	
Давление 25 % РМ без подогрева	Среднее		3,080	,0172
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	3,044	
		Верхняя граница	3,116	
Давление 25 % РМ с подогревом до 70°С	Среднее		1,620	,0156
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	1,587	
		Верхняя граница	1,653	
Давление 50 % РМ без подогрева	Среднее		4,270	,0193
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	4,230	
		Верхняя граница	4,310	
Давление 50 % РМ с подогревом до 70°С	Среднее		2,340	,0184
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	2,302	
		Верхняя граница	2,378	
Давление 75 % РМ без подогрева	Среднее		5,635	,0196
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	5,594	
		Верхняя граница	5,676	

Давление РМ с подогревом до 70°C	Среднее		2,935	,0150
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	2,904	
		Верхняя граница	2,966	
Давление РМ без подогрева	Среднее		6,850	,0286
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	6,790	
		Верхняя граница	6,910	
Давление РМ с подогревом до 70°C	Среднее		4,120	,0172
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	4,084	
		Верхняя граница	4,156	

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Различия в усилиях разрыва фильтрующей бумаги в зависимости от вида топлива

Описательные статистики

	N	Среднее	Среднекв. отклонения	Минимум	Максимум
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). Новый фильтр	20	80,200	,9515	79,0	82,0
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). ДТ	20	32,800	1,0563	31,0	35,0
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 25 % РМ	20	41,450	1,3563	40,0	45,0
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 50 % РМ	20	61,550	,8256	60,0	63,0
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 75 % РМ	20	77,300	1,3018	75,0	79,0
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 100 % РМ	20	90,600	1,1425	89,0	93,0

Ранги

	Средний ранг
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). Новый фильтр	5,00
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). ДТ	1,00
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 25 % РМ	2,00
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 50 % РМ	3,00
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 75 % РМ	4,00
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 100 % РМ	6,00

Статистические критерии^а

N	20
Chi-квадрат	100,000
ст.св.	5
Асимп. знач.	,000

а. Критерий Фридмана

Описательные статистики

		Статистика	Стандартная ошибка
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). Новый фильтр	Среднее	80,200	,2128
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	79,755
		Верхняя граница	80,645
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). ДТ	Среднее	32,800	,2362
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	32,306
		Верхняя граница	33,294
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 25 % РМ	Среднее	41,450	,3033
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	40,815
		Верхняя граница	42,085
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 50 % РМ	Среднее	61,550	,1846
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	61,164
		Верхняя граница	61,936
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 75 % РМ	Среднее	77,300	,2911
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	76,691
		Верхняя граница	77,909
Усилие разрыва фильтрующей бумаги (Н). 100 % РМ	Среднее	90,600	,2555
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	90,065
		Верхняя граница	91,135

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Различия в длительности подачи топлива в зависимости
от оборотов у различных видов топлива

Ранги

		N	Средний ранг	Сумма рангов
Длительность подачи топлива. ДТ 2000 об. мин – Длительность подачи топлива. ДТ 600 об. мин	Отрицательные ранги	0 ^a	,00	,00
	Положительные ранги	20 ^b	10,50	210,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^c		
	Всего	20		
Длительность подачи топлива. 25 % РМ 2000 об. мин – Длительность подачи топлива. 25 % РМ 600 об. мин	Отрицательные ранги	0 ^d	,00	,00
	Положительные ранги	20 ^e	10,50	210,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^f		
	Всего	20		
Длительность подачи топлива. 50 % РМ 2000 об. мин – Длительность подачи топлива. 50 % РМ 600 об. мин	Отрицательные ранги	0 ^g	,00	,00
	Положительные ранги	20 ^h	10,50	210,00
	Совпадающие наблюдения	0 ⁱ		
	Всего	20		
Длительность подачи топлива. 75 % РМ 2000 об. мин – Длительность подачи топлива. 75 % РМ 600 об. мин	Отрицательные ранги	0 ^j	,00	,00
	Положительные ранги	20 ^k	10,50	210,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^l		
	Всего	20		

a. Длительность подачи топлива. ДТ 2000 об. мин < Длительность подачи топлива. ДТ 600 об. мин

b. Длительность подачи топлива. ДТ 2000 об. мин > Длительность подачи топлива. ДТ 600 об. мин

c. Длительность подачи топлива. ДТ 2000 об. мин = Длительность подачи топлива. ДТ 600 об. мин

d. Длительность подачи топлива. 25 % РМ 2000 об. мин < Длительность подачи топлива. 25 % РМ 600 об. мин

- e. Длительность подачи топлива. 25 % РМ 2000 об. мин > Длительность подачи топлива. 25 % РМ 600 об. мин
- f. Длительность подачи топлива. 25 % РМ 2000 об. мин = Длительность подачи топлива. 25 % РМ 600 об. мин
- g. Длительность подачи топлива. 50 % РМ 2000 об. мин < Длительность подачи топлива. 50 % РМ 600 об. мин
- h. Длительность подачи топлива. 50 % РМ 2000 об. мин > Длительность подачи топлива. 50 % РМ 600 об. мин
- i. Длительность подачи топлива. 50 % РМ 2000 об. мин = Длительность подачи топлива. 50 % РМ 600 об. мин
- j. Длительность подачи топлива. 75 % РМ 2000 об. мин < Длительность подачи топлива. 75 % РМ 600 об. мин
- к. Длительность подачи топлива. 75 % РМ 2000 об. мин > Длительность подачи топлива. 75 % РМ 600 об. мин
- l. Длительность подачи топлива. 75 % РМ 2000 об. мин = Длительность подачи топлива. 75 % РМ 600 об. Мин

Статистические критерии^а

	Длительность подачи топлива. ДТ 2000 об. мин – Длительность подачи топлива. ДТ 600 об. мин	Длительность подачи топлива. 25 % РМ 2000 об. мин – Длительность подачи топлива. 25 % РМ 600 об. мин	Длительность подачи топлива. 50 % РМ 2000 об. мин – Длительность подачи топлива. 50 % РМ 600 об. мин	Длительность подачи топлива. 75 % РМ 2000 об. мин – Длительность подачи топлива. 75 % РМ 600 об. мин
Z	-3,953 ^b	-3,959 ^b	-4,025 ^b	-4,053 ^b
Асимп. знач. (двухсторонняя)	,000	,000	,000	,000

a. Критерий знаковых рангов Вилкоксона

b. На основе отрицательных рангов

Описательные статистики

			Статистика	Стандартная ошибка
Длительность подачи топлива. ДТ 600 об. мин	Среднее		2,305	,0170
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	2,269	
		Верхняя граница	2,341	
Длительность подачи топлива. ДТ 2000 об. мин	Среднее		3,570	,1079
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	3,344	
		Верхняя граница	3,796	
Длительность подачи топлива. 25 % РМ 600 об. мин	Среднее		2,295	,0170
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	2,259	
		Верхняя граница	2,331	
Длительность подачи топлива. 25 % РМ 2000 об. мин	Среднее		3,590	,0280
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	3,531	
		Верхняя граница	3,649	
Длительность подачи топлива. 50 % РМ 600 об. мин	Среднее		3,095	,0170
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	3,059	
		Верхняя граница	3,131	
Длительность подачи топлива. 50 % РМ 2000 об. мин	Среднее		4,105	,0135
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	4,077	
		Верхняя граница	4,133	
Длительность подачи топлива. 75 % РМ 600 об. мин	Среднее		3,870	,0147
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	3,839	
		Верхняя граница	3,901	
Длительность подачи топлива. 75 % РМ 2000 об. мин	Среднее		4,395	,0170
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	4,359	
		Верхняя граница	4,431	

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Различия в максимальном давлении впрыска топлива в зависимости от оборотов двигателя у различных видов топлива

Ранги

		N	Средний ранг	Сумма рангов
Максимальное давление впрыска топлива. ДТ 2000 об. мин – Максимальное давление впрыска топлива. ДТ 600 об. мин	Отрицательные ранги	0 ^a	,00	,00
	Положительные ранги	20 ^b	10,50	210,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^c		
	Всего	20		
Максимальное давление впрыска топлива. 25 % РМ 2000 об. мин – Максимальное давление впрыска топлива. 25 % РМ 600 об. мин	Отрицательные ранги	0 ^d	,00	,00
	Положительные ранги	20 ^e	10,50	210,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^f		
	Всего	20		
Максимальное давление впрыска топлива. 50 % РМ 2000 об. мин – Максимальное давление впрыска топлива. 50 % РМ 600 об. мин	Отрицательные ранги	0 ^g	,00	,00
	Положительные ранги	20 ^h	10,50	210,00
	Совпадающие наблюдения	0 ⁱ		
	Всего	20		
Максимальное давление впрыска топлива. 75 % РМ 2000 об. мин – Максимальное давление впрыска топлива. 75 % РМ 600 об. мин	Отрицательные ранги	0 ^j	,00	,00
	Положительные ранги	20 ^k	10,50	210,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^l		
	Всего	20		

a. Максимальное давление впрыска топлива. ДТ 2000 об. мин < Максимальное давление впрыска топлива. ДТ 600 об. мин

- b. Максимальное давление впрыска топлива. ДТ 2000 об. мин > Максимальное давление впрыска топлива. ДТ 600 об. мин
- c. Максимальное давление впрыска топлива. ДТ 2000 об. мин = Максимальное давление впрыска топлива. ДТ 600 об. мин
- d. Максимальное давление впрыска топлива. 25 % РМ 2000 об. мин < Максимальное давление впрыска топлива. 25 % РМ 600 об. мин
- e. Максимальное давление впрыска топлива. 25 % РМ 2000 об. мин > Максимальное давление впрыска топлива. 25 % РМ 600 об. мин
- f. Максимальное давление впрыска топлива. 25 % РМ 2000 об. мин = Максимальное давление впрыска топлива. 25 % РМ 600 об. мин
- g. Максимальное давление впрыска топлива. 50 % РМ 2000 об. мин < Максимальное давление впрыска топлива. 50 % РМ 600 об. мин
- h. Максимальное давление впрыска топлива. 50 % РМ 2000 об. мин > Максимальное давление впрыска топлива. 50 % РМ 600 об. мин
- i. Максимальное давление впрыска топлива. 50 % РМ 2000 об. мин = Максимальное давление впрыска топлива. 50 % РМ 600 об. мин
- j. Максимальное давление впрыска топлива. 75 % РМ 2000 об. мин < Максимальное давление впрыска топлива. 75 % РМ 600 об. мин
- k. Максимальное давление впрыска топлива. 75 % РМ 2000 об. мин > Максимальное давление впрыска топлива. 75 % РМ 600 об. мин
- l. Максимальное давление впрыска топлива. 75 % РМ 2000 об. мин = Максимальное давление впрыска топлива. 75 % РМ 600 об. мин

Статистические критерии^а

	Максимальное давление впрыска топлива. ДТ 2000 об. мин – Максимальное давление впрыска топлива. ДТ 600 об. мин	Максимальное давление впрыска топлива. 25 % РМ 2000 об. мин – Максимальное давление впрыска топлива. 25 % РМ 600 об. мин	Максимальное давление впрыска топлива. 50 % РМ 2000 об. мин – Максимальное давление впрыска топлива. 50 % РМ 600 об. мин	Максимальное давление впрыска топлива. 75 % РМ 2000 об. мин – Максимальное давление впрыска топлива. 75 % РМ 600 об. мин
Z	-3,999 ^b	-3,931 ^b	-3,952 ^b	-3,967 ^b
Асимп. знач. (двухсторонняя)	,000	,000	,000	,000

а. Критерий знаковых рангов Вилкоксона

б. На основе отрицательных рангов.

Описательные статистики

		Статистика	Стандартная ошибка	
Максимальное давление впрыска топлива. ДТ 600 об. мин	Среднее	19,040	,0351	
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	18,967	
		Верхняя граница	19,113	
Максимальное давление впрыска топлива. ДТ 2000 об. мин	Среднее	31,600	,0000	
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	31,600	
		Верхняя граница	31,600	
Максимальное давление впрыска топлива. 25 % РМ 600 об. мин	Среднее	19,130	,0436	
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	19,039	
		Верхняя граница	19,221	

Максимальное давление впрыска топлива. 25 % РМ 2000 об. мин	Среднее		32,135	,0244
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	32,084	
		Верхняя граница	32,186	
Максимальное давление впрыска топлива. 50 % РМ 600 об. мин	Среднее		21,090	,0362
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	21,014	
		Верхняя граница	21,166	
Максимальное давление впрыска топлива. 50 % РМ 2000 об. мин	Среднее		32,905	,0185
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	32,866	
		Верхняя граница	32,944	
Максимальное давление впрыска топлива. 75 % РМ 600 об. мин	Среднее		23,025	,0216
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	22,980	
		Верхняя граница	23,070	
Максимальное давление впрыска топлива. 75 % РМ 2000 об. мин	Среднее		33,730	,0193
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	33,690	
		Верхняя граница	33,770	

ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Различия в давлении начала впрыска форсунки в зависимости
от температуры у разных видов топлива

Ранги

		N	Средний ранг	Сумма рангов
Давление начала впрыска форсунки. ДТ с подогревом до 70°C – Давление начала впрыска форсунки. ДТ без подогрева	Отрицательные ранги	20 ^a	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^b	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^c		
	Всего	20		
Давление начала впрыска форсунки. 25 % PM с подогревом до 70°C – Давление начала впрыска форсунки. 25 % PM без подогрева	Отрицательные ранги	20 ^d	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^e	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^f		
	Всего	20		
Давление начала впрыска форсунки. 50 % PM с подогревом до 70°C – Давление начала впрыска форсунки. 50 % PM без подогрева	Отрицательные ранги	20 ^g	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^h	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ⁱ		
	Всего	20		
Давление начала впрыска форсунки. 75 % PM с подогревом до 70°C – Давление начала впрыска форсунки. 75 % PM без подогрева	Отрицательные ранги	20 ^j	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ^k	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^l		
	Всего	20		
Давление начала впрыска форсунки. PM с подогревом до 70°C – Давление начала наблюдения	Отрицательные ранги	20 ^m	10,50	210,00
	Положительные ранги	0 ⁿ	,00	,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^o		

Статистические критерии^а

	Давление начала впрыска форсунки. ДТ с подогревом до 70°С – Давление начала впрыска форсунки. ДТ без подогрева	Давление начала впрыска форсунки. 25 % РМ с подогревом до 70°С – Давление начала впрыска форсунки. 25 % РМ без подогрева	Давление начала впрыска форсунки. 50 % РМ с подогревом до 70°С – Давление начала впрыска форсунки. 50 % РМ без подогрева	Давление начала впрыска форсунки. 75 % РМ с подогревом до 70°С – Давление начала впрыска форсунки. 75 % РМ без подогрева	Давление начала впрыска форсунки. РМ с подогрево м до 70°С – Давление начала впрыска форсунки. РМ без подогрева
Z	-3,942 ^b	-3,974 ^b	-3,947 ^b	-4,001 ^b	-3,951 ^b
Асимп. знач. (двухсторонняя)	,000	,000	,000	,000	,000

а. Критерий знаковых рангов Вилкоксона

б. На основе положительных рангов.

Описание статистики

		Статистика	Стандартная ошибка
Давление начала впрыска форсунки. ДТ без подогрева	Среднее	175,100	,1906
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	174,701
		Верхняя граница	175,499
Давление начала впрыска форсунки. ДТ с подогревом до 70°С	Среднее	171,200	,1864
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	170,810
		Верхняя граница	171,590
Среднее		180,650	,2325

Давление начала впрыска форсунки. 25 % РМ без подогрева	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	180,163	
		Верхняя граница	181,137	
Давление начала впрыска форсунки. 25 % РМ с подогревом до 70°C	Среднее		175,350	,2209
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	174,888	
		Верхняя граница	175,812	
Давление начала впрыска форсунки. 50 % РМ без подогрева	Среднее		180,500	,1987
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	180,084	
		Верхняя граница	180,916	
Давление начала впрыска форсунки. 50 % РМ с подогревом до 70°C	Среднее		177,350	,2325
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	176,863	
		Верхняя граница	177,837	
Давление начала впрыска форсунки. 75 % РМ без подогрева	Среднее		185,250	,1758
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	184,882	
		Верхняя граница	185,618	
Давление начала впрыска форсунки. 75 % РМ с подогревом до 70°C	Среднее		180,350	,1313
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	180,075	
		Верхняя граница	180,625	
Давление начала впрыска форсунки. РМ без подогрева	Среднее		190,550	,1983
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	190,135	
		Верхняя граница	190,965	
Давление начала впрыска форсунки. РМ с подогревом до 70°C	Среднее		184,150	,3789
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	183,357	
		Верхняя граница	184,943	

ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Различия в концентрации оксида углерода в выхлопных газах в зависимости от
вида топлива

Ранги

	Средний ранг
Концентрация. ДТ (СО) оксид углерода	4,00
Концентрация. 25 % РМ (СО) оксид углерода	2,98
Концентрация. 50 % РМ (СО) оксид углерода	1,00
Концентрация. 75 % РМ (СО) оксид углерода	2,03

Статистические критерии^а

N	20
Хи-квадрат	59,714
ст.св.	3
Асимп. знач.	,000

а. Критерий Фридмана

Описательные статистики

		Статистика	Стандартная ошибка	
Концентрация. ДТ (СО) оксид углерода	Среднее	,343	,0019	
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	,339	
		Верхняя граница	,347	
Концентрация. 25 % РМ (СО) оксид углерода	Среднее	,289	,0014	
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	,286	

		Верхняя граница	,292	
Концентрация. 50 % PM (CO) оксид углерода	Среднее		,211	,0014
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	,208	
		Верхняя граница	,214	
Концентрация. 75 % PM (CO) оксид углерода	Среднее		,268	,0020
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	,263	
		Верхняя граница	,272	

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Различия в концентрации углеводорода в выхлопных газах
в зависимости от вида топлива

Ранги

	Средний ранг
Концентрация. ДТ (СН) углеводород	4,00
Концентрация. 25 % РМ (СН) углеводород	2,80
Концентрация. 50 % РМ (СН) углеводород	1,08
Концентрация. 75 % РМ (СН) углеводород	2,13

Статистические критерии^а

N	20
Хи-квадрат	55,523
ст.св.	3
Асимп. знач.	,000

а. Критерий Фридмана

Описательные статистики

		Статистик а	Стандартная ошибка	
Концентрация. ДТ (СН) углеводород	Среднее	,002850	,0000276	
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	,002792	
		Верхняя граница	,002908	
Концентрация. 25 % РМ (СН) углеводород	Среднее	,002085	,0000131	
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	,002058	
		Верхняя граница	,002112	
	Среднее	,001805	,0000088	

Концентрация. 50 % PM (CH) углеводород	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	,001787	
		Верхняя граница	,001823	
Концентрация. 75 % PM (CH) углеводород	Среднее		,001980	,0000225
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	,001933	
		Верхняя граница	,002027	

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

Различия в дымности в режиме свободного ускорения двигателя
в выхлопных газах в зависимости от вида топлива

Ранги

	Средний ранг
Концентрация. ДТ (Ns) дымность в режиме свободного ускорения двигателя	4,00
Концентрация. 25 % РМ (Ns) дымность в режиме свободного ускорения двигателя	3,00
Концентрация. 50 % РМ (Ns) дымность в режиме свободного ускорения двигателя	1,00
Концентрация. 75 % РМ (Ns) дымность в режиме свободного ускорения двигателя	2,00

Статистические критерии^а

N	20
Хи-квадрат	60,000
ст.св.	3
Асимп. знач.	,000

а. Критерий Фридмана

Описательные статистики

		Статистик а	Стандартная ошибка
Концентрация. ДТ (Ns) дымность в режиме свободного ускорения двигателя	Среднее	51,365	,0357
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	51,290
		Верхняя граница	51,440
Концентрация. 25 % РМ (Ns) дымность в	Среднее	49,535	,0365
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	49,459

режиме свободного ускорения двигателя		Верхняя граница	49,611	
Концентрация. 50 % РМ (Ns) дымность в режиме свободного ускорения двигателя	Среднее		41,715	,0335
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	41,645	
		Верхняя граница	41,785	
Концентрация. 75 % РМ (Ns) дымность в режиме свободного ускорения двигателя	Среднее		45,020	,0287
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	44,960	
		Верхняя граница	45,080	

ПРИЛОЖЕНИЕ 13

Различия в дымности в режиме максимального числа оборотов двигателя в
 ВЫХЛОПНЫХ ГАЗАХ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВИДА ТОПЛИВА

Ранги

	Средний ранг
Концентрация. ДТ (Nm) дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя	4,00
Концентрация. 25 % РМ (Nm) дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя	3,00
Концентрация. 50 % РМ (Nm) дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя	1,00
Концентрация. 75 % РМ (Nm) дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя	2,00

Статистические критерии^а

N	20
Хи-квадрат	60,000
ст.св.	3
Асимп. знач.	,000

а. Критерий Фридмана

Описательные статистики

		Статистика	Стандартная ошибка
Концентрация. ДТ (Nm) дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя	Среднее	81,095	,0336
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	81,025
		Верхняя граница	81,165
Концентрация. 25 % РМ (Nm) дымность в режиме	Среднее	73,915	,0327
	Нижняя граница	73,847	

максимального числа оборотов двигателя	95 % Доверительный интервал для среднего	Верхняя граница	73,983	
Концентрация. 50 %	Среднее		66,050	,0170
PM (Nm) дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	66,014	
		Верхняя граница	66,086	
Концентрация. 75 %	Среднее		72,580	,0702
PM (Nm) дымность в режиме максимального числа оборотов двигателя	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	72,433	
		Верхняя граница	72,727	

ПРИЛОЖЕНИЕ 14

Ток, потребляемый стартером в момент пуска

Ранги

	Средний ранг
ДТ. Ток, потребляемый стартером в момент пуска	1,00
25 % РМ. Ток, потребляемый стартером в момент пуска	2,00
50 % РМ. Ток, потребляемый стартером в момент пуска	3,00
75 % РМ. Ток, потребляемый стартером в момент пуска	4,00

Статистические критерии^а

N	20
Хи-квадрат	60,000
ст.св.	3
Асимп. знач.	,000

а. Критерий Фридмана

Описательные статистики

		Статистика	Стандартная ошибка
ДТ. Ток, потребляемый стартером в момент пуска	Среднее	1120,700	1,7276
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	1117,084
		Верхняя граница	1124,316
25 % РМ. Ток, потребляемый стартером в момент пуска	Среднее	1234,400	,7483
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	1232,834
		Верхняя граница	1235,966
50 % РМ. Ток, потребляемый стартером в момент пуска	Среднее	1427,900	4,4961
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	1418,489
		Верхняя граница	1437,311
75 % РМ. Ток, потребляемый стартером в момент пуска	Среднее	1553,800	4,2349
		Нижняя граница	1544,936

стартером в момент пуска	95 % Доверительный интервал для среднего	Верхняя граница	1562,664	
--------------------------	--	-----------------	----------	--

ПРИЛОЖЕНИЕ 15**Напряжение АКБ в момент пуска****Ранги**

	Средний ранг
ДТ. Напряжение АКБ в момент пуска	4,00
25 % РМ. Напряжение АКБ в момент пуска	2,85
50 % РМ. Напряжение АКБ в момент пуска	2,13
75 % РМ. Напряжение АКБ в момент пуска	1,03

Статистические критерии^а

N	20
Хи-квадрат	57,708
ст.св.	3
Асимп. знач.	,000

а. Критерий Фридмана

Описательные статистики

		Статистика	Стандартная ошибка
ДТ. Напряжение АКБ в момент пуска	Среднее	22,785	,0109
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	22,762
		Верхняя граница	22,808
25 % РМ. Напряжение АКБ в момент пуска	Среднее	22,235	,0244
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	22,184
		Верхняя граница	22,286
50 % РМ. Напряжение АКБ в момент пуска	Среднее	21,985	,0544
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	21,871
		Верхняя граница	22,099
75 % РМ. Напряжение АКБ в момент пуска	Среднее	21,405	,0420
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	21,317
		Верхняя граница	21,493

ПРИЛОЖЕНИЕ 16

Мощность двигателя

Описательные статистики

	N	Минимум	Максимум	Среднее	Стандартная отклонения
Мощность двигателя (л.с.). ДТ без подогрева	20	193,0	193,0	193,000	0,0000
Мощность двигателя (л.с.). ДТ с подогревом до 70°C	20	201,0	201,0	201,000	0,0000
Мощность двигателя (л.с.). 25 % РМ без подогрева	20	191,0	191,0	191,000	,0000
Мощность двигателя (л.с.). 25 % РМ с подогревом до 70°C	20	195,0	195,0	195,000	,0000
Мощность двигателя (л.с.). 50 % РМ без подогрева	20	187,0	187,0	187,000	,0000
Мощность двигателя (л.с.). 50 % РМ с подогревом до 70°C	20	190,0	190,0	190,000	,0000
Мощность двигателя (л.с.). 75 % РМ без подогрева	20	179,0	179,0	179,000	,0000
Мощность двигателя (л.с.). 75 % РМ с подогревом до 70°C	20	186,0	186,0	186,000	,0000
N валидных (по списку)	20				

ПРИЛОЖЕНИЕ 17

Остаточное давление в топливопроводе высокого давления

Ранги

		N	Средний ранг	Сумма рангов
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. ДТ 2000 об. мин – Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. ДТ 600 об. мин	Отрицательные ранги	0 ^a	,00	,00
	Положительные ранги	20 ^b	10,50	210,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^c		
	Всего	20		
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 25 % РМ 2000 об. мин – Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 25 % РМ 600 об. мин	Отрицательные ранги	0 ^d	,00	,00
	Положительные ранги	20 ^e	10,50	210,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^f		
	Всего	20		
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 50 % РМ 2000 об. мин – Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 50 % РМ 600 об. мин	Отрицательные ранги	0 ^g	,00	,00
	Положительные ранги	20 ^h	10,50	210,00
	Совпадающие наблюдения	0 ⁱ		
	Всего	20		
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 75 % РМ 2000 об. мин – Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 75 % РМ 600 об. мин	Отрицательные ранги	0 ^j	,00	,00
	Положительные ранги	20 ^k	10,50	210,00
	Совпадающие наблюдения	0 ^l		
	Всего	20		

a. Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. ДТ 2000 об. мин < Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. ДТ 600 об. мин

b. Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. ДТ 2000 об. мин > Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. ДТ 600 об. мин

c. Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. ДТ 2000 об. мин = Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. ДТ 600 об. мин

- d. Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 25 % РМ 2000 об. мин <
Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 25 % РМ 600 об. мин
- e. Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 25 % РМ 2000 об. мин >
Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 25 % РМ 600 об. мин
- f. Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 25 % РМ 2000 об. мин =
Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 25 % РМ 600 об. мин
- g. Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 50 % РМ 2000 об. мин <
Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 50 % РМ 600 об. мин
- h. Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 50 % РМ 2000 об. мин >
Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 50 % РМ 600 об. мин
- i. Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 50 % РМ 2000 об. мин =
Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 50 % РМ 600 об. мин
- j. Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 75 % РМ 2000 об. мин <
Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 75 % РМ 600 об. мин
- k. Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 75 % РМ 2000 об. мин >
Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 75 % РМ 600 об. мин
- l. Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 75 % РМ 2000 об. мин =
Остаточное давление в топливopровode высокого давления. 75 % РМ 600 об. мин

Статистические критерии^а

	Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. ДТ 2000 об. мин –	Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 25 % РМ 2000 об. мин –	Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 50 % РМ 2000 об. мин –	Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 75 % РМ 2000 об. мин –
	Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. ДТ 600 об. мин	Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 25 % РМ 600 об. мин	Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 50 % РМ 600 об. мин	Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 75 % РМ 600 об. мин
Z	-3,953 ^b	-3,944 ^b	-3,944 ^b	-3,932 ^b
Асимп. знач. (двухсторонняя)	,000	,000	,000	,000

а. Критерий знаковых рангов Вилкоксона

б. На основе отрицательных рангов.

Описательные статистики

			Статистика	Стандартная ошибка
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. ДТ 600 об. мин	Среднее		10,120	,0247
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	10,068	
		Верхняя граница	10,172	
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. ДТ 2000 об. мин	Среднее		13,175	,0190
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	13,135	
		Верхняя граница	13,215	
Остаточное давление в топливопроводе	Среднее		10,225	,0204
		Нижняя граница	10,182	

высокого давления. 25 % РМ 600 об. мин	95 % Доверительный интервал для среднего	Верхняя граница	10,268	
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 25 % РМ 2000 об. мин	Среднее		13,190	,0161
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	13,156	
		Верхняя граница	13,224	
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 50 % РМ 600 об. мин	Среднее		10,810	,0298
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	10,748	
		Верхняя граница	10,872	
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 50 % РМ 2000 об. мин	Среднее		13,805	,0266
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	13,749	
		Верхняя граница	13,861	
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 75 % РМ 600 об. мин	Среднее		11,720	,0225
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	11,673	
		Верхняя граница	11,767	
Остаточное давление в топливопроводе высокого давления. 75 % РМ 2000 об. мин	Среднее		14,455	,0352
	95 % Доверительный интервал для среднего	Нижняя граница	14,381	
		Верхняя граница	14,529	