

На правах рукописи

ПЛОТНИКОВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЕЙ
ПУТЕМ СОЗДАНИЯ НОВЫХ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ И
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОПЛИВОПОДАЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ**

Специальность: 05.04.02 - тепловые двигатели

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Нижний Новгород

2011

Работа выполнена в Кировском филиале Московского государственного
индустриального университета

Научный консультант: доктор технических наук, профессор
Карташевич Анатолий Николаевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Сыркин Павел Эммануилович

доктор технических наук, профессор
Дружинин Петр Владимирович

доктор технических наук, профессор
Картошкин Александр Петрович

Ведущее предприятие: Общество с ограниченной ответственностью Централь-
ный научно-исследовательский дизельный институт
(ЦНИДИ)

Защита диссертации состоится "___"_____20__ года в ___ час. ___ мин.
на заседании диссертационного совета Д.212.165.04 в Нижегородском государ-
ственном техническом университете по адресу: 603600, г. Нижний Новгород,
ГСП-41, ул. Минина, д. 24, ауд. 1258.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Нижегородского госу-
дарственного технического университета.

Автореферат разослан "___"_____20__ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук, профессор

Л.Н.Орлов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Потребление ископаемых топлив из года в год увеличивается, в то же время производство не может бесконечно расти из-за ограниченности запасов сырья во всем мире. Земные запасы нефти в определенной степени ограничены. Сроки их исчерпания в целом и в отдельных нефтесодержащих районах планеты составляют от 50 до 80 лет.

Дизели транспортных средств являются источником эмиссии вредных веществ. Неблагоприятная экологическая обстановка во многих регионах России, международные обязательства по охране окружающей среды определяют важность работ, направленных на снижение загрязнения атмосферного воздуха от вредного выброса транспортных средств. Потери здоровья граждан и стоимость лечения болезней вообще не поддаются никакой оценке. Основными направлениями при этом являются: улучшение экологических характеристик ДВС, сокращение расхода топлива, ускоренное развитие транспортных средств, работающих на альтернативных топливах ненефтяного происхождения.

Весьма актуальным направлением является совершенствование конструкции и технологии топливоподающей аппаратуры, создание новых альтернативных топлив с улучшенными характеристиками, разработка систем питания, регулирования и топливоподачи альтернативных топлив, элементов и агрегатов систем регулирования и топливоподачи, создание их опытных образцов.

Связь с планами научных исследований. Научные исследования, на основе которых подготовлена настоящая диссертация, были выполнены в Кировском сельскохозяйственном институте в 1988...1996 годах, в Вятской государственной сельскохозяйственной академии в 1996...2004 годах, в Кировском филиале МГИУ в 2005...2010 годах. Исследования выполнялись в соответствии с договором о научно-техническом сотрудничестве между Кировским сельскохозяйственным институтом и войсковой частью 74242 от 26.07.1988 года, планами НИР Кировского СХИ на 1986...1990 г.г. (номер государственной регистрации темы 0182.100 1932), планами НИР Вятской ГСХА на 2000...2005 г.г. (номер государственной регистрации темы 01.2002.06497), соглашением о научно-техническом сотрудничестве между Вятской ГСХА и 25 ГосНИИ МО РФ от 15.06.2001 года и программой поисковой работы "Расширение ресурсов моторных топлив за счет применения альтернативных топлив и присадок к ним с улучшенными энергетическими, эксплуатационными, экологическими характеристиками и обеспеченных отечественной сырьевой, технологической и производственной базой", соглашением о научно-техническом сотрудничестве между Белорусской ГСХА и филиалом МГИУ в г. Кирове от 28.05.2008 года.

Целью исследований является разработка теоретических основ создания альтернативных топлив дизельных двигателей, совершенствование топливоподающей аппаратуры и улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей.

Научную новизну работы составляют:

- разработанные теоретические основы по созданию и исследованию свойств новых топлив на основе дизельного топлива, рапсового масла и метанола с присадками; разработанные новые топливные эмульсии на основе метанола, воды и присадок с улучшенными эксплуатационными свойствами;

- разработанные теоретические основы по влиянию новых топлив на процессы топливоподачи и регулирования при работе тракторных дизелей;
- исследования процессов топливоподачи жидких альтернативных топлив, разработанные конструкции систем топливоподачи, обеспечивающие работу дизеля на альтернативных топливах;
- разработанные теоретические основы по влиянию метанола и рапсового масла на процессы самовоспламенения и сгорания топлива;
- усовершенствованные методики расчета параметров подготовительной фазы и фазы быстрого горения в цилиндре дизеля при работе на альтернативных топливах; разработанные программы реализации предложенных методик расчета на ПЭВМ;
- усовершенствованные методики лабораторных и стендовых исследований по применению метанола и рапсового масла в тракторных дизелях;
- разработанные методики применения планирования эксперимента в исследованиях свойств новых топлив на основе метанола и рабочих процессов дизеля с целью оптимизации состава топлив и эксплуатационных показателей дизеля при работе на этих топливах;
- разработанные и созданные опытные образцы дизелей для их работы на новых топливах с улучшенными эксплуатационными показателями, системы регулирования и топливоподачи альтернативных топлив, устройства и отдельные элементы систем.

Новизна предложенных технических и технологических разработок подтверждена 3 авторскими свидетельствами СССР, 8 патентами РФ на изобретения, 4 свидетельствами об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Объекты исследований - новые составы топлив на основе метанола и рапсового масла, системы для приготовления, регулирования и топливоподачи альтернативных топлив, дизели сельскохозяйственных тракторов тягового класса 0,6 кН и 1,4 кН.

Методами исследований явились теоретический анализ свойств альтернативных топлив, процессов их регулирования и топливоподачи, разработка математических моделей воспламенения и сгорания; получение данных лабораторных, стендовых и эксплуатационных испытаний, сравнение и анализ.

Положения, выносимые на защиту:

1. Теоретические основы по созданию новых альтернативных топлив с улучшенными эксплуатационными свойствами и их влиянию на процессы топливоподачи, регулирования и сгорания при работе дизелей.
2. Разработанные методики теоретических, лабораторных и стендовых исследований работы дизелей на новых альтернативных топливах.
3. Новые альтернативные топлива, новые способы, системы, устройства и детали для приготовления, регулирования и топливоподачи альтернативных топлив, опытные образцы дизелей с улучшенными показателями, предназначенные для работы на этих топливах.

Достоверность полученных результатов подтверждена результатами лабораторных, стендовых и эксплуатационных испытаний, совпадением данных теоретических и экспериментальных исследований.

Квалификационная формула работы

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, в которой на основе проведенных исследований изложены положения, квалифи-

цируемые как совокупность новых научно обоснованных технических решений, заключающихся в обосновании и разработке принципов создания новых альтернативных топлив, систем приготовления, регулирования и топливоподачи альтернативных топлив, дизелей сельскохозяйственных тракторов с улучшенными эксплуатационными показателями, предназначенных для работы на этих топливах. Полученные результаты и рекомендации могут быть использованы при выборе рациональных путей применения нетрадиционных видов топлив.

Практическая ценность

Разработанные топливные эмульсии на основе дизельного топлива, метанола и воды с присадками использованы в 25 ГосНИИ МО РФ при проведении специальных исследований.

Разработанные системы регулирования и питания дизелей жидким альтернативным топливом, новые конструкции элементов этих систем использованы ЦНИДИ в работах по созданию новых видов и модификаций дизелей.

Разработанная конструкция плунжера топливного насоса высокого давления внедрена на Ногинском заводе топливной аппаратуры с 2000 года, а конструкция системы регулирования с 1999 года.

Опытный образец трактора Т-25А, модернизированного для работы на смесях дизельного топлива с метиловым спиртом использован в УЧХОЗе ВГСХА "Чистые пруды" с 2003 года для выполнения сельскохозяйственных операций в животноводстве. Опытный образец трактора «Беларус-821», работающего на смесях ДТ с рапсовым маслом используется в Горецком р-не Могилевской области Республики «Беларусь» при вспашке и работе с АКШ.

Реализация работы

Результаты научных исследований переданы ОАО ВМП "Авитек" (г. Киров) для использования при совершенствовании конструкции выпускаемых им двигателей внутреннего сгорания, использованы в/ч 74242 в работе при создании водо-топливных эмульсий, ОАО ВНИИ НП при создании и исследовании новых видов многофункциональных присадок к дизельным топливам, а также для составления базы данных по присадкам к топливам, 25 ГосНИИ МО РФ в работе по созданию и исследованию новых видов высокоэффективных дизельных топлив для спецтехники.

Материалы диссертации используются в учебном процессе Санкт-Петербургского государственного аграрного университета, Вятской, Ижевской Пермской и Белорусской государственных сельскохозяйственных академиях, филиале Московского государственного индустриального университета в г. Кирове.

Апробация работы

Основные результаты и материалы диссертации докладывались и обсуждались на научных конференциях Кировского сельскохозяйственного института в 1989...1994 г.г. и Вятской государственной сельскохозяйственной академии в 1997...2005 г.г. (г. Киров); на Всесоюзной научно-технической конференции "Научно-технический прогресс в химмотологии топлив и смазочных материалов" в 1990 г. (г. Днепропетровск); на Всесоюзном семинаре "Рабочие процессы в ДВС с ограниченным отводом тепла" в 1990 г. (г. Новосибирск); на 12-й научно-практической конференции вузов Поволжья и Предуралья в 2001 г. (г. Киров); на научном семинаре в/ч 74242 в 1991 г. (г. Москва); на постоянно действующем научно-техническом семинаре стран СНГ "Диагностика, повышение

эффективности, экономичности и долговечности двигателей" в 1993, 2002 г.г. (г. Санкт-Петербург); на II Международной научно-практической конференции "Новые топлива с присадками" в 2002 г. (г. Санкт-Петербург); на Международной научно-практической конференции, посвященной 125-летию со дня рождения Н.В.Рудницкого "Здоровье-питание-биологические ресурсы" в 2002 г. (г. Киров); на IX Международной научно-практической конференции "Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей" в 2003 г. (г. Владимир); на Юбилейной 15-й региональной научно-практической конференции вузов Поволжья и Предуралья "Совершенствование конструкции, теории и расчета тракторов, автомобилей и двигателей внутреннего сгорания" в 2004 г. (г. Киров); на Международной научно-технической конференции "Улучшение эксплуатационных показателей двигателей, тракторов и автомобилей" в 2005 г. (г. Санкт-Петербург); на Всероссийской научно-практической конференции «Развитие транспорта в регионах России: Проблемы и перспективы» в 2007 г. (г. Киров); на Международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве» в 2007 г. (г. Минск), на Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию кафедры "Тракторы и автомобили" в 2009 г. (г. Горки, республика «Беларусь»).

Публикации

Основные положения диссертации опубликованы в 69 печатных работах, в том числе 4 монографиях; защищены 3 авторскими свидетельствами СССР и 8 патентами РФ на изобретения, 4 свидетельствами об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из двух частей. Часть первая включает введение, восемь разделов, общие выводы, список литературы. Работа содержит 380 страниц, в том числе 114 рисунков, 41 таблицу. Список литературы включает 416 наименований, в том числе 108 на иностранных языках. Часть вторая содержит приложения. В приложениях приведены программы для обработки данных на ЭВМ, документы, отражающие уровень практического использования результатов исследований, копии авторских свидетельств, дипломов, свидетельств об официальной регистрации программ для ЭВМ и патентов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, изложена научная новизна и практическая ценность работы, основные положения и результаты исследований, выносимые на защиту.

Научные исследования проводились при непосредственном участии автора в соответствии с планами научно-исследовательских работ Кировского СХИ в 1988...1996 годах, Вятской ГСХА в 1996...2004 годах, Кировского филиала МГИУ в 2005...2010 годах. Решение отдельных задач по теме диссертации выполнено автором совместно с ЗДНТ РФ, профессором А.В. Николаенко, профессором А.К.Болотовым, профессором В.А.Лихановым, профессором Г.М.Камфером, кандидатом технических наук С.Н.Гушиным, инженерами Г.Н.Гурковым, В.А.Михеевым, С.П.Мокрушиным, О.П.Костиным, В.А.Крыловым, В.С.Товстыкой. Всем им, а также коллективам кафедр "Тракторы и автомоби-

ли" и "ДВС" ВГСХА, "Двигатели и теплотехника" СПбГАУ, "Тракторы и автомобили" ВГСХА автор приносит искреннюю благодарность.

В первом разделе проведен анализ литературных источников по рассматриваемой проблеме и на его основе обоснованы направления исследований.

Во всем мире ведутся серьезные исследования возможности применения возобновляемых топлив ненефтяного происхождения в дизелях, отличающиеся большим разнообразием и степенью эффективности.

Анализ данных научных исследований по применению альтернативных топлив в области двигателестроения показывает, что учеными нашей страны в разное время проводились исследования в этой области. Эти вопросы отражены в трудах Абрамова С.А., Азева В.С., Алексеева Д.Г., Алейникова Ю.П., Арсенова Е.Е., Балакина В.И., Болотова А.К., Виппера А.Б., Гладких В.А., Камфера Г.М., Лебедева С.Р., Лернера М.О., Лиханова В.А., Луневоy В.В., Лютко В., Малова Р.В., Махова В.З., Носенко Н.В., Обельницкого А.М., Онойченко С.Н., Патрахальцева Н.Н., Попова В.М., Ратьковой М.Ю., Смаля В.Ф., Хачияна А.С. Вопросы улучшения экологических показателей двигателей отражены в работах Ашкинази Л.А., Бернштейн Е.В., Варшавского И.Л., Вихерта М.М., Гладкова О.А., Гущина С.Н., Данцакова В.В., Емельянова В.Е., Звонова В.А., Круглова М.Г., Кудряша А.П., Лермана Е.Ю., Ложкина В.Н., Новикова Л.А., Разлейцева Н.Ф., Сайкина А.М., Семенова Б.Н., Смайлиса В.И. Шкаликовой В.П. Теоретическими исследованиями рабочих процессов в дизелях и разработкой новых видов топлив занимались Абрамзон А.А., Гуреев А.А., Данилов А.М., Иванов В.М., Камфер Г.М., Карташевич А.Н., Ксенофонтов И.В., Кудрявцев В.А., Лиханов В.А., Луканин В.М., Митусова Т.Н., Николаенко А.В., Петриченко Р.М., Ребиндер П.А., Свиридов Ю.Б., Семенов Е.С., Энглин Б.А. и другие ученые.

Следует отметить, что к настоящему времени проведены заметные теоретические и экспериментальные работы по вопросам улучшения эффективных и экологических показателей дизелей. Значительное место в этих трудах занимают проблемы применения различных видов кислородсодержащих соединений, спиртов и растительных масел.

В то же самое время большинство научно-исследовательских работ проводились только с целью определения возможности работы дизеля на альтернативных топливах, исследований процесса сгорания, либо улучшения эффективных показателей дизелей. Не уделялось должного внимания комплексному рассмотрению вопросов применения альтернативных топлив в ДВС.

До настоящего времени глубоко не исследованы различные способы подачи смесевых топлив в дизели, не проведены исследования возможностей использования различных эмульгаторов для приготовления новых видов смесевых топлив на основе дизельного топлива, не разработаны эффективные методы создания таких топлив, не созданы новые высокоэффективные топлива на основе возобновляемых источников.

Мало работ, направленных на разработку новых систем питания, систем регулирования и топливоподачи жидких альтернативных топлив, элементов и агрегатов систем регулирования и топливоподачи. Не все работы завершаются созданием опытных образцов и проведением эксплуатационных испытаний.

До настоящего времени отсутствуют надежные числовые методы определения свойств новых топлив, расчета параметров процессов регулирования, топливоподачи и сгорания при работе дизеля.

Недостаточно работ, посвященных применению методики планирования эксперимента в исследованиях свойств новых топлив и рабочих процессов дизеля с целью оптимизации состава топлив и эксплуатационных показателей самого дизеля при работе на этих топливах.

Все это убедительно свидетельствует о том, что улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения метанола и рапсового масла является достаточно актуальной научной проблемой.

На основе вышеизложенного, целью научных исследований является улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей на основе создания новых альтернативных топлив, совершенствования конструкции и технологии топливоподающей аппаратуры.

Для достижения поставленной цели предусматривалось решение следующих задач:

- разработать теоретические основы по созданию новых альтернативных топлив, разработать и исследовать новые топливные композиции на основе дизельного топлива, рапсового масла, метанола, воды и присадок с улучшенными эксплуатационными свойствами;

- разработать теоретические основы по влиянию альтернативных топлив на процессы топливоподачи и регулирования при работе тракторных дизелей;

- исследовать процессы топливоподачи жидких альтернативных топлив, разработать способы, элементы и системы топливоподачи, обеспечивающие работу дизеля на различных видах и сочетаниях жидких альтернативных топлив. Определить оптимальные регулировки топливной аппаратуры при работе на топливах с содержанием метанола и рапсового масла;

- разработать теоретические основы по влиянию метанола и рапсового масла на процессы самовоспламенения и сгорания топлива. Предложить и усовершенствовать методики расчета параметров подготовительной фазы и фазы быстрого горения в цилиндре дизеля при работе на альтернативных топливах, разработать программы реализации предложенных методик расчета на ПЭВМ;

- усовершенствовать методики лабораторных исследований по оптимизации свойств новых топлив на основе метанола и рапсового масла и стендовых исследований их влияния на эксплуатационные показатели тракторного дизеля;

- разработать методики применения планирования эксперимента в исследованиях свойств новых топлив на основе метанола и рабочих процессов дизеля с целью оптимизации состава топлив и эксплуатационных показателей дизеля при работе на этих топливах;

- провести лабораторные и стендовые исследования для изучения влияния новых топлив на процессы сгорания и тепловыделения, эффективные показатели, показатели дымности и токсичности отработавших газов дизеля. Исследовать и оптимизировать в стендовых условиях процессы топливоподачи, регулирования и сгорания альтернативных топлив для снижения расхода дизельного топлива и улучшения экологических показателей тракторных дизелей;

- разработать и создать опытные образцы дизелей для их работы на новых топливах с улучшенными эксплуатационными показателями, системы регулирования и топливоподачи альтернативных топлив и отдельные элементы систем. Провести испытания их работы в эксплуатационных условиях;

- разработать научно обоснованные рекомендации по применению новых видов топлив на основе дизельного топлива, рапсового масла и метанола.

Во втором разделе разработаны теоретические основы сокращения расхода дизельного топлива и улучшения экологических показателей тракторных дизелей путем создания новых топлив, совершенствования конструкции и технологии топливоподающей аппаратуры.

Весь объем стабилизаторов многообразен. Для спиртовых топлив это могут быть ПАВ и другие соединения. Расход стабилизаторов во всех случаях составляет 0,5...5,0%, наиболее оптимальное значение 0,5...2,0%.

Эмульсии – термодинамически неустойчивые системы, обладающие значительной свободной энергией. Для образования устойчивой полидисперсной системы необходимо снижение поверхностного натяжения на границе раздела фаз до какого-то критического его значения:

$$\sigma \leq \sigma_{кр}.$$

Снижение свободной поверхностной энергии может быть достигнуто введением адсорбирующих добавок, образующих молекулярные слои на поверхности разрыва. Ввиду большой разности полярности метанола и ДТ, большого избытка свободной энергии на единицу площади поверхности слоя на границе фаз целесообразно для стабилизации применять катионоактивные ПАВ.

Определение эффективности эмульгатора принято проводить на основе стабильности эмульсий. Задаваясь размером капли, зная химическую природу ПАВ и, принимая скорость коалесценции равной времени стабильности, можно ориентировочно рассчитать потребную концентрацию эмульгатора в эмульсии:

$$K = Z_{exp} \left(- \frac{W_{\min} \left(\frac{c}{c+\alpha} \right) \cdot a}{RT} \cdot \frac{a}{V_k} \right), \quad (1)$$

где: K – время коалесценции;

Z – коэффициент, являющийся функцией межфазного натяжения, присущий данному ПАВ;

W_{\min} – минимальная работа адсорбции, равная 17кДж/моль;

c – концентрация ПАВ, моль/м³;

α – постоянная Ленгмюра для данного ПАВ;

a – коэффициент, являющийся функцией геометрии молекулы ПАВ;

R – универсальная газовая постоянная;

T – абсолютная температура, К;

V_k – объем капли, м³;

Данные расчетов показывают, что для создания эмульсий ДТ и метанола предпочтительно использование сукцинимидной присадки С-5А.

Учитывая, что при использовании в дизеле метанолсодержащие топлива должны обладать и некоторыми другими свойствами, требуется проведение мероприятий по их улучшению. Для МТЭ, в первую очередь, могут быть применены добавки с повышенными эмульгирующими и диспергирующими свойствами. Такими свойствами обладают мыла – соли некоторых жирных кислот или ПАВ, близкие по структуре к присадкам полифункционального действия.

С этой целью было рекомендовано использование смеси мыл диэтаноламина и олеиновой кислоты. Эти соединения содержат в своем составе свобод-

ные радикалы с невысокой (159 кДж/моль) энергией активации. Присадка смеси мыл работает как промотор воспламенения в подготовительной фазе процесса и как ингибитор в фазе быстрого горения топлива.

В концентрированных эмульсиях (до 40% спирта) капли спирта седиментируют, в первом приближении в соответствии с законом Стокса:

$$U = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_1 - \rho_0)}{18 \cdot \eta}, \quad (2)$$

где: U – скорость осаждения капель диаметром d ;

η - вязкость углеводородной среды;

ρ_1, ρ_0 - плотность спиртовой и углеводородной фазы;

g – ускорение свободного падения.

Из выражения (2) следует, что, чем меньше размер капель спирта в эмульсиях, тем меньше (в квадратичной зависимости) скорость их седиментации. Если принять размер капель спирта порядка 0,1 мкм, при концентрации спирта 30...40%, то минимальный расход ПАВ составит несколько процентов, капли спирта практически не будут седиментировать и система останется стабильной определенное время. Следовательно, в этом случае смеси мыл диэтаноламина и олеиновой кислоты могут явиться эффективными диспергаторами.

Впрыскиваемая в цилиндр дизеля цикловая доза МТЭ характеризуется повышенной способностью к испарению и дроблению топливной струи. Вероятность дробления струи удобно оценить с помощью известного числа Вебера:

$$We = \frac{\rho w^2 d}{\sigma}, \quad (3)$$

где: ρ - плотность газовой среды;

w – скорость струи жидкости в газовой среде;

d – диаметр струи (распылителя);

σ - поверхностное натяжение топлива.

Скорость струи жидкости в газовой среде определяется по выражению:

$$w = \sqrt{(p_{\phi} - p_{ц}) \cdot (2 / \rho_{т}) \cdot 10^6}, \quad (4)$$

где: p_{ϕ} – среднее давление впрыскивание топлива, МПа;

$p_{ц}$ – среднее давление в цилиндре в период впрыскивания топлива, МПа;

$\rho_{т}$ - суммарная плотность топлива, кг/м³.

Среднее давление в цилиндре можно определить по выражению:

$$p_{ц} = (p_c'' + p_z) / 2, \quad (5)$$

где: p_c'' - давление в конце процесса сжатия, обычно $p_c'' = 1,2 \times p_c$, МПа;

p_z - максимальное давление сгорания, МПа.

Расчеты показывают, что критическое значение числа Вебера составляет $140 \cdot 10^3$, что соответствует разрыву струи МТЭ.

Зная критическое значение числа Вебера, можно определить скорость и диаметр капли топлива, выше которых наступает разрыв:

$$w_k = \sqrt{\frac{We \cdot \sigma}{\rho \cdot d}}, \quad (6)$$

где: w_k – максимальная скорость капли в неподвижной газовой среде.

В рассматриваемом случае имели место следующие цифры:

- для метанола - 115,30 м/с, для дизельного топлива - 131,83 м/с.

Видно, что деструкция капель метанола наступает раньше.

В расчете параметров струи МТЭ использовали полуэмпирический метод:

$$\frac{s}{d} = 7,4 \cdot \left(\ln \frac{t \sqrt{\Delta P}}{d \sqrt{10^{-3} \rho}} \right)^{-2,4}, \quad (7)$$

где: s – дальность струи в метрах, в момент времени t , с;

d – диаметр отверстия распылителя, м;

ΔP – давление впрыскивания, МПа;

t – время, с.

Угол распространения факела определялся по выражению:

$$\operatorname{tg} \frac{\Theta}{2} = 0,13 \cdot \left[1 + \left(\frac{\rho}{\rho_c} \right) \right], \quad (8)$$

где: ρ_c – плотность топлива.

Данные расчетов топливного факела МТЭ представлены на схеме (рис. 1).

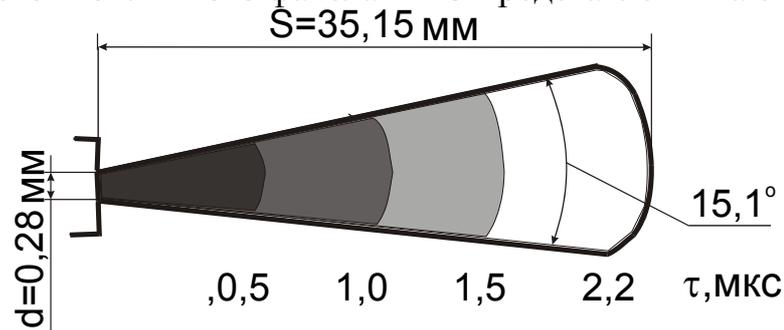


Рис. 1. Параметры расчета струи факела МТЭ

Проведенные расчеты позволили сделать следующие выводы:

1. Впрыскивание МТЭ будет характеризоваться ростом угла распыливания факела ($11,4^\circ$ для ДТ, $15,1^\circ$ для МТЭ), и ростом интенсивности деструкции.

2. Рост угла распыливания факела МТЭ и охвата зоны камеры сгорания может способствовать равномерности распределения топлива в сжатой воздушной среде, быстрому окислению его частиц, сокращению времени сгорания.

Работоспособность системы топливоподачи дизеля при использовании смесей РМ и ДТ можно оценить:

- по разрежению, создаваемому топливоподкачивающим насосом;

- по наибольшему гидравлическому сопротивлению системы.

Разрежение, создаваемое топливоподкачивающим насосом, равное 0,1 МПа, может быть определено по выражению

$$H_n = \frac{128 \cdot \nu \cdot C_{cp} \cdot l \cdot 10^{-6}}{d \cdot 2g}, \quad (9)$$

где: ν - кинематическая вязкость, сСт:

$C_{\text{ср}}$ – средняя скорость топлива в системе, м/с;

$l=2,5$ м – длина топливопровода;

$d=0,08$ м – диаметр топливопровода;

$g=9,81$ м/с² – ускорение свободного падения.

Расчеты показали, что для дизеля 4Ч 11,0/12,5 предельное значение вязкости составит $\nu=49,2$ сСт. Такую вязкость при $t = 20^\circ\text{C}$ имеет смесь из 60% рапсового масла и 40% дизельного топлива. Смеси с более высокой концентрацией рапсового масла не будут прокачиваться по всасывающей линии.

Работоспособность участка от топливоподкачивающего насоса до ТНВД определяется гидравлическим сопротивлением фильтра. Для плоской поверхности фильтрующего материала перепад давления может быть определен, как

$$\Delta P = \delta \cdot r \cdot V_m \cdot B, \quad (10)$$

где: δ - динамическая вязкость топлива;

r – удельное сопротивление фильтрующего материала;

V_T – скорость течения топлива через фильтр;

B – толщина поверхности фильтрующего материала.

Сохранение работоспособности участка топливной системы возможно при равной вязкости ДТ и смесевое топлива, что может быть достигнуто нагревом до $t=60\dots 80^\circ\text{C}$, или содержанием в смеси не выше 50%РМ.

В реальных условиях установленную заводом-изготовителем зависимость цикловой геометрической подачи от хода рейки (рис. 2) можно представить прямой (линия 1). С учетом низшей расчетной теплоты сгорания ДТ - линия 2.

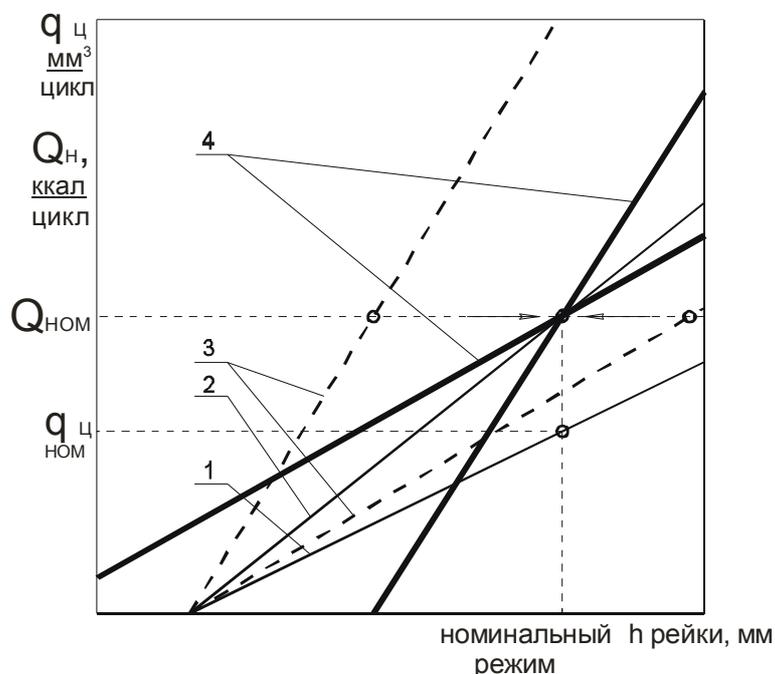


Рис. 2. Характеристики топливоподачи ТНВД:

1 - установленная заводом зависимость $q_{\text{ц}} = f(h)$;

2 - зависимость $Q = f(h)$ для ДТ;

3 - зависимости $Q = f(h)$ для альтернативных топлив;

4 - зависимости $Q = f(h)$ для альтернативных топлив с учетом регулировки ТНВД;

При работе на новых топливах зависимость подвода теплоты в цилиндры от хода рейки примет положение нижней линии 3, а с учетом регулировки насоса - линии 4 с меньшим углом наклона. Это означает, что:

- при перегрузке уменьшается коэффициент запаса крутящего момента;
- нарушается скоростной режим дизеля. В положении выключения подачи ДТ, выключения подачи нового топлива не наблюдается. Цикловая подача при этом составляет

$$q_{ц\ AT.} = q_{ц\ ном} \frac{Q_{AT}}{Q_{ДТ}} \quad (11)$$

- регулировка начала действия регулятора не даст желаемого результата, т.к. в этом случае дизель не выйдет на номинальный режим работы.

Следовательно, необходимо внесение изменений в конструкцию ТНВД. Для достижения этой цели предложено несколько оригинальных решений.

Ранее, в работах Камфера Г.М., Малова Р.В. было рассмотрено влияние присутствия алифатических спиртов в топливе на кинетику воспламенения.

Радикалы CH_3 реагируют с атомами кислорода O , образуя формальдегид. Затем в результате отрыва атома водорода H образуется радикал CHO . Последний может термически распадаться, образуя CO и атомы водорода H . Кроме того, атом H может быть оторван в реакциях с H или O_2 . Эта схема дополнительно осложняется процессами рекомбинации метильных радикалов CH_3 .

Установлено, что в пламенах стехиометрических метано-воздушных смесей CH_4 -воздух в этой рекомбинации расходуется 30% метильных радикалов. В пламенах богатых смесей цифра достигает 80%. Процессы окисления CH_3 и C_2H_5 являются лимитирующими стадиями процесса окисления, замедляющими его, что объясняется определенной иерархической структурой реакций горения.

При нагреве происходит разложение метанола (рис. 3). Практически все реакции эндотермические.

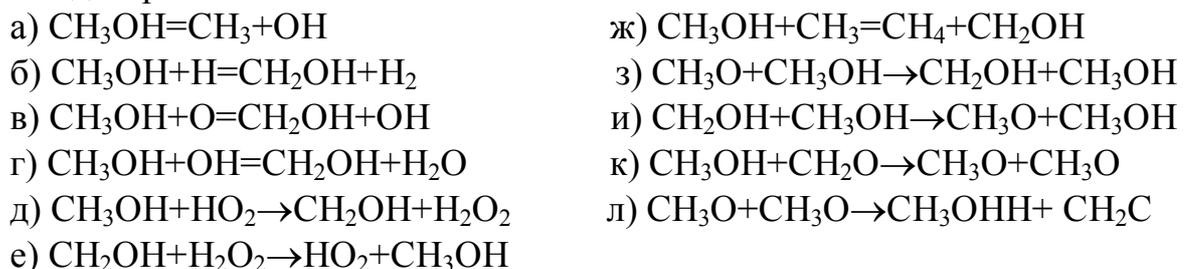


Рис. 3. Элементарные реакции разложения метанола

Это дает дополнительное к происходящему за счет испарения охлаждение заряда, уменьшение интенсивности образования последующих пламен, ухудшение воспламеняемости. Присутствие спирта в топливе, вследствие снижения температуры пламени и дополнительного обеднения смеси, может иметь большие возможности образования в отработавших газах несгоревших углеводородов и оксидов углерода. Вместе с тем, сам процесс сгорания будет характеризоваться обеднением смеси за счет наличия в спирте дополнительного кислорода, снижением как локальной, так и осредненной температуры газов. Совокупность

указанных обстоятельств должна оказать решающее влияние на снижение выхода в отработавших газах оксидов азота NO и твердых частиц сажи.

При моделировании рабочего процесса ДВС удобно применение термодинамического расчета. Первый закон термодинамики на участке после начала впрыскивания топлива можно записать (для 1 кг топлива)

$$\Sigma dQ = pdV + MdU + udM \quad (12)$$

где: ΣdQ – сумма источников и стоков теплоты, определяемая, как

$$\Sigma dQ = dQ_{сг} - dQ_{исп} - dQ_{\alpha} \quad (13)$$

где: $dQ_{сг}$ – тепловыделения за счет сгорания топлива;

$dQ_{исп}$ – сток теплоты за счет нагрева и испарения топлива;

dQ_{α} – сток теплоты за счет теплоотдачи в стенки;

M – масса рабочего тела.

Опуская промежуточные преобразования, окончательно получим:

$$\frac{dP}{d\phi} + \kappa \frac{P \cdot dV}{V \cdot d\phi} = \frac{\kappa - 1}{V} \Sigma \frac{dQ}{d\phi} \quad (14)$$

$$\frac{dT}{d\phi} + (\kappa - 1) \frac{TdV}{Vd\phi} = \frac{1}{\mu C_v M} \Sigma \frac{dQ}{d\phi} \quad (15)$$

На этой основе была разработана исходная модель расчета ПЗВ, с учетом режима работы дизеля, свойств топлив и параметров топливоподачи:

$$\bar{\phi}_i = \frac{\phi_i}{\phi_{впр}} = \sqrt{6 \cdot n \cdot 10^{-4}} \times \left\{ \frac{\ln \left[\rho_T \left(\frac{O_{онВПР}}{K_T} - O_{НВ} \right) \right]}{a} + \left[\frac{A}{2} \sqrt{\rho_T - \frac{(1 - \phi_{впр} / O_{онВПР})}{K_T}} \right] \frac{\sqrt{a_1 - 1}}{\psi \cdot O_{онВПР}} \right\} \quad (16)$$

где: ϕ_i - период задержки воспламенения в градусах п.к.в.;

$\phi_{впр}$ - продолжительность впрыскивания в градусах п.к.в.;

n - частота вращения, мин^{-1} ;

ρ_T – суммарная плотность топлива, подсчитанная для смесевых топлив на основе принципа аддитивности, г/см^3 ;

$\theta_{онВПР}$, - угол опережения впрыскивания топлива в градусах и радианах угла п.к.в., соответственно;

$\theta_{НВ}$ - безразмерная температура в момент начала впрыскивания;

K_T - фактор, характеризующий свойства топлива;

A - коэффициент, зависящий от свойств топлива;

ψ - отношение характеристик выделения и стока теплоты (скоростей химических и физических реакций);

a_1 - коэффициент, зависящий от конструктивных параметров дизеля и параметров топливоподачи.

Цетановое число суммарного топлива вычислялось по выражению

$$ЦЧ_{\Sigma} = ЦЧ_{а0} - \Delta ЦЧ, \quad (17)$$

$$\text{где } ЦЧ_{а0} = ЦЧ_1 \times M_1 + ЦЧ_2 \times M_2 + ЦЧ_{ЭМ1} \times M_{ЭМ1} + ЦЧ_{ЭМ2} \times M_{ЭМ2}, \quad (18)$$

$ЦЧ_1, ЦЧ_2, ЦЧ_{ЭМ1}, ЦЧ_{ЭМ2}$ - соответственно, ЦЧ нового топлива, ДТ и каждого эмульгатора;

$M_1, M_2, M_{ЭМ1}$ и $M_{ЭМ2}$ - доля нового топлива, ДТ и каждого эмульгатора;

$$\Delta ЦЧ = [\ln(100M_1) - 1] \times \ln ЦЧ_2^I, \quad (19)$$

$$\text{где } ЦЧ_2^I = ЦЧ_2(M_2/(M_2+M_{ЭМ1}+M_{ЭМ2})) + ЦЧ_{ЭМ}(M_{ЭМ1}+M_{ЭМ2}/M_2+M_{ЭМ1}+M_{ЭМ2}) \quad (20)$$

Структура уравнения (16) соответствует приближенной модели воспламенения только в конкретных условиях. Считается, что для чистого ДТ $\tau_\phi \approx \tau_i$. Присутствие в дизельном топливе метанола обеспечивает определенное снижение отношения τ_ϕ/τ_i до уровня 0,57...0,67 или $\tau_i/\tau_\phi=1,5...1,75$, а в случае применения биотоплива соотношение τ_ϕ/τ_i составит 0,84...0,95. Поэтому сохранение отношения характеристик выделения и стока теплоты ψ при внесении добавок в дизельное топливо неправомерно.

Структура используемых формул такова, что величина φ_I весьма чувствительна к величине параметра ψ . При частотах вращения коленчатого вала свыше 2000 мин⁻¹ и малых установочных углах опережения впрыскивания топлива $\Theta = 18...20^\circ$ до ВМТ значения ψ могут выходить за допустимые пределы, снижая точность расчетов. В этих точках было принято целесообразным ограничить показатель адиабаты сжатия на уровне $n_I=1,36$.

Меняют свое значение и другие численные коэффициенты в уравнении (16) – относительная степень испарения топлива за период задержки воспламенения, безразмерная температура в момент начала впрыскивания.

Для расчета ПЗВ при работе дизеля с добавкой РМ исходная модель была доработана до следующего вида:

$$\bar{\varphi}_i = \frac{\varphi_i}{\varphi_{\text{всп}}} = \sqrt{6 \cdot n \cdot 10^{-4}} \times \left\{ \frac{1 - \Theta_{\text{не}}}{a} \cdot \Theta_{\text{он.всп}}^p + 0,085 \left(2 + \frac{\varphi_{\text{всп}}}{\Theta_{\text{он.всп}}} \right) \frac{\sqrt{a_1 - 1}}{\Psi \cdot \Theta_{\text{он.всп}}^p} \right\} \quad (21)$$

Кроме того, были разработаны программы, реализованные на ПЭВМ. На рис. 4 приведены номограммы для определения ПЗВ при работе дизеля на МТЭ и РМ.

После преобразования уравнений 14 и 15 был проведен расчет параметров фазы быстрого горения:

P_z определялось в зависимости от объема испарившегося за τ_i топлива:

- для случая применения МТЭ:

$$P_z = P_c + 5,39 \cdot 10^{-4} \cdot m_{v,i} \cdot H_u \cdot (n_1 - 1) / V_c \quad (22)$$

- для случая применения смесей РМ и ДТ:

$$P_z = P_c + 3,39 \times 10^{-4} \times (m_{v,i} \times H_u + q_{ц.рм} \times H_{u,рм})(n_1 - 1) / V_c \quad (23)$$

где: P_c – давление в конце сжатия, МПа;

$m_{v,i}$ – количество топлива, испаряющегося в течении ПЗВ, г;

H_u – теплота сгорания суммарного топлива, кДж/кг;

n_1 – показатель политропы;

V_c – объем камеры сжатия, м³.

Для расчета других параметров фазы быстрого горения были использованы зависимости, учитывающие характерные особенности топливоподачи в виде смеси.

Максимальная скорость нарастания давления определялась, как:

$$\left(\frac{dp}{d\phi} \right)_{\max} = \frac{6 \cdot n \cdot 10^{-3}}{\left(\sqrt{K_{T,\Sigma}} \cdot d_{20,\Sigma}^{20} \right)} \cdot \frac{P_z \cdot P'}{\phi_i} \cdot \left(\frac{m_{v,i}}{q_{ц}} \cdot \frac{1 + q_{ц,сп} / (q_{ц} \cdot \alpha)}{1 + q_{ц,сп} / q_{ц}} \cdot \tau_i \cdot \frac{100}{ЦЧ_{\Sigma}} \right) \quad (24)$$

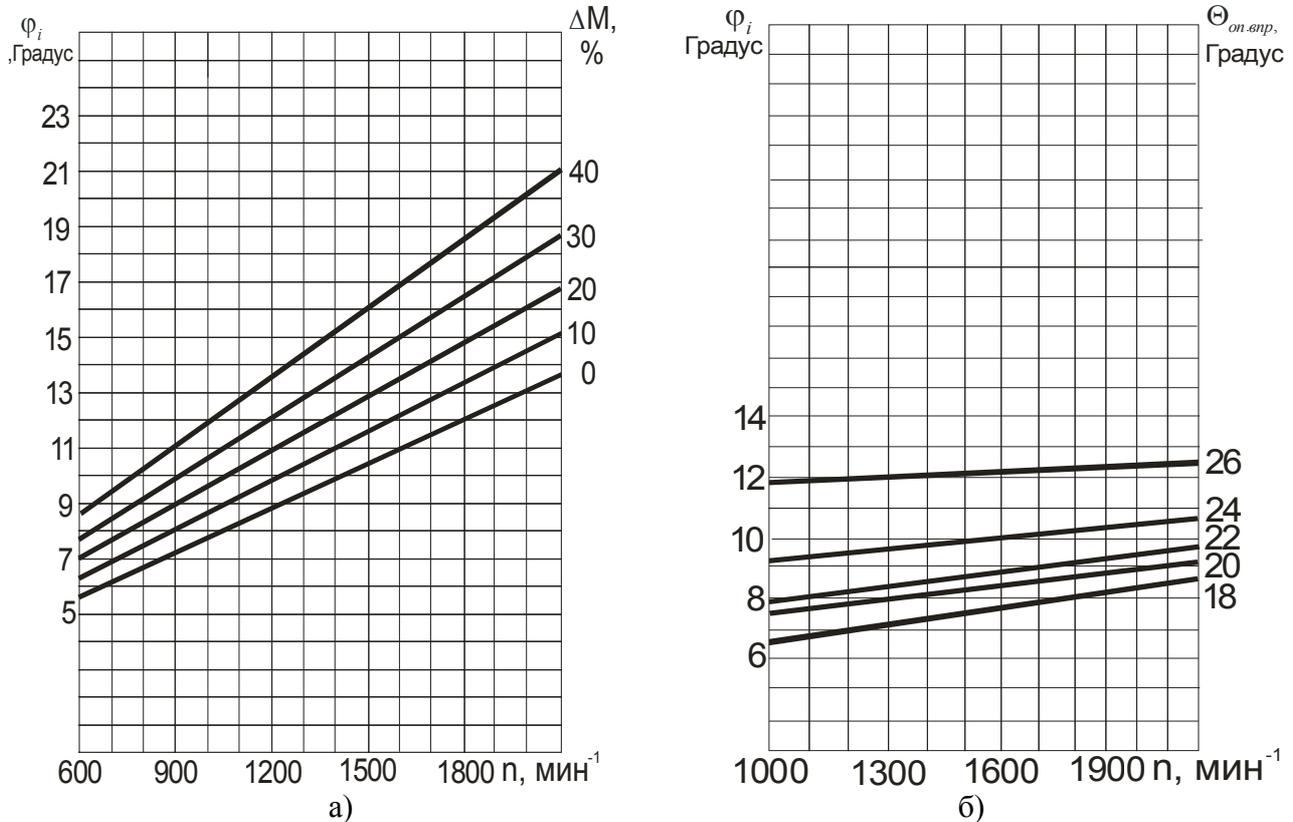


Рис. 4. Номограммы для определения ПЗВ при работе дизеля на различных режимах: а) при работе на МТЭ; б) при работе с добавкой РМ

Средняя скорость нарастания давления $(\Delta p/d\phi)_{\text{ср}}$ подсчитывалась, как:

$$\left(\frac{\Delta p}{d\phi} \right)_{\text{ср}} = (P_z - P'_c) \cdot (\phi_z + \Theta_{\text{впр}}^p - \phi_i) \quad (25)$$

Угол ϕ_z определялся из полученного уравнения:

$$\phi_z = \phi_i - \Theta_{\text{впр}}^p + \left(\frac{ЦЧ_{\Sigma}}{100} \right) \cdot d_{20,\Sigma}^{20} \cdot \left(\frac{\phi_{\text{впр}}}{i_{v,i,\Sigma}} \right) \quad (26)$$

Расчеты показали, что присутствие добавочного топлива ведет к росту максимального значения давления P_z , повышению жесткости работы дизеля, изменению угла ϕ_z . В таблице 1 приведены данные расчета параметров фазы быстрого сгорания при работе дизеля 4Ч 11,0/12,5 на рапсовом масле.

Анализ данных показывает, что, несмотря на работоспособность дизеля, применение рапсового масла в чистом виде снизит показатели его надежности и долговечности. В эксплуатационных условиях целесообразно применение смесей рапсового масла с дизельным топливом.

Параметры фазы быстрого сгорания при работе дизеля 4Ч 11,0/12,5 на РМ

Состав топлива	Частота вращения мин ⁻¹	G _г , кг/ч	α	$\theta_{он.всп}$	P_z , МПа	$(dp/d\varphi)_{max}$ МПа/град	φ_z , град	$(dp/d\varphi)_{cp}$ МПа/град
РМ-100%	1000	7,0	1,73	18	10,915	1,427	8,78	0,462
				20	10,915	1,386	8,19	0,519
				22	10,915	1,327	7,87	0,593
				24	10,915	1,237	8,09	0,692
				26	10,915	1,081	9,77	0,831
	1300	8,8	1,722	18	10,881	1,517	9,68	0,469
				20	10,881	1,476	9,08	0,527
				22	10,881	1,417	8,72	0,603
				24	10,881	1,331	8,83	0,703
				26	10,881	1,186	10,13	0,844
	1600	10,9	1,715	18	11,032	1,518	10,54	0,494
				20	11,032	1,479	9,92	0,556
				22	11,032	1,425	9,52	0,635
				24	11,032	1,347	9,53	0,741
				26	11,032	1,218	10,54	0,889
	1900	12,0	1,712	18	10,790	1,360	11,41	0,479
				20	10,790	1,328	10,77	0,539
				22	10,790	1,284	10,33	0,616
				24	10,790	1,219	10,27	0,718
				26	10,790	1,115	11,06	0,862
2200	13,6	1,70	18	10,804	1,143	12,38	0,489	
			20	10,804	1,117	11,73	0,550	
			22	10,804	1,082	11,27	0,629	
			24	10,804	1,031	11,16	0,734	
			26	10,804	0,952	11,79	0,881	

В третьем разделе рассмотрены особенности применения методик, которые использовались в экспериментальных исследованиях, разработанных экспериментальных установок, использованного оборудования и приборов.

При монтаже приборов и оборудования, исследованиях стабильности, стендовых испытаниях топливной аппаратуры и дизелей, газоанализе учитывались требования ГОСТа 18509-88, ГОСТа 20000-82, ГОСТа 17.2.1.03-84, ГОСТа 17.2.1.02-76, ГОСТа 17.2.2.02-98, ГОСТа Р 17.2.2.06-99, ГОСТа Р ИСО 3046-1-99, ГОСТа Р ИСО 8178-7-99, а при анализе полученных результатов требования ГОСТа 17.2.2.05-97, ГОСТа 17.2.2.01-84, ГОСТа Р 17.2.2.07-2000.

Лабораторные исследования стабильности МТЭ и смесей РМ и ДТ проводились по методике НПО «Синтез ПАВ».

При сравнительных испытаниях работы топливной аппаратуры дизеля учитывались требования ГОСТа 10578-86 и ГОСТа 10579-88.

Для облегчения и ускорения расчетов ПЗВ и параметров фазы быстрого сгорания в дизеле в соответствии с методикой было разработано программное обеспечение для ПЭВМ с выводом результатов на печать.

Обработка индикаторных диаграмм рабочего процесса дизеля при работе на различных режимах и составах топлив осуществлялась с помощью ЭВМ ЕС-1020 и ПЭВМ по методике ЦНИДИ. Отбор проб и анализ ОГ проводился на автоматических газоанализаторах АСГА-Т и Мага MGT-5 с соблюдением требований инструкции.

В разделе приведена структурная схема проведения исследований, а также конструктивно-технологические схемы модернизированных элементов, систем питания и регулирования топливоподачи дизелей.

В разделе также описаны методики обработки результатов исследований и определения результатов измерений.

В четвертом разделе представлены результаты экспериментальных исследований по улучшению эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения метанола-топливных эмульсий.

Для приготовления МТЭ использовались эмульгаторы: бутанол, олеиновая кислота, ФП-56а, пентол, ТЭП-101, нефтяной сульфонат, эдималь, амикром, сукцинимид (С-5А). Результаты исследования показали, что наибольшее значение стабильности достигается при использовании ТЭП-101 и С-5А. Так, 1% присадки ТЭП-101 достаточно для стабильности эмульсии с содержанием 30% метанола в течение 5 минут, причём с уменьшением количества метанола время возрастает в несколько раз. Это позволяет рекомендовать ТЭП-101 для приготовления МТЭ непосредственно в топливной системе дизеля.

Объем 0,5% С-5А обеспечивает стабильность эмульсии, содержащей 40% метанола в течение 5 часов. Стабильность эмульсий в этом опыте была прямо пропорциональна содержанию ПАВ и обратно пропорциональна содержанию метанола. Наибольшую стабильность имела проба с 5% метанола и 2% эмульгатора – 36 часов. Результаты позволяют говорить о возможности применения С-5А для приготовления эмульсий вне топливной системы дизеля. В дальнейших испытаниях было принято применение 1,0% эмульгатора.

С целью определения склонности МТЭ к изменению однородности состава и времени до полного разделения на две фазы были проведены исследования стабильности эмульсий к седиментации и коалесценции. Для исследования использовались эмульсии с наибольшим содержанием метанола – 40% – как наиболее неустойчивые. Результаты показали, что выделение осадка у эмульсий, содержащих 0,5% ПАВ начинается через 5 часов после приготовления, и заканчивается через 30 часов. У эмульсий, содержащих 1,0 и 2,0% присадки явление седиментации начинается позже. Во всех случаях выделение отстоя прекращается через 30...35 часов после приготовления эмульсий и выделения 30% от первоначальной высоты столба пробы исследуемой эмульсии.

Следовательно, эмульсии имеют «запас прочности» в течение времени процесса седиментации. В это время проба эмульсии может принять однородный состав за счёт лёгкого встряхивания (или вибрации двигателя).

После завершения седиментации в пробе эмульсии начинаются процессы флокуляции – образования капель ингредиентов и коалесценции – разделения

дисперсионной среды на метанольную и углеводородную фазы. Для исследуемых эмульсий стабильность к коалесценции составила от 5 до 7 суток.

Для оценки влияния МТЭ на изменение параметров топливоподачи проводились сравнительные исследования работы топливоподающей аппаратуры.

Определённые значения плотности для ДТ: $\rho=0,82 \text{ г/см}^3$ и МТЭ с содержанием метанола 5, 10, 20, и 30% практически не отличались друг от друга. Вязкость эмульсии с содержанием метанола 5, 10, 20, и 30% составляла 3,40, 3,25, 2,95 и 2,66 ($\times 10^{-6}$) $\text{м}^2/\text{с}$, соответственно. Вязкость чистого ДТ, замеренная при той же температуре (298 К), составляла $3,53 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. При снятии характеристик топливного насоса 4УТНМ была использована эмульсия, содержащая 30% метанола и чистое ДТ. Обязательным условием при этом являлось сохранение фиксированного положения рейки ТНВД.

Результаты испытаний показали, что при работе на ДТ в номинальном режиме $q_{ц}=60 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, а при работе с добавлением метанола $q_{ц}=57 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, т.е. снижение составляет 5%. То же наблюдалось и на других частотах вращения. Снижение величины цикловой подачи может быть объяснено увеличением гидравлических потерь вследствие меньшей, чем у ДТ, вязкости эмульсии.

Анализ результатов позволяет сделать вывод, что применение МТЭ не вызовет отказов в работе топливной аппаратуры. Рост гидравлических потерь при работе на эмульсии и снижение её расчётной теплоты сгорания могут быть компенсированы увеличением активного хода плунжера.

В разделе приведены результаты влияния МТЭ на регулировки, рабочий процесс, эффективные и токсические показатели работы дизеля 2Ч 10,5/12,0.

При работе дизеля на чистом ДТ оптимальным углом опережения впрыскивания топлива является $\theta_{впр}=30^0$. При работе на МТЭ характер изменения кривых удельного расхода топлива, эффективной мощности и крутящего момента несколько изменяется. Однако, учитывая лучшую экономичность работы дизеля и максимальное значение достигаемой эффективной мощности оптимальным углом также было принято значение $\theta_{впр}=30^0$.

Для обеспечения нормальной работы дизеля количество метанола в топливе в испытаниях было ограничено 30%. Рост присутствия метанола в МТЭ ведет к увеличению периода задержки воспламенения. Так, при частоте вращения 1800 мин^{-1} и работе на чистом ДТ, угол $\varphi_{д}=24,2$ градуса, а при содержании метанола в эмульсии 10%, 20% и 30% он равен соответственно $\varphi_{м10}=25,5$ градуса, $\varphi_{м20}=26,3$ градуса и $\varphi_{м30}=27,8$ градуса.

Рост периода задержки воспламенения обуславливает накопление большого количества топлива, впрыснутого в цилиндр за это время и увеличение скорости сгорания. В результате повышается жёсткость процесса. Так, при $n=1800 \text{ мин}^{-1}$ и работе по дизельному процессу $(dp/d\varphi)_{\max д}=0,461 \text{ МПа/градус}$, а при работе на эмульсии $(dp/d\varphi)_{\max м10}=0,524 \text{ МПа/градус}$, $(dp/d\varphi)_{\max м20}=0,570 \text{ МПа/градус}$ и $(dp/d\varphi)_{\max м30}=0,627 \text{ МПа/градус}$. Работа дизеля на МТЭ сопровождается увеличением максимального давления p_z . Так, при частоте 1800 мин^{-1} $p_{z д}=7,276 \text{ МПа}$, $p_{z м10}=7,398 \text{ МПа}$, $p_{z м20}=7,471 \text{ МПа}$ и $p_{z м30}=7,535 \text{ МПа}$.

Анализ кривых выделения теплоты x , активного тепловыделения x_i и динамики использования теплоты позволяет заключить, что сгорание МТЭ начинается позднее, чем ДТ, но идёт быстрее. Так, в в.м.т. $x_{i д} = 0,240$, $x_{i м10} = 0,240$, $x_{i м20} = 0,218$ и $x_{i м30} = 0,189$. Процесс сгорания заканчивается одновременно. Ускорение процесса сгорания обуславливает рост скорости тепловыделения. Если для ДТ $(dx/d\varphi)_{\max д} = 0,058$, то при работе на МТЭ эти значения равны $(dx/d\varphi)_{\max м10} = 0,066$, $(dx/d\varphi)_{\max м20} = 0,073$ и $(dx/d\varphi)_{\max м30} = 0,082$. Увеличение максимальной скорости тепловыделения объясняет рост жёсткости процесса сгорания и обуславливается увеличением периода задержки воспламенения, в течение которого впрыскивается большое количество топлива, сгорающего впоследствии с повышенной быстротой. Таким образом, анализ индцирования говорит о росте скорости процесса сгорания МТЭ на всех режимах работы дизеля.

Как видно из графиков (рис 5,а), во всём диапазоне изменения нагрузки растёт суммарный часовой расход топлива при работе на эмульсии. В то же время, расход ДТ уменьшается за счёт замещения его метанолом. Так, на номинальной нагрузке при $p_e = 0,6$ МПа и работе на дизельном топливе $G_{дт} = 4,5$ кг/ч, а при работе на метаноле-топливной эмульсии с содержанием метанола 10, 20 и 30% расход ДТ составляет 4,34; 4,21 и 3,95 кг/ч, т.е. сокращение расхода ДТ равняется, соответственно, 3,5%, 6,4% и 13,7%. Значение эффективного к.п.д. остается неизменным. Максимум его, как и минимум удельного эффективного расхода топлива, сдвигается в сторону меньших нагрузок. Температура ОГ при работе дизеля на МТЭ ниже соответствующих значений для ДТ на 25...75°.

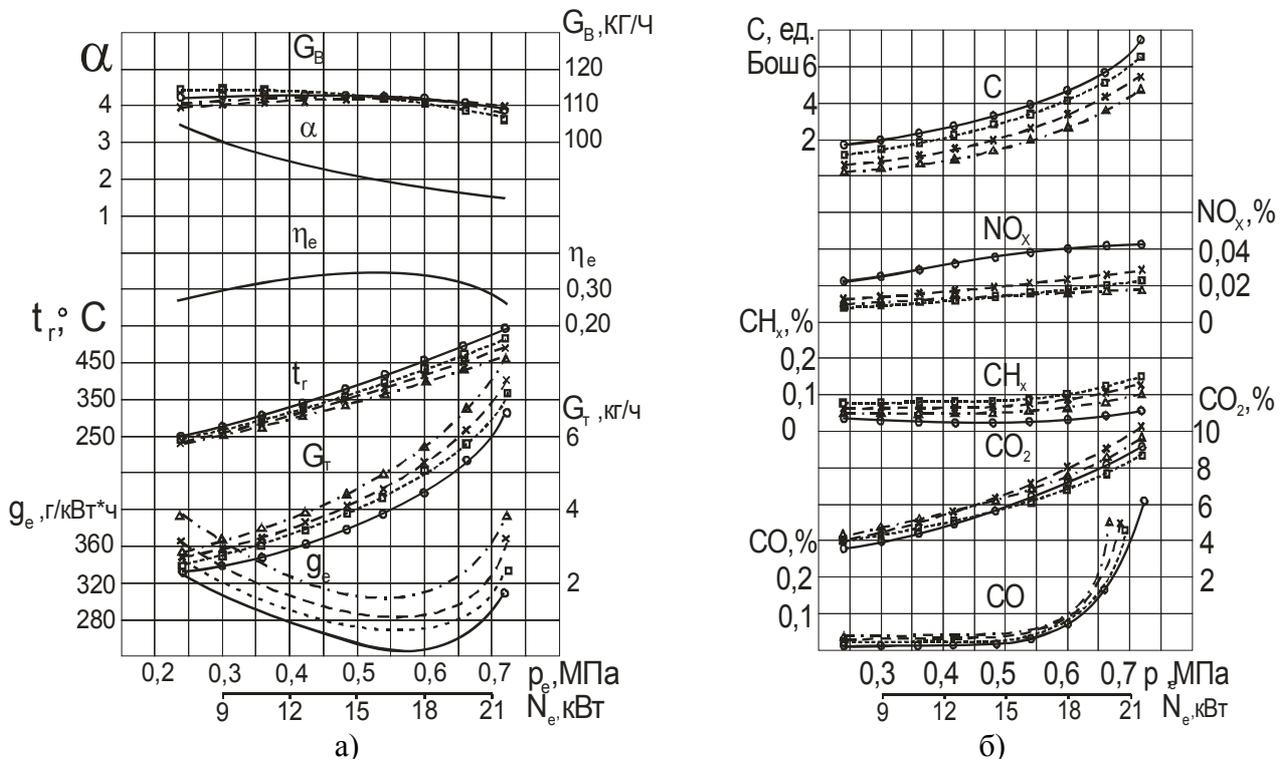


Рис. 5. Влияние состава МТЭ на: а) мощностные и экономические показатели; б) показатели дымности и токсичности ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от нагрузки при $n=1800$ мин⁻¹; ○—○ - дизельное топливо; □—□ - 10% метанола в топливе; ✕—✕ - 20% метанола в топливе; ▲—▲ - 30% метанола в топливе;

На рис. 5,б показано содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля в зависимости от нагрузки. Видно, что содержание оксидов азота NO_x в ОГ при работе на МТЭ уменьшается. Так, на номинальном режиме при $p_e=0,6$ МПа концентрация NO_x в ОГ для работы на ДТ составляет 0,036%, а для эмульсии, содержащей 30% метанола, это значение равно 0,017%. Содержание сажи в ОГ также снижается и на номинальном скоростном режиме уменьшение ее выбросов с ОГ составляет, соответственно 17%, 37% и 48% для случаев содержания в эмульсии 10, 20 и 30% метанола. Уровень концентрации СО в ОГ практически не отличается от его значения для серийного дизеля и лишь при нагрузках выше номинальной, несколько возрастает. Концентрация CO_2 в ОГ меняется неоднородно. Так, при повышении p_e от 0,24 МПа до 0,72 МПа содержание CO_2 увеличивается от 3,77% до 9,13% для случая дизельного топлива и от 4,31% до 9,81% для работы на эмульсии с 30% метанола. Содержание суммарных углеводородов C_nH_m в ОГ несколько возрастает при работе на эмульсии. Решающее значение в этом случае оказывает ускорение процесса горения, снижение осреднённой температуры цикла и, как следствие, температуры ОГ. В итоге на номинальном режиме при $p_e=0,6$ МПа, концентрация C_nH_m увеличивается от 0,05% для случая ДТ до 0,1% для случая 30% метанола в эмульсии.

Испытания, проведённые на МТЭ, приготовленной в топливной системе дизеля с использованием разработанного смесителя [а.с. СССР № 1731973], дали аналогичные результаты

В дальнейшем были проведены экспериментальные исследования по улучшению эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения МТЭ с присадками целенаправленного действия.

Для приготовления МТЭ использовались эмульгаторы КС-17, МР, КС-18, Амикром МЧ Л/98, С-5А, и их композиции: С-5А и Амикром МЧ-Л/98, С-5А и КС-18. Результаты исследования показали, что введения 1% С-5А в состав, содержащий 0,2% КС-18 и 40% метанола достаточно для обеспечения стабильности в течение 4 часов. Учитывая, что присадка КС-18 обеспечена отечественной сырьевой, технологической и производственной базой, в дальнейших исследованиях была выбрана композиция, содержащая 0,2 % КС-18 и 15 С-5А.

С целью определения склонности МТЭ к изменению однородности состава были проведены исследования стабильности эмульсий, приготавливаемых с применением С-5А к седиментации и коалесценции. Для исследований использовались эмульсии с наибольшим содержанием метанола – 50%. Содержание композиции присадок изменяет время до начала седиментации, но не влияет на интенсивность протекания самого процесса. Так, выделение осадка у МТЭ, содержащих 0,5% присадки С-5А, начинается через 3 часа после приготовления, и заканчивается через 24 часа. У МТЭ, содержащих 1,0 и 2,0% присадки явление седиментации начинается позже, но заканчивается в одно время. Во всех случаях выделение отстоя прекращается через 24...30 часов после приготовления МТЭ и выделения 30% от первоначальной высоты столба пробы. Для исследуемых эмульсий стабильность к коалесценции составила от 4 до 6 суток.

Для оценки влияния применения МТЭ на изменение параметров топливоподачи проводились сравнительные исследования работы топливоподающей аппаратуры. Определённые значения плотности для ДТ: $\rho=0,82 \text{ г/см}^3$ и МТЭ с содержанием метанола 10, 20, 30 и 40% практически не отличались друг от друга. Вязкость эмульсий составляла 3,25, 2,95, 2,65 и 2,35 ($\times 10^{-6}$) м²/с, соответственно. Вязкость чистого ДТ, замеренная при той же температуре (298 К), составляла $3,53 \times 10^{-6}$ м²/с.

При снятии характеристик топливного насоса 2УТНМ была использована эмульсия, содержащая 35% метанола и чистое ДТ. Обязательным условием при этом являлось сохранение фиксированного положения рейки топливного насоса. В связи с тем, что теплота сгорания у ДТ и МТЭ различна, возникла необходимость сохранения закона топливоподачи при работе на МТЭ. Для этого необходимо было скорректировать угол наклона винтовой канавки плунжера топливного насоса высокого давления согласно формулы.

$$\alpha_1 = \arctg\left(\frac{\Theta_{ДТ}}{\Theta_{АТ}} \cdot \text{tg}\alpha\right) \quad (27)$$

где: $\Theta_{ДТ}$, $\Theta_{АТ}$ – соответственно, теплота сгорания ДТ и МТЭ,

α_1 , α – соответственно, угол наклона винтовой канавки плунжера для работы на МТЭ и чистом ДТ.

Анализ результатов показал, что применение МТЭ с улучшенными свойствами не вызывает отказов в работе топливной аппаратуры. Рост гидравлических потерь при работе на МТЭ и снижение ее расчётной теплоты сгорания компенсируются изменением наклона винтовой канавки плунжера с 38° до 44°.

В разделе также приведены результаты влияния МТЭ на регулировки, рабочий процесс, эффективные и токсические показатели работы дизеля.

При работе дизеля на чистом ДТ оптимальным углом опережения впрыскивания топлива является $\theta_{впр}=30^0$. При работе на МТЭ характер изменения кривых удельного расхода топлива, эффективной мощности и крутящего момента несколько изменяется. Однако, учитывая лучшую экономичность работы дизеля и максимальное значение достигаемой эффективной мощности оптимальным углом также было принято значение $\theta_{впр}=30^0$.

Для обеспечения нормальной работы дизеля количество метанола в топливе в испытаниях было ограничено 35%. Рост присутствия метанола в МТЭ ведет к увеличению периода задержки воспламенения. Так, при частоте вращения 1800 мин⁻¹ и работе на чистом ДТ угол $\phi_{д} = 24,2$ градуса, а при содержании метанола в топливе 20% и 35% он равен, соответственно, $\phi_{М20} = 27,2$ градуса и $\phi_{М35} = 32$ градуса.

Рост периода задержки воспламенения обуславливает повышение жёсткости процесса. Так, при $n = 1800 \text{ мин}^{-1}$ и работе на дизельном топливе $(dp/d\phi)_{\max ДТ} = 0,461 \text{ МПа/градус}$, а при работе на МТЭ $(dp/d\phi)_{\max М20} = 0,587 \text{ МПа/градус}$ и $(dp/d\phi)_{\max М35} = 0,634 \text{ МПа/градус}$. Максимальное давление в цилиндре дизеля при работе на ДТ составляет $P_{ЗДТ} = 7,571 \text{ МПа}$, а при работе на МТЭ с содержанием метанола 20 и 35% $P_{ЗМ20} = 7,725 \text{ МПа}$ и $P_{ЗМ35} = 7,866 \text{ МПа}$.

Сгорание МТЭ с присадками целенаправленного действия начинается позднее, чем ДТ, но идет быстрее. По кривым динамики активного тепловыделения видно, что выделение теплоты ускоряется, однако, процесс сгорания заканчивается одновременно. Ускорение процесса сгорания обуславливает рост скорости тепловыделения. Если для дизельного топлива $(d\chi/d\phi)_{\max Д} = 0,061$, то при работе на МТЭ эти значения равны, соответственно, $(d\chi/d\phi)_{\max М20} = 0,097$ и $(d\chi/d\phi)_{\max М35} = 0,128$. Увеличение максимальной скорости тепловыделения объясняет рост жесткости процесса сгорания. Анализ индицирования говорит о росте скорости процесса сгорания МТЭ с присадками целенаправленного действия на всех режимах работы дизеля.

На рис. 6,а представлены нагрузочные характеристики дизеля.

Как видно из графиков, во всём диапазоне изменения нагрузки растёт суммарный часовой расход топлива при работе на МТЭ с присадками целенаправленного действия. В то же самое время расход чистого ДТ уменьшается за счёт замещения его метанолом. Так, на номинальной нагрузке при $p_e = 0,59$ МПа и работе на чистом дизельном топливе $G_{дт} = 4,55$ кг/ч, а при работе на МТЭ с содержанием метанола 20% и 35% его расход составляет 4,1 и 3,7 кг/ч, то есть сокращение расхода ДТ равняется, соответственно, 11% и 19%. На больших нагрузках, например, при $p_e = 0,69$ МПа сокращение расхода ДТ достигает 23% в случае работы на топливе с содержанием 35% метанола.

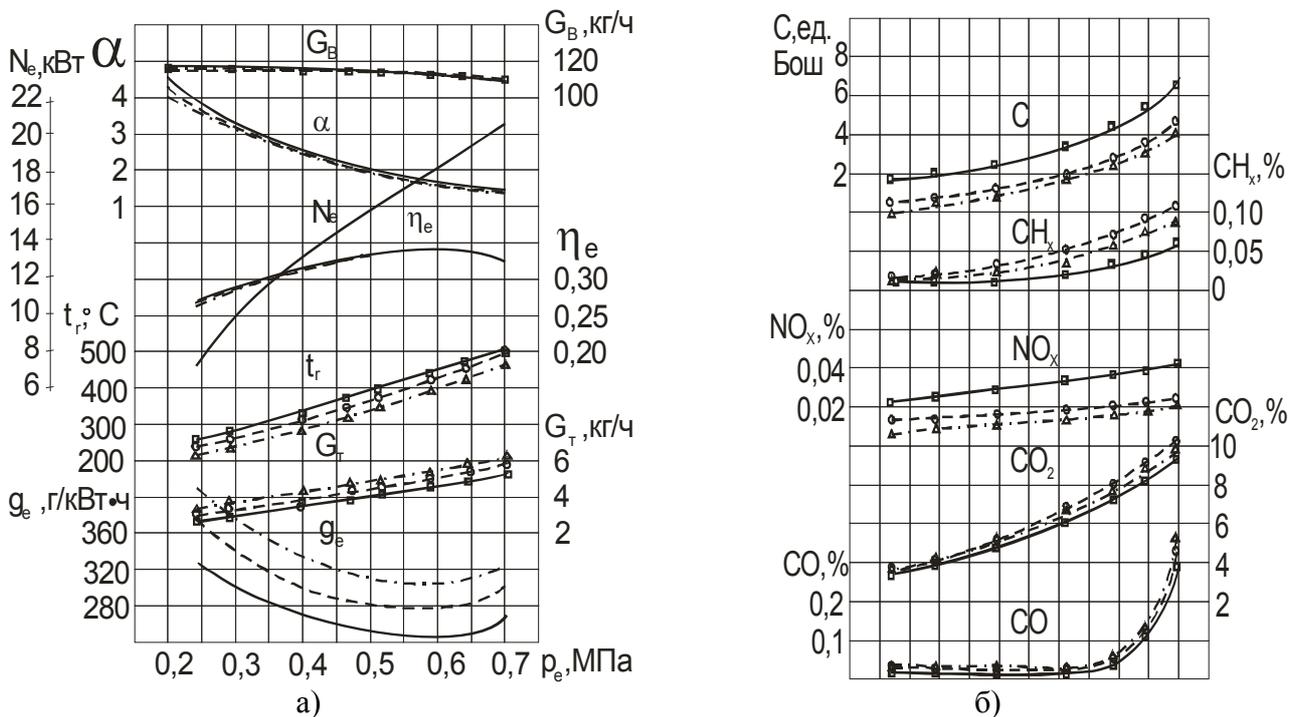


Рис. 6. Влияние состава МТЭ на: а) мощностные и экономические показатели; б) показатели дымности и токсичности ОГ дизеля 2Ч 10,5/12,0 в зависимости от нагрузки при $n=1800$ мин⁻¹; \square — дизельное топливо; \circ — 20% метанола в топливе; Δ — 35% метанола в топливе

Минимум удельного эффективного расхода топлива для случая работы на чистом дизельном топливе достигается при $p_e = 0,60$ МПа и составляет $g_{e \min} =$

247 г/кВт·ч. При работе дизеля на МТЭ этот минимум несколько сдвигается в сторону меньших нагрузок. Так, для топлива с 20% метанола $g_{\text{emin}20} = 268$ г/кВт·ч при $p_e = 0,58$ МПа и для топлива с 35% метанола $g_{\text{emin}35} = 304$ г/кВт·ч при $p_e = 0,55$ МПа. Максимум эффективного к.п.д. также несколько смещается в сторону меньших нагрузок при работе его на МТЭ. Коэффициент наполнения не изменяется во всём диапазоне нагрузок по отношению к значениям при работе на чисто дизельном топливе.

На рис. 6,б показано содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля в зависимости от нагрузки.

Содержание оксидов азота NO_x в ОГ при работе на МТЭ уменьшается. Так, на номинальном режиме при $p_e = 0,59$ МПа концентрация NO_x в ОГ для чисто дизельного топлива составляет 0,036%, а для топлива, содержащего 35% метанола, это значение равно 0,014%. Содержание сажи в ОГ также снижается и на номинальном скоростном режиме при $p_e = 0,59$ МПа, уменьшение выбросов сажи с ОГ составляет, соответственно, 36% и 53% для случаев содержания в топливе 20% и 35% метанола. Содержание CO_2 увеличивается от 3,77% до 9,13% для ДТ и от 3,91% до 9,88% для работы на МТЭ с 35% метанола, содержание CO не изменяется. Содержание суммарных углеводородов C_nH_x в ОГ несколько возрастает при работе на МТЭ. На номинальном режиме при $p_e = 0,59$ МПа, концентрация C_nH_x увеличивается от 0,05% для ДТ до 0,12% для случая содержания 35% метанола в топливе.

В пятом разделе приведены результаты экспериментальных исследований по улучшению эксплуатационных показателей тракторных дизелей путем применения смесей рапсового масла с дизельным топливом.

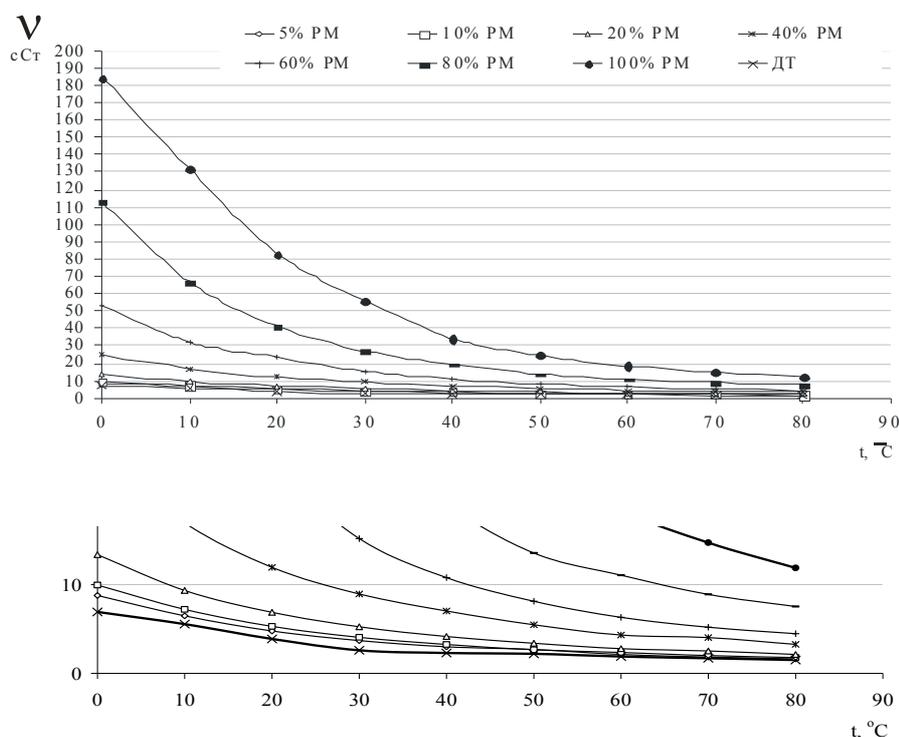


Рис. 7. Зависимости вязкости смесей рапсового масла с дизельным топливом от температуры

Были проведены исследования физической стабильности и однородности смесевых топлив. Исследовались пробы с концентрацией рапсового масла 5%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 95%, (дизельное топливо во всех случаях - до 100%) по массе. Наблюдение за сосудами производилось в первую неделю один раз в день в одно и то же время, далее – один раз в неделю в течение года. Результаты наблюдений показали высокую стабильность и однородность полученных смесевых топлив.

На следующем этапе были проведены исследования вязкости смесей рапсового масла с дизельным топливом при изменении температуры (рис. 7).

Анализ данных позволяет сделать вывод о возможности применения смесей с содержанием РМ в суммарном топливе на уровне 20...40%, подогрев смеси до 70°C позволяет повысить присутствие РМ до 80%.

Для оценки влияния смесей РМ и ДТ на изменение параметров топливоподачи проводились сравнительные исследования работы топливоподающей аппаратуры. Определённые значения плотности составляли для ДТ: $\rho=0,82$ г/см³, для смесей с содержанием РМ 5, 10, 20, 30 и 40%, соответственно, 0,825, 0,83, 0,84, 0,85 и 0,86 г/см³.

При испытаниях насоса 4УТНМ использовались смеси, содержащие 5%, 10%, 15%, 20%, 40%, 60%, 80% РМ и чистое ДТ. Обязательным условием при этом являлось сохранение фиксированного положения рейки ТНВД.

Результаты испытаний показали, что цикловая подача смесевых топлив, содержащего до 20% РМ увеличивается на всех скоростных режимах работы в сравнении с работой на чистом ДТ. Рост же концентрации РМ до 60% и 80% вызывает снижение цикловой подачи смесевых топлив.

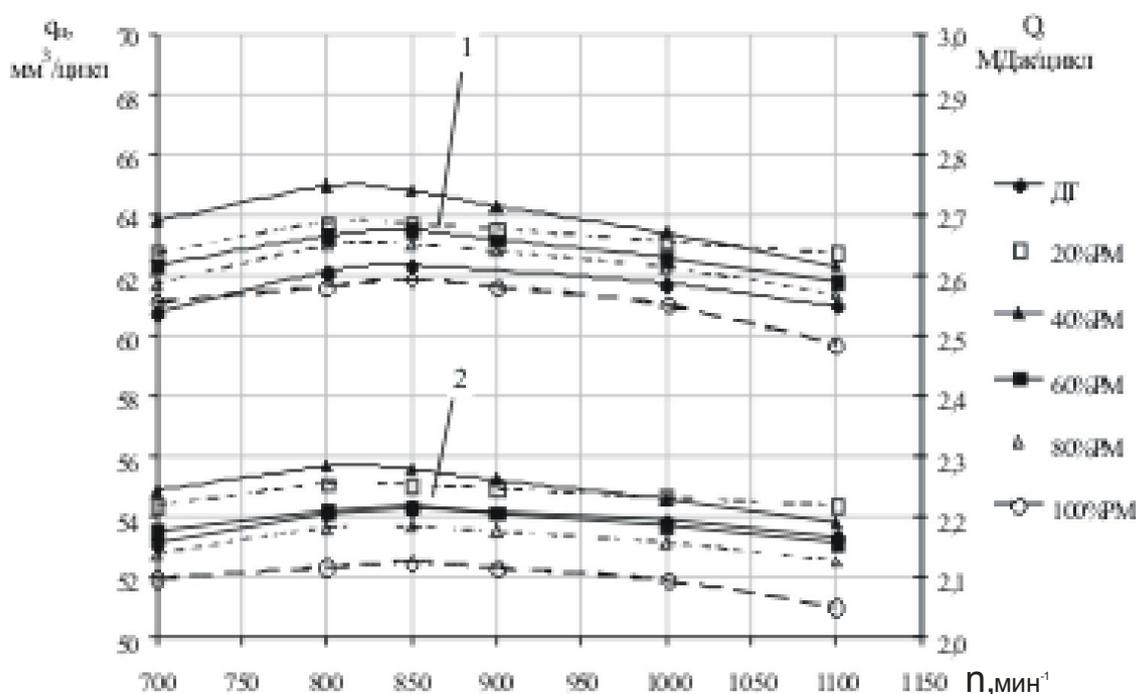


Рис. 8. Скоростные характеристики насоса 4УТНМ для смесевых топлив с концентрацией РМ от 20% до 100%:

1 - цикловая подача топлива ($q_{ц}$); 2 - вводимая с топливом теплота за цикл (Q).

Одновременно подсчитывалось количество вводимой с топливом в цилиндры дизеля теплоты. У топлив, содержащих 20% и 40% РМ, в цилиндр вводится большее количество теплоты, чем с ДТ, рост составляет 1,3...3,4%. Топлива же, содержащие 80% и 100% РМ позволяют ввести в цилиндр меньшее количество тепла, чем ДТ. Характерной особенностью является равенство вводимой в цилиндр теплоты при работе топливной аппаратуры на ДТ и смеси 60%РМ+40%ДТ (рис. 8).

В ходе испытаний также фиксировалась температура топлива в головке ТНВД. Установлено, что при использовании чистого ДТ температура составляет 40°C, при использовании чистого РМ температура возрастает до 53°C.

Характер изменения температуры может быть приближенно описан эмпирическим уравнением вида

$$t = (0,14 \times k) + 39, \quad (28)$$

где t – значение температуры смесового топлива в головке топливного насоса высокого давления, °С;

k – концентрация рапсового масла в смеси, %.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что применение смесей дизельного топлива с рапсовым маслом не вызывает отказов в работе топливной аппаратуры дизеля. Учитывая достаточно жесткие требования к вязкости моторного топлива, было решено в дальнейших испытаниях ограничить содержание рапсового масла в смесовом топливе на уровне 40%.

В разделе также приведены результаты влияния смесей РМ и ДТ на регулировки, эффективные и токсические показатели работы дизеля.

При работе дизеля на чистом ДТ оптимальным углом опережения впрыскивания топлива является значение $\theta_{впр}=20^0$. При работе на смесях РМ и ДТ характер изменения кривых удельного расхода топлива, эффективной мощности и крутящего момента несколько изменяется. Однако, учитывая лучшую экономичность работы дизеля и максимальное значение достигаемой эффективной мощности, оптимальным углом в этом случае также было принято значение $\theta_{впр}=20^0$.

На рис. 9,а представлены нагрузочные характеристики дизеля.

Как видно из графиков, во всём диапазоне изменения нагрузки растёт суммарный часовой расход топлива при работе на смеси. В то же самое время расход чистого ДТ уменьшается за счёт замещения его РМ. Так, на номинальной нагрузке при $p_e = 0,69$ МПа и работе на чистом дизельном топливе $G_{дт} = 13,65$ кг/ч, а при работе на смесовом топливе с содержанием РМ 20% и 40% его расход составляет 11,28 и 8,74 кг/ч, то есть сокращение расхода ДТ равняется, соответственно, 17,4% и 36%.

Значения удельного эффективного расхода топлива g_e возрастают. При работе на ДТ на номинальной нагрузке величина $g_{e\min}=228$ г/кВт·ч, а при работе на смесовых видах топлива с содержанием 20% и 40% РМ $g_{e\min}=235$ г/кВт·ч и 243 г/кВт·ч, соответственно. Значение эффективного КПД при работе дизеля на ДТ и смесях с РМ остаётся практически неизменным и составляет $\eta_e = 0,371$.

На рис. 9,б показано содержание токсичных компонентов в ОГ дизеля в зависимости от нагрузки.

Содержание оксидов азота NO_x в ОГ при работе на смесях ДТ и РМ уменьшается. Так, при $p_e=0,69$ МПа концентрация NO_x в ОГ для ДТ составляет 1356 ppm, а для топлив, содержащих 20% и 40% рапсового масла, 1315 ppm и 1271 ppm, соответственно. Содержание сажи в ОГ также снижается. При $p_e=0,3$ МПа и содержании 20% и 40% рапсового масла в топливе, дымность ОГ снижается по сравнению с работой на чистом ДТ на 4,4% и 13,8%. При росте нагрузки дизеля до $p_e=0,69$ МПа снижение заметнее и составляет, соответственно, 9,5% и 22,5%.

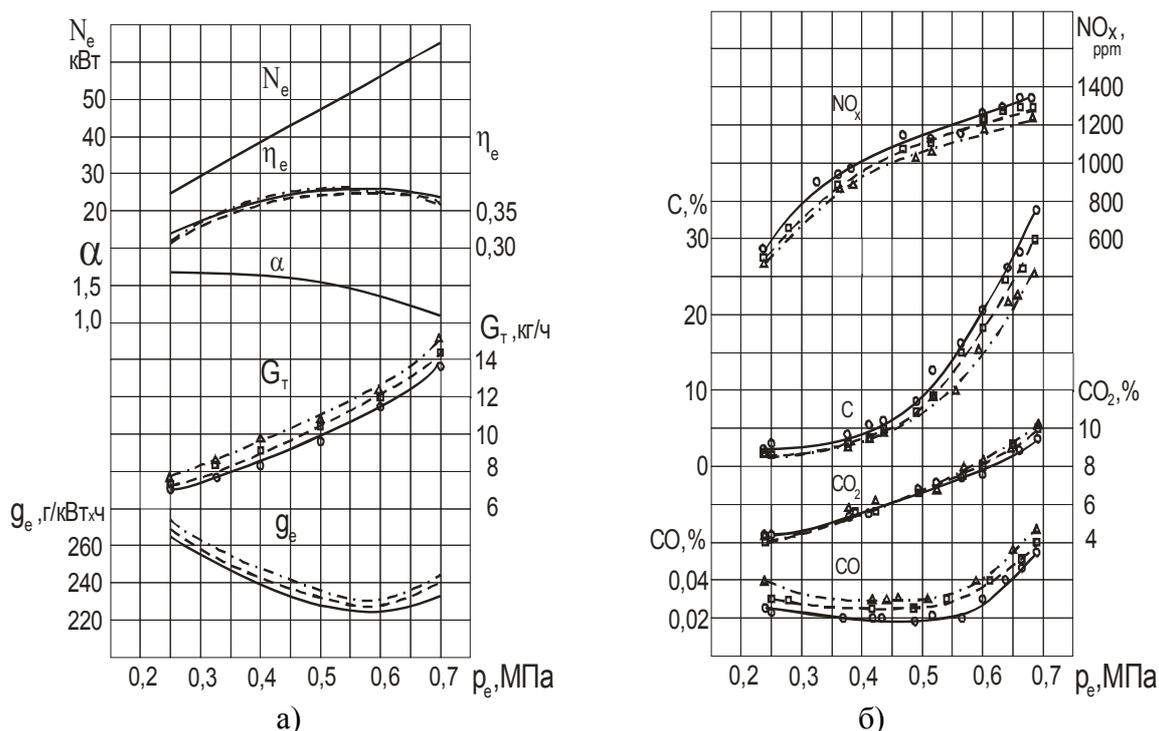


Рис. 9. Влияние состава смесового топлива на: а) мощностные и экономические показатели; б) показатели дымности и токсичности ОГ дизеля 4Ч 11,0/12,5 в зависимости от нагрузки при $n=2200$ мин⁻¹;

○ — 100% ДТ; □ — 80% ДТ+20% РМ; ▲ — 60% ДТ+40% РМ.

Концентрация CO в ОГ при добавлении рапсового масла в ДТ возрастает во всём диапазоне нагрузок. При $p_e=0,3$ МПа уровень CO составляет 0,023%, 0,035 и 0,04%, соответственно, для ДТ и топлив с концентрацией РМ 20% и 40%. А при повышении нагрузки до $p_e = 0,69$ МПа происходит увеличение эмиссии CO . Уровень эмиссии CO_2 при добавках РМ в ДТ изменяется незначительно.

В шестом разделе приведены результаты расчетно-теоретических исследований свойств метанола-топливных эмульсий и показателей работы дизеля 2Ч 10,5/12,0 на основе теории планирования эксперимента с использованием центрального композиционного ротатбельного плана эксперимента первого порядка и трехуровневого плана Бокса-Бенкина второго порядка для трех факторов.

При определении оптимального состава МТЭ на основе плана эксперимента первого порядка было получено следующее уравнение регрессии

$$Y_{\tau,ч} = 4,967 - 3,0 \cdot x_1 + 0,911 \cdot x_2 - 2,311 \cdot x_3 - 0,311 \cdot x_1 x_2 + 2,644 \cdot x_1 x_3 - 0,289 \cdot x_2 x_3 \quad (29)$$

При проверке адекватности полученной модели регрессии опытным данным (по F -критерию Фишера, вероятность $p = 0,95$) оказалось, что полученная модель неадекватно описывает реальный процесс. Кроме того, проверка значимости коэффициентов регрессии показала, что некоторые парные коэффициенты в модели являются значимыми, что свидетельствует о нелинейности рассматриваемых процессов.

В дальнейших исследованиях был реализован трехуровневый план эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка для трех факторов. На основе плана эксперимента было получено следующее уравнение регрессии

$$Y_{\tau,ч} = 2,3 - 1,45X_1 + 2,175X_2 + 0,525X_3 + 1,35X_1^2 - 0,35X_1X_2 + 0,55X_1X_3 + 0,7X_2^2 + 0,8X_2X_3 \quad (30)$$

При проверке соответствия полученной модели опытным данным по F -критерию Фишера (вероятность $p = 0,95$) оказалось, что модель адекватно описывает реальный процесс.

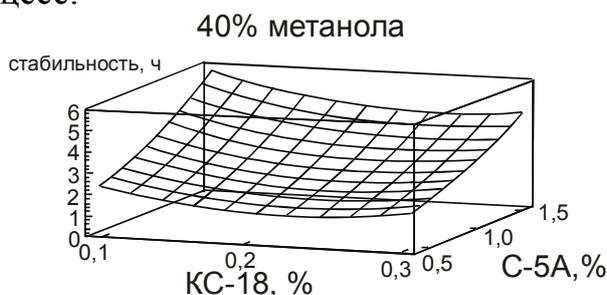


Рис. 10. Зависимости стабильности МТЭ от факторов X_1 и X_2 при $X_3 = +1$

На рис. 10 показана поверхность отклика, построенная по уравнению (30) при фиксированном уровне фактора X_3 (содержание метанола в топливе).

Для определения оптимальных нагрузочных и скоростных режимов работы дизеля в дальнейших исследованиях был реализован трехуровневый план эксперимента Бокса-Бенкина второго порядка для трех факторов.

После реализации плана эксперимента были получены следующие уравнения регрессии:

- для изменение часового расхода топлива

$$Y_{Gm,кг/ч} = 3,464 + 2,6465X_1 + 1,6935X_2 - 0,884X_3 + 0,4515X_1^2 + 0,982X_1X_2 - 0,271X_1X_3 - 0,1735X_2^2 - 0,476X_2X_3 - 0,4835X_3^2; \quad (31)$$

- для изменения эффективного КПД

$$Y_{KПД, \%} = 0,331 + 0,0895X_1 - 0,0395X_2 - 0,002X_3 - 0,0625X_1^2 + 0,008X_1X_2 - 0,005X_1X_3 + 0,0025X_2^2 - 0,0115X_3^2; \quad (32)$$

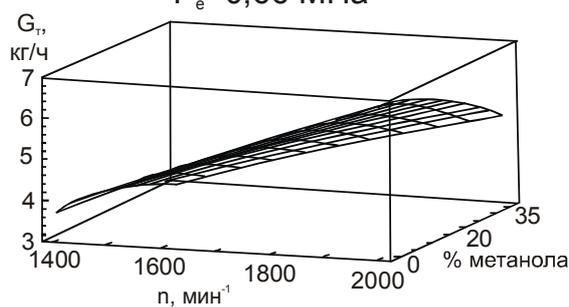
- для содержания в отработавших газах дизеля оксидов азота NO_x

$$Y_{NO, \%} = 0,0195 + 0,009625X_1 + 0,000875X_2 - 0,018X_3 - 0,003875X_1^2 - 0,00075X_1X_2 - 0,0035X_1X_3 - 0,005875X_2^2 - 0,002X_3X_3 + 0,007875X_3^2; \quad (33)$$

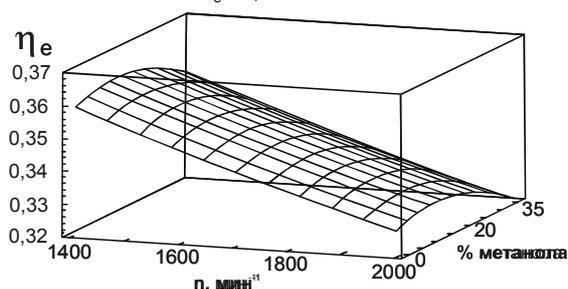
- для содержания в отработавших газах дизеля частиц сажи

$$Y_{C, \text{ед. Бош}} = 1,76 + 3,6075X_1 + 1,94X_2 - 1,9925X_3 + 1,165X_1^2 + 1,415X_1X_2 - 0,42X_1X_3 - 0,6X_2^2 - 0,565X_3X_3 + 0,715X_3^2. \quad (34)$$

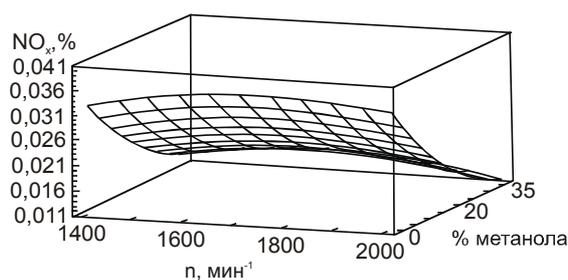
$P_e = 0,66 \text{ МПа}$



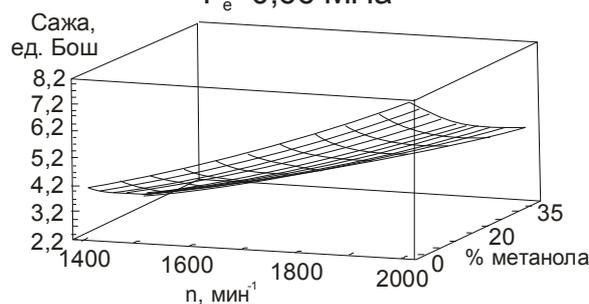
а)

 $P_e = 0,66 \text{ МПа}$ 

б)

 $P_e = 0,66 \text{ МПа}$ 

в)

 $P_e = 0,66 \text{ МПа}$ 

г)

Рис. 11. Зависимости показателей работы дизеля от факторов X_2 и X_3 при $X_1 = +1$:
а) часового расхода топлива; б) эффективного КПД; в) содержания оксидов азота в ОГ; г) содержания частиц сажи в ОГ

Проверка показала, что процесс воспроизводим, уравнения адекватно описывают протекающие процессы.

На рис. 11 показаны поверхности отклика, построенные по уравнениям (31)...(34) при фиксированном уровне фактора X_1 (нагрузка дизеля).

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

- для максимальной экономии ДТ путем замещения его метанолом и наибольшей эффективности желательна работа дизеля на частотах вращения, близких к номинальной, что соответствует характеру работы тракторного дизеля.

- пониженный выброс и оксидов азота, и сажи с ОГ дизеля также наблюдается при частотах вращения, близких к номинальной.

- нагрузка тракторного дизеля при этом может изменяться во всем рабочем диапазоне, содержание метанола в суммарном топливе достигать 30...35%.

В седьмом разделе представлены разработанные и модернизированные на основе а.с. №№ 1709125, 1731973, патентов РФ №№ 2044908, 2079351, 2100639, 2100639, 2119078, 2179258 конструктивно-технологические схемы элементов и систем питания и регулирования топливоподачи дизелей, а также указаны направления и места внедрения разработок.

Кроме того, представлены компонентный состав и характеристики разработанных новых топлив на основе ДТ, рапсового масла и метанола.

В результате испытаний рекомендована к применению топливная эмульсия, включающая: 5...40% метанола, содержащего 10% воды; 0,25...0,5% ПАВ; 0,25...0,5% присадки; дизельное топливо до 100%. Эмульсия такого состава использована 25 ГосНИИ МО РФ при проведении специальных исследований, защищена авторским свидетельством СССР № 1728290 МКИ⁴ С 10 L 1/32.

Эмульсия улучшенного состава включает до 40% метанола, до 4% воды, 0,2% смеси мыл диэтаноламина и олеиновой кислоты и 1% эмульгатора – С-5А. Показатели использования такой эмульсии приведены в таблице 2.

Таблица 2

Показатели процесса сгорания дизеля при работе на различных топливах

п, мин ⁻¹	Состав топлива	$(dp/d\varphi)_{max}$, МПа/градус	p_z , МПа
1400	ДТ (100%)	0,516	7,369
	ДТ+40%М+1%С-5А	0,935	7,683
	ДТ+40%М+1%С-5А+0,2%КС-18	0,776	8,010
1800	ДТ (100%)	0,461	7,276
	ДТ+40%М+1%С-5А	0,840	7,535
	ДТ+40%М+1%С-5А+0,2%КС-18	0,725	7,866

Состав и свойства улучшенной топливной эмульсии защищены патентом РФ на изобретение № 2221839 МКИ⁷ С 10 L 1/32.

В результате исследований рекомендована топливная композиция содержащая 40% рапсового масла, до 100% дизельного топлива. Топливная композиция обеспечивает сохранение установленного закона подвода теплоты в цилиндры дизеля по всережимной характеристике.

В восьмом разделе приведены показатели экономической эффективности разработанных технических и технологических решений. В таблице 3 показаны данные расчета эффективности применения новых топлив для снижения токсичности ОГ. В таблице 4 показаны данные расчета эффективности совершенствования конструкции и технологии топливоподающей аппаратуры.

Данные расчета эффективности применения МТЭ и смесей рапсового масла с ДТ для снижения токсичности ОГ [80, 216]

Показатели	ДТ	МТЭ	МТЭ с при- садками целе- направленно- го действия	ДТ	40%РМ + 60%ДТ
Стоимость средства для пода- чи АТ С ₁ , руб.	-	1200	1200	-	120
Концентрация NO _x в ОГ при работе на ДТ, %, ppm	0,036	-	-	1356	-
Концентрация NO _x в ОГ при работе на АТ, %, ppm	-	0,017	0,014	-	1271
Концентрация С в ОГ при ра- боте на ДТ, ед. Бош, %	4,7	-	-	34	-
Концентрация С в ОГ при ра- боте на АТ, ед. Бош, %	-	2,4	2,2	-	25
Коэффициент годовой смен- ности устройства	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Стоимость 1 кг топлива, руб		30=00	30=00	-	23,6
Изменение потребления дизе- лем топлива при работе на АТ, кг/ч	-	+1,0	+1,1	-	+0,9
Годовая наработка двигателя, час		1000	1000	-	2000
Стоимость эксплуатации, об- служивания и ремонта С ₂ , руб/год		1200	1200	-	600
Стоимость расходов, связан- ных с применением альтерна- тивного топлива, С _п , руб		2400	2400	-	720
Эффективность снижения токсичности ОГ η _i для NO _x , %		52	75	-	19
Эффективность снижения токсичности ОГ η _i для С, %		48	72	-	22,5
Значение показателя К при снижении NO _x в ОГ, руб/%		23123	16032	-	12670
Значение показателя К при снижении С в ОГ, руб/%		25050	16700	-	10700
Экономический эффект от снижения ущерба, наносимого ОГ окружающей среде, руб/1 трактор (1000 мото-ч) в год		2296,5	3420	-	1114

Данные расчета эффективности совершенствования конструкции и технологии топливоподающей аппаратуры

Режим	$\omega, \text{с}^{-1}$	Топливо	$Q_H,$ МДж/кг	$G_T,$ кг/ч	$M_{К.е.},$ Н×м	$M_b,$ Н×м	$\eta_e,$ %	$\eta_b,$ %
$n_{ном}$	188,4	ДТ	42,5	4,55	94	-	32,96	-
		МТЭ	34,53	5,61	94	-	32,91	-
$n_{Mк max}$	146,5	ДТ	42,5	4,53	102	-	27,9	-
		МТЭ	34,53	5,02	82,8	-	25,2	-
$n_{х.х. max}$	198,8	ДТ	42,5	1,89	-	19,5	-	17,3
		МТЭ	34,53	2,58	-	19,5	-	16,04
$n_{ном}$	230,3	ДТ	42,5	13,65	260	-	37,15	-
		40%РМ+60%ДТ	40,38	14,54	258	-	36,40	-
$n_{Mк max}$	177,9	ДТ	42,5	11,3	290	-	38,67	-
		40%РМ+60%ДТ	40,38	12,15	283	-	36,94	-
$n_{х.х. max}$	242,8	ДТ	42,5	3,10	-	26,2	-	17,38
		40%РМ+60%ДТ	40,38	3,53	-	26,2	-	16,06

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Применение метилового спирта (метанола) и рапсового масла в качестве топлива для тракторных дизелей позволяет улучшить их эксплуатационные показатели путем сокращения расхода дизельного топлива и снижения выброса с ОГ основных токсичных компонентов.

2. На основе теоретических исследований разработаны научно обоснованные положения по созданию топливных композиций на основе дизельного топлива и метанола с присадками различных классов, отличающихся новизной состава, улучшенными физико-химическими, химмотологическими и эксплуатационными свойствами.

3. На основе теоретических исследований предложены зависимости определения численных значений и соотношений кинематических параметров схем привода органов дозирования газообразного (испаренного) и жидкого альтернативного топлив, позволяющие достичь идентичности показателей работы топливной аппаратуры дизеля на дизельном и альтернативном топливе на всех рабочих режимах. Предложены конструктивные решения (а.с. СССР № 1709125, патенты РФ №№ 2044908, 2100639, 2108480, 2119078), обеспечивающие их достижение.

4. На основе теоретических исследований определены параметры развития топливного факела спиртосодержащего топлива. Расчеты показывают, что угол конуса факела спиртосодержащего топлива увеличится по сравнению с факелом дизельного топлива на 3,7 градуса и составит 15,1 градус. Время распространения факела на весь объем КС не превысит 2,5 мкс. В результате изменятся показатели процессов смесеобразования и сгорания дизеля: возрастет ди-

намическая испаряемость суммарного топлива, увеличатся затраты тепла на разложение паров вдали от факела, уменьшится теплоперемещение от воздушного заряда к впрыснутому энергоносителю.

5. На основе теоретических исследований определено предельное значение вязкости смесового топлива. Расчеты показывают, что смеси с вязкостью более $\nu=49,2$ сСт не будут прокачиваться по всасывающей линии. Установлено, что из условий работоспособности топливной системы дизеля содержание рапсового масла в смесовом топливе следует ограничить на уровне 40...45% масс.

6. Разработаны и усовершенствованы математические модели определения цетанового числа смесовых топлив, периода задержки воспламенения в цилиндре тракторного дизеля при работе на топливах с использованием метанола и рапсового масла, позволяющие аналитическим путем проводить прогнозирование характера предпламенных процессов. Разработаны программы и тексты программ на алгоритмическом языке для реализации моделей расчета на ПЭВМ. Предложены номограммы для определения периода задержки воспламенения в цилиндре тракторного дизеля при его работе на различных скоростных режимах с использованием метанола и рапсового масла.

7. Разработаны и усовершенствованы математические модели определения параметров фазы быстрого горения в цилиндре тракторного дизеля при работе на топливах с использованием метанола и рапсового масла, позволяющие аналитическим путем проводить прогнозирование характера процесса сгорания и определение предельно допустимого по условиям долговечности дизеля содержания дополнительного топлива. Разработаны программы и тексты программ на алгоритмическом языке для реализации предложенных моделей расчета на ПЭВМ.

8. Разработаны методики лабораторных исследований по оптимизации состава новых топлив на основе метанола, и стендовых исследований их влияния на эксплуатационные показатели тракторного дизеля с применением методики планирования эксперимента. Методики позволяют с высокой степенью достоверности прогнозировать значения стабильности метанола-топливных эмульсий различных составов и значения эффективных и токсических показателей работы дизеля на топливах с применением метанола, расширяя сферу применения планирования эксперимента.

9. На основе теоретических и экспериментальных исследований разработаны новые топливные композиции на основе дизельного топлива, рапсового масла и метанола с улучшенными свойствами. Топливная эмульсия по а.с. СССР № 1728290 включает в себя 5...40% метанола, 0,5...4% воды, 0,5...2% алкенилсукцинимиды, до 100% дизельного топлива, в массовых долях. Эмульсия имеет седиментационную устойчивость 5...36 часов, устойчивость к коалесценции 5...7 суток и повышенные противоизносные свойства. Топливная эмульсия по пат. РФ № 2221839 содержит 5...40% метанола, 0,5...4% воды, 0,25...1% алкенилсукцинимиды, 0,2% смеси мыл диэтаноламина и олеиновой кислоты, до 100% дизельного топлива, в массовых долях. Эмульсия имеет устойчивость к коалесценции до 4...6 суток и обеспечивает существенно снижен-

ные значения жесткости процесса сгорания при работе дизеля. Топливная композиция содержит 40% рапсового масла, до 100% дизельного топлива, в массовых долях. Топливная композиция обеспечивает сохранение установленного закона подвода теплоты в цилиндры дизеля по всережимной характеристике.

10. Разработанные конструкции систем питания (а.с. СССР № 1731973) обеспечивают работу дизеля на смесевых топливах, приготавливаемых непосредственно в его топливной системе перед подачей в цилиндры. Разработанные конструкции и элементы систем регулирования топливоподачи (пат. РФ №№ 2044908, 2100639, 2108480) позволяют сохранять установленный заводом-изготовителем закон подвода теплоты в цилиндры дизеля с дизельным топливом при его работе на альтернативных топливах по всережимной характеристике. Величины установочных углов опережения впрыскивания топлива при этом не должны отличаться от значений, присущих для серийного дизеля. Угол наклона винтовой канавки плунжера ТНВД при работе на МТЭ должен составлять 44° .

11. На основе экспериментальных и теоретических исследований установлено, что содержание метанола в топливе может достигать 35% в массовых долях по условию обеспечения допустимой жесткости процесса сгорания в дизеле и сохранения показателей его надежности и долговечности. Работа дизеля на таких МТЭ позволяет сократить расход дизельного топлива до 17,5...19%, снизить содержание в ОГ сажи на 11...72%, а оксидов азота на 15...75%.

12. На основе экспериментальных и теоретических исследований установлено, что содержание рапсового масла в топливе может достигать 40% в массовых долях по условию сохранения показателей надежности и долговечности дизеля. Работа дизеля на таких смесях позволяет сократить расход дизельного топлива до 17...30%, снизить содержание в ОГ сажи на 4,5...22%, а оксидов азота на 3,1% до 19,2%.

13. На основе проведенных исследований разработаны опытные образцы тракторных дизелей с улучшенными эксплуатационными показателями для работы на топливах с применением рапсового масла и метанола. Создан опытный образец трактора Т-25А с системой питания, модернизированной для работы на метанола-топливных эмульсиях. Создан опытный образец трактора Беларус-82.1 с системой питания, модернизированной для работы на смесях дизельного топлива с рапсовым маслом. Проведены функциональные испытания их работы в эксплуатационных условиях.

Публикации с изложением основных положений диссертации:Монографии

1. Гуцин С.Н., Плотников С.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей применением спиртосодержащих топлив. - Киров, ООО "Мини-типография Авангард", 2003. - 162 с., ил.

2. Камфер Г.М., Плотников С.А. Математическое моделирование процесса сгорания спиртосодержащего топлива в дизеле. - Киров, ООО Типография "Авангард", 2005. - 106 с., ил.

3. Лиханов В.А., Плотников С.А. Применение метанола-топливных эмульсий в тракторных дизелях. - Киров: НИИСХ Северо-Востока, - 2000. - 96 с.

4. Плотников С.А. Расчетно-теоретические исследования работы дизеля на альтернативных топливах. - Киров: Типография "Авангард", 2009. - 174 с.: ил.

Статьи

5. Карташевич А.Н., Товстыка В.С., Плотников С.А. Оптимизация параметров топливоподачи тракторного дизеля для работы на рапсовом масле. - Тракторы и сельхозмашины, 2011. - № 3. - С. 13-16.

6. Карташевич А.Н., Товстыка В.С., Плотников С.А. Показатели работы тракторного дизеля на рапсовом масле. - Двигателестроение, 2011. - № 2. - С. 39-41.

7. Карташевич А.Н., Товстыка В.С., Плотников С.А. Оценка дымности и токсичности тракторного дизеля при работе на рапсовом масле. - Тракторы и сельхозмашины, 2011. - № 9 - С. 11-13.

8. Лиханов В.А., Плотников С.А. Модернизация системы топливоподачи тракторного дизеля, работающего на метанола-топливной эмульсии. //Двигателестроение, - 1996. - № 2. - С. 33-35.

9. Лиханов В.А., Плотников С.А. Особенности процесса сгорания метанола-топливной эмульсии в тракторном дизеле //Двигателестроение. - 1996. - № 1. - С.26-28.

10. Лиханов В.А., Плотников С.А. Улучшение метанола-топливных эмульсий для использования в тракторных дизелях. //Двигателестроение, - 1994. - С. 74, 35.

11. Плотников С.А. Планирование эксперимента при использовании метанола-топливных эмульсий в дизелях. - Тракторы и сельхозмашины, 2009. - № 1. - С. 28-30.

12. Плотников С.А. Регулирование топливоподачи газодизелей. //Двигателестроение. - 2000. - № 1. - С. 25-26.

13. Плотников С.А., Гуцин С.Н., Лебедев С.Р. Влияние состава спиртосодержащего топлива на показатели процесса топливоподачи. //Двигателестроение. - 2004. - № 3. - С.43-45.

14. Плотников С.А., Гуцин С.Н., Лебедев С.Р. Исследование показателей работы дизеля 2Ч 10,5/12,0 на спиртосодержащих топливах с присадками целенаправленного действия. //Двигателестроение. - 2003. - № 1. - С. 36-37.

15. Плотников С.А., Лунова В.В. Создание и применение стабильных метанола-топливных эмульсий в качестве топлива для дизелей. //Двигателестроение. - 1990. - № 10. - С. 29-31.

16. Болотов А.К., Камфер Г.М., Плотников С.А. Влияние метанола на химическую кинетику предпламенных процессов и образование токсичных компонентов в цилиндре дизеля. //Приоритетные направления научно-технического обеспечения АПК Северо-Востока: Мат. тр. межд. науч.-практ. конф. - Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2005. - С. 102-109.

17. Болотов А.К., Лиханов В.А., Плотников С.А. Влияние метанола-топливных эмульсий на токсичность отработавших газов и работу топливной аппаратуры дизеля. //Научно-технический прогресс в химмотологии топлива и смазочных материалов: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. - Днепропетровск, 1990. -С. 27.

18. Болотов А.К., Плотников С.А. Влияние присадок на стабильность метанола-топливных эмульсий. - Деп. в ЦНИИТЭИтракторосельхозмаш, 1989. - 22 с. - № 1134тс.

19. Болотов А.К., Плотников С.А. Использование метанола-топливной эмульсии в дизелях. //Диагностика, повышение эффективности и долговечности двигателей: Тез. докл. Всесоюз. нач.-техн. семинара. - Ленинград-Пушкин, 1990. - С. 4-5.

20. Болотов А.К., Плотников С.А. Качественный анализ условий применения спирто-топливных смесей. //Роль научных исследований в развитии

- сельскохозяйственного производства Кировской области: Сб. науч. тр. КСХИ. - Киров. - 1991. - С. 74...79.
21. Болотов А.К., Плотников С.А. О работе топливной системы дизеля на метано-топливной эмульсии. - Деп. в ЦНИИТЭИ тракторосельхозмаш, 1990. - 18 с. - № 1240тс.
22. Болотов А.К., Плотников С.А. Организация работы многотопливного дизеля. - Сельскохозяйственная наука Северо-востока европейской части России. /Сб. трудов, т. 4, механизация, НИИСХ Северо-востока им. Н.В. Рудницкого/ - Киров, 1995 - С. 176-182.
23. Болотов А.К., Плотников С.А. Пути повышения стабильности метано-топливных эмульсий. - Совершенствование технологий и технологических средств в сельскохозяйственном производстве. /тез. докл./ - Киров, 1999. - С. 69-70.
24. Болотов А.К., Плотников С.А. Регулирование топливоподачи жидких альтернативных топлив. - Инженерная наука сельскохозяйственному производству. /Юб. сб. науч. статей выпускников инж. фак-та. /Киров, 2002. - С. 119-125.
25. Гушин С.Н., Плотников С.А. Разработка эффективных спиртовых топлив. - Здоровье-питание-биологические ресурсы. /Мат. тр. межд. науч.-практ. конф., посвященной 125-летию со дня рождения Н.В.Рудницкого/ В 2 т. - Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2002. - Т. 2. - С. 252-258.
26. Камфер Г.М., Болотов А.К., Плотников С.А. Расчетная оценка цетановых чисел спирто-топливных смесей. //Улучшение показателей автомобильных и тракторных двигателей: Тр. МАДИ. - М., 1990. - С. 59-64.
27. Камфер Г.М., Плотников С.А. Дифференциальное уравнение воспламенения в дизеле. /Основные итоги и приоритеты научного обеспечения АПК Евро-Северо-Востока. - Мат. межд. науч.-практ. конф., посвященной 110-летию Вятской сельскохозяйственной опытной станции (Зональный НИИСХ Северо-Востока им. Н.В.Рудницкого). - В 2 т. - Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2005. - Т.2. - С. 73-77.
28. Карташевич А.Н., Плотников С.А. Алгоритм расчета цетанового числа и периода задержки воспламенения при работе тракторного дизеля на спиртовых топливах. /Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. - 2007. - № 4. - С. 108-112.
29. Карташевич А.Н., Плотников С.А. Методы определения цетанового числа и периода задержки воспламенения топлив. /Агропанорама.: Минск. - 2008. - № 4. - С. 4-7.
30. Карташевич А.Н., Плотников С.А. Основные принципы и расчетные соотношения теоретических исследований процесса сгорания спиртосодержащих топлив в дизеле. /Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. - 2007. - № 2. - С. 145-149.
31. Карташевич А.Н., Плотников С.А. Оценка дымности и токсичности дизеля при работе с добавками метанола. /Мат. межд. науч.-практ. конф., посвященной 60-летию кафедры «Тракторы и автомобили». - Горки: Белорусская ГСХА, 2009. - С. 98-102.
32. Карташевич А.Н., Товстыка В.С., Плотников С.А. Анализ результатов работы топливного насоса высокого давления на смесях рапсового масла с дизельным топливом. - //Агропанорама.: Минск. - 2009. - №2(72). С. 34-37.
33. Карташевич А.Н., Плотников С.А., Товстыка В.С. Дифференциальные уравнения изменения давления и воспламенения в дизеле. /Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. - 2009.- №2. - С. 132-138.
34. Крылов В.А., Плотников С.А. Системы топливоподачи метанола в дизелях. - Совершенствование технических средств для механизации сельскохозяйственных процессов. /Тр. НИИСХ Северо-Востока/ - Киров, 2000. - С. 123-127.
35. Лиханов В.А., Гушин С.Н., Лунева В.В., Плотников С.А. Исследование работы дизеля 2Ч 10,5/12,0 на спиртосодержащих топливах. - Новые топлива с присадками. /Сб. тр. II межд. науч.-практ. конф. /С-Петербург: Академия прикладных исследований, 2002, С. 367а-367f.
36. Лиханов В.А., Гушин С.Н., Лунева В.В., Плотников С.А. Создание новых видов спиртосодержащих топлив. - Новые топлива с присадками. /Сб. тр. II

- межд. науч.-практ. конф. /С-Петербург: Академия прикладных исследований, 2002, С. 367g-367l.
37. Лиханов В.А., Гушин С.Н., Плотников С.А. Влияние присадок на стабильность метанола-топливных эмульсий. - Улучшение эксплуатационных показателей двигателей, тракторов и автомобилей. /Сб. науч. тр. межд. науч.-техн. конф. /С-Петербург, 2003. - С. 235-237.
38. Лиханов В.А., Гушин С.Н., Плотников С.А. Влияние состава метанола-топливной эмульсии на показатели дымности и токсичности отработавших газов дизеля 2Ч 10,5/12,0. - Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания. /Межвузовский сб. науч. тр. - С-Петербург-Киров: Российская академия транспорта, Вятская ГСХА, 2004. - Вып. 3. - С. 62-66.
39. Лиханов В.А., Плотников С.А. Исследование мощностных и экономических показателей работы дизеля на метанола-топливных эмульсиях. //Рабочие процессы в ДВС с ограниченным отводом тепла: Тез.докл. Всесоюз. семинара. - Новосибирск, 1990. - С. 11.
40. Лиханов В.А., Плотников С.А. Новые топлива для дизелей. //Совершенствование конструкции, теории и расчета тракторов, автомобилей и двигателей внутреннего сгорания: Сб. тр. юбил. XV региональной науч.-практ. конф. Вузов Поволжья и Предуралья. - Киров: ФГОУ ВПО Вятская ГСХА, 2004. - С. 76-80.
41. Лиханов В.А., Плотников С.А. Применение метанола-топливной эмульсии для снижения токсичности отработавших газов дизеля. //Рабочие процессы в ДВС с ограниченным отводом тепла: Тез. докл. Всесоюз. семинара. - Новосибирск, 1990. - С. 12.
42. Лиханов В.А., Плотников С.А. Применение спиртов в качестве топлива. //Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Межвузовский сб. науч. тр. - Киров: Вятская ГСХА, 2004. - Вып. 4. - С. 3-8.
43. Лиханов В.А., Плотников С.А. Создание стабильных метанола-топливных эмульсий. //Научно-технический прогресс в химмотологии топлив и смазочных материалов: Тез. докл. Всесоюз. конф. - Днепропетровск, 1990. - С. 28.
44. Лиханов В.А., Плотников С.А. Социально-экологические проблемы применения оксигенатных топлив. //Совершенствование конструкции, теории и расчета тракторов, автомобилей и двигателей внутреннего сгорания: Сб. тр. юбил. XV региональной науч.-практ. конф. Вузов Поволжья и Предуралья. - Киров: ФГОУ ВПО Вятская ГСХА, 2004. - С. 152-158.
45. Лиханов В.А., Плотников С.А., Гушин С.Н. Анализ показателей процесса сгорания тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе на метанола-топливной эмульсии. //Улучшение эксплуатационных показателей автотракторных двигателей внутреннего сгорания: Межвуз. сб. науч. тр. - Чебоксары, Чебоксарский институт МГОУ, 2002. - С. 129-133.
46. Лиханов В.А., Плотников С.А., Гушин С.Н. Влияние метанола-топливной эмульсии на эффективные показатели дизеля 2Ч 10,5/12,0. //Улучшение эксплуатационных показателей автотракторных двигателей внутреннего сгорания: Межвуз. сб. науч. тр. - Чебоксары, Чебоксарский институт МГОУ, 2002. - С. 124-129.
47. Лиханов В.А., Плотников С.А., Гушин С.Н. Исследование процесса сгорания тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0 при работе с добавкой метанола. //Улучшение технико-эксплуатационных показателей мобильной техники. /Материалы 13-ой науч.-практ. конф. вузов Поволжья и Предуралья. - Новгород: НГСХА, 2003. - С. 96-99.
48. Лиханов В.А., Плотников С.А., Гушин С.Н. Исследование показателей работы дизеля 2Ч 10,5/12,0 на метанола-топливных эмульсиях с присадками целенаправленного действия. //Улучшение эксплуатационных показателей двигателей внутреннего сгорания: Межвуз. сб. науч. тр. - С-Петербург-Киров: Российская академия транспорта, Вятская ГСХА, 2003. - С. 81-86.
49. Николаенко А.В., Плотников С.А. Экономические аспекты применения новых альтернативных топлив на основе метанола, совершенствования конструкции и технологии топливоподающей аппаратуры. //Улучшение экс-

- плуатационных показателей двигателей тракторов и автомобилей: Сб. науч. тр. междунар. науч.-техн. конф. – СПб, 2006. – С. 170-177.
50. Плотников С.А. Модернизация прецизионных пар топливных насосов высокого давления. /Совершенствование технологий и технологических средств в сельскохозяйственном производстве. /тез. докл./ - Киров, 1999. - С. 64.
51. Плотников С.А. Модернизация системы топливоподачи дизеля, работающего на альтернативных топливах. - Диагностика, повышение эффективности, экономичности и долговечности двигателей. /тез. докл./ - Санкт-Петербург, 1993. - С. 16-17.
52. Плотников С.А. Некоторые результаты применения метанола в дизелях. //Улучшение технико-эксплуатационных показателей мобильной техники. /Мат. тр. 13-ой науч.-практ. конф. вузов Поволжья и Предуралья. /Н-Новгород: НГСХА, 2003. - С. 114-118.
53. Плотников С.А. Основные направления применения метанола в тракторных дизелях. Проблемы механизации и сервисного обслуживания технологического оборудования в сельскохозяйственном производстве. /Сб. науч. тр. инж. фак-та. - Киров, 2002. - С. 106-110.
54. Плотников С.А. Модернизация элементов и систем регулирования дизеля для работы с применением метанола. /Инженерное обеспечение биотехнических систем. Вып. 6. – Плоцк, 2007. – С. 101-111.
55. Плотников С.А. Принципы смесеобразования спиртосодержащих топлив в цилиндре дизеля. Инженерная наука сельскохозяйственному производству. /Юб. сб. науч. статей выпускников инж. фак-та./ - Киров, 2002. - С. 131-137.
56. Плотников С.А. Пути повышения эффективности работы дизелей на альтернативных топливах. Проблемы механизации и сервисного обслуживания технологического оборудования в сельскохозяйственном производстве. /Сб. науч. тр. инж. фак-та. - Киров, 2002. - С. 85-91.
57. Плотников С.А. Разработка способов приготовления и использования метанола-топливных эмульсий в тракторных дизелях. //Дисс. канд. техн. наук. - Киров, 1990. - 173 с.
58. Плотников С.А. Расчетно-теоретические исследования по оптимизации состава новых топлив на основе метанола и их влиянию на эксплуатационные показатели тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0. - Деп. в ЦИИТЭИ Агропрома. М., 2006. – 25 с. - № 42 ВС.
59. Плотников С.А. Регулирование подачи газообразного топлива для дизеля. Совершенствование средств механизации в сельскохозяйственном производстве. /тез. докл./ - Киров, 2000. – С. 29-30.
60. Плотников С.А. Редуцированная модель процессов испарения и смесеобразования метанола-топливной эмульсии в цилиндре дизеля. //Совершенствование конструкции, теории и расчета тракторов, автомобилей и двигателей внутреннего сгорания: Сб. тр. юбил. XV региональной науч.-практ. конф. Вузов Поволжья и Предуралья. - Киров: ФГОУ ВПО Вятская ГСХА, 2004. - С. 145-151.
61. Плотников С.А. Современные проблемы применения спиртов в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания. Развитие транспорта в регионах России: Проблемы и перспективы. //Мат. всеросс. науч.-практ. конф. - Киров, 2007. - С. 42-46.
62. Плотников С.А., Гуцин С.Н. Оптимизация состава спиртовых топлив. //Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики: Межвузовский сб. науч. тр. - Киров: Вятская ГСХА, 2004. - Вып. 4. - С. 9-13.
63. Плотников С.А., Гуцин С.Н. Улучшение эффективных и экологических характеристик тракторного дизеля применением спиртосодержащих топлив. //Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Тр. 4-й Международ. науч.-техн. конф. В 4-х частях. – Часть 2. Энергосберегающие технологии в растениеводстве и мобильной энергетике. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2004. - С. 337-341.
64. Плотников С.А., Гуцин С.Н., Лунева В.В. Влияние установочного угла опережения впрыскивания топлива на показатели процесса сгорания и тепловыделения тракторного дизеля 2Ч 10,5/12,0. //Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей. /Материалы IX Ме-

ждународ. науч.-практ. конф. - Владимир: Владим. гос. ун-т, 2003. – С. 157–159.

65. Сычев А.В., Плотников С.А. Проблемы регулирования топливоподачи многотопливных дизелей. - Совершенствование технологий и технологических средств при интенсификации сельскохозяйственных процессов /тез. докл./ Киров, 1997. - С. 35-36.

66. Sergej Plotnikov. Calculated and experimental estimation of inflammability of alcohol fuel blends. //VIII International Symposium ecological aspects of mechanisation of plant production: Warshava, 2001, p. 196-205.

67. Sergej Plotnikov, Sergej Guchin. Effect of alcohol-containing fuel composition on combustion indices. //X International Symposium ecological aspects of mechanization of plant production: Warshava-Melitopol, 2003, p. 186-191.

68. Sergej Plotnikov, Sergej Guchin. Improvement of alcohol containing fuels with target-oriented additives. //IX International Symposium ecological aspects of mechanization of plant production: Warshava, 2002, p. 298-304.

69. Sergej Plotnikov, Sergej Guchin. Application of a technique of planning of experiment by optimization of properties of combustibles. //Inżynieria Systemow Bioagrotechnicznych: Plock, 2005, - p. 97-102.

Авторские свидетельства и патенты

70. А.с. СССР № Т731973, МКИ F 02 М 43/00. Топливная система многотопливного дизеля. /А.К.Болотов, В.А.Лиханов, С.А.Плотников. - 3 с., 3 ил.

71. А.с. СССР № 1709125, МКИ F 02Д 19/06. Система регулирования газодизеля. /В.А.Лиханов, В.М.Попов, С.А.Плотников, М.Н.Хлыбов. - 3 с., 1 ил.

72. А.с. СССР № 1728290, МКИ С 10L 1/32. Топливная эмульсия. /В.А.Лиханов, С.А.Плотников. - 3 с., 2 табл.

73. Патент РФ № 2179258, МКИ⁵ F 02 М 43/00, 31/18. Система питания дизеля легким топливом. /Болотов А.К., Крылов В.А., Заболотских В.Н., Плотников С.А. - 4 с., 1 ил.

74. Патент РФ № 2100639, МКИ⁶ F 02 М 59/00, 59/44. Плунжер топливного насоса высокого давления. /Болотов А.К., Плотников С.А. - 3 с., 2 ил.

75. Патент РФ № 2108480, МКИ⁶ F 02 М 59/02, 59/44. Плунжер ТНВД. /Болотов А.К., Плотников С.А. - 4 с., 1 ил.

76. Патент РФ № 2044908, МКИ⁷ F 02 D 1/04, 1/10. Система регулирования многотопливного дизеля. /Болотов А.К., Плотников С.А. - 4 с., 4 ил.

77. Патент РФ № 2221839, МКИ⁷ С 10 L 1/32. Топливная эмульсия. /Лиханов В.А., Лунева В.В., Гуцин С.Н., Плотников С.А. - 4 с., 1 ил., 1 табл.

78. Патент РФ № 2119078, МКИ⁶ F 02 D 19/06, F 02 М 21/02, F 02 В 69/04. Система регулирования газодизеля. /Лиханов В.А., Наврозов В.В., Сычев А.В., Плотников С.А. - 5 с., 2 ил., 1 табл.

79. Патент РФ № 2079351, МКИ⁶ В 01 F 5/00. Смеситель. /Мокрушин С.П., Плотников С.А. - 4 с., 4 ил.

80. Патент РФ № 2246019, МПК⁷ F 02 D 1/04, 1/10. Система регулирования многотопливного дизеля. /Плотников С.А., Гуцин С.Н., Ярков М.И. - 5 с., 3 ил.

81. Плотников С.А., Бузиков Ш.В. Программа расчета периода задержки воспламенения при работе дизеля на метано-топливных эмульсиях различного состава (ПЗВ-МТЭ). //Свидетельство об офиц. регистр. прогр. для ЭВМ № 20066112791 от 07.08.2006.

82. Плотников С.А., Бузиков Ш.В. Программа расчета параметров фазы быстрого горения топлива при работе дизеля на метано-топливных эмульсиях различного состава (ФБГ-МТЭ). //Свидетельство об офиц. регистр. прогр. для ЭВМ № 20066112792 от 07.08.2006.

83. Плотников С.А., Бузиков Ш.В., Карташевич А.Н., Товстыка В.С. Программа расчета параметров подготовительной фазы процесса сгорания при работе дизелей ММЗ на рапсовом масле («ППФ-ММЗ-РМ»). //Свидетельство об офиц. регистр. прогр. для ЭВМ № 2009612778 от 29.05.2009.

84. Плотников С.А., Бузиков Ш.В., Карташевич А.Н., Товстыка В.С. Программа расчета параметров фазы быстрого горения при работе дизелей ММЗ на рапсовом масле («ФБГ-ММЗ-РМ»). //Свидетельство об офиц. регистр. прогр. для ЭВМ № 2009612779 от 29.05.2009.