

**ОТЗЫВ
официального оппонента**

на диссертационную работу Зуева Никиты Сергеевича
 «Улучшение технико-экономических и экологических показателей дизеля, работающего на дизельном биотопливе», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.02 - «Тепловые двигатели».

Актуальность диссертационной работы

Тепловые двигатели имеют широкое применение для большинства мобильных и стационарных установок. Основным топливом для двигателей внутреннего сгорания являются топлива нефтяного происхождения. Применение дизелей в качестве стационарных силовых установок и для транспортных средств также находит широкое применение в настоящее время и будет находить в ближайшем будущем. Ужесточение требований к выбросам токсичных компонентов отработавших газов способствуют принятию мер по их снижению. Одним из способов снижения токсичности и дымности отработавших газов двигателей внутреннего сгорания и дизелей, в частности является применение биотоплив. В 2019 году политика многих стран была направлена на увеличение доли применения биотоплив в транспортном секторе, концентрируясь главным образом на дорожном транспорте.

Для снижения токсичности отработавших газов также применяются современные процессы низкотемпературного горения топлив, позволяющие снижать максимальную температуру цикла, одновременно снижая выбросы взвешенных частиц и NO за счет увеличения доли гомогенизированной топливовоздушной смеси.

Наиболее рациональным является организация процесса низкотемпературного горения за счет многостадийного впрыскивания топлива и оптимизации параметров топливоподачи, что не требует изменения конструкции ДВС. Также дизельное биотопливо может быть применено в двигателях внутреннего сгорания современных транспортных средств без существенного изменения конструкции их топливной аппаратуры. Существующая стратегия снижения выбросов парниковых газов транспортного сектора не позволяет выполнить требования климатической доктрины, установленные до 2030 и 2050 годов.

Поэтому тема представленной диссертации, посвященной улучшению рабочего процесса дизеля, работающего на альтернативном топливе, наиболее близком по физико-химическим свойствам к нефтяному дизельному топливу, с организацией процесса горения при пониженных температурах является весьма актуальной.

Содержание диссертационной работы

Диссертационная работа выполнена в ФГУП «НАМИ». Диссертация состоит из введения, 4 глав основного текста, общих выводов и рекомендаций, заключения, списка использованных источников литературы и приложений. Общий объём диссертационной работы составляет 282 страницы машинописного текста, включая 104 рисунка, 38 таблиц, 77 формул, список использованных источников литературы из 220 наименований и 2 приложения.

Во введении к работе проведён общий анализ исследуемой проблемы, обоснована актуальность проведения работ, направленных на улучшение технико-экономических и экологических показателей дизеля, работающего на дизельном биотопливе с применением современных математических моделей процессов сгорания, дана общая характеристика работы.

В первой главе рассмотрена сырьевая база для производства ДБТ, оценены физические и химические свойства ДБТ на основе наиболее распространенного сырья. Рассмотрены и проанализированы особенности применения ДБТ в дизелях, процессы впрыскивания, дробления, нагрева и испарения топлива в камере сгорания. Также произведен обзор работ, в которых рассмотрен процесс сгорания и тепловыделения, произведена оценка выбросов токсичных компонентов отработавших газов. Представлены данные и произведен анализ влияния многостадийного впрыскивания нефтяного ДТ и ДБТ на рабочий процесс дизеля. Проведена оценка возможности организации низкотемпературного горения за счет применения многоразового впрыскивания топлива. На основе произведенного анализа работ поставлена цель диссертационной работы и определены задачи, решение которых необходимо для достижения поставленной цели диссертации.

Во второй главе проведен анализ и выбор комбинации математических моделей, обеспечивающих адекватное описание внутрицилиндровых процессов дизеля, в частности процессов смесеобразования, сгорания и образования токсичных компонентов отработавших газов при работе на нефтяном ДТ и ДБТ на основе метиловых эфиров рапсового масла. Проведен анализ доступных моделей сгорания, впрыскивания, испарения топлива, моделей турбулентности и токсичности отработавших газов, а также ряда вспомогательных моделей. Описан процесс построения расчетной сетки, выбор параметров, оказывающих решающее влияние на точность расчета. Описан процесс создания компьютерной модели рабочего процесса дизеля в трехмерной постановке на основе методов вычислительной гидродинамики.

Представлены результаты валидации компьютерной модели рабочего процесса дизеля на дизельном биотопливе при частоте вращения 1450 мин^{-1} и режимах нагрузки 25%, 50%, 75% и 100% от номинальной. Расхождение расчет-

ных и экспериментальных значений по нагрузочной характеристике для концентрации NO_x не превышало 7%, для расхода воздуха, расхода топлива, удельного эффективного расхода топлива и эффективной мощности – 5%. Расхождение площадей под расчетными и экспериментальными индикаторными диаграммами для нагрузочных режимов 100% и 25% от номинального не превышало 3%, что свидетельствуют о том, что созданная компьютерная модель адекватно описывает рабочий процесс и пригодна для проведения расчетного оптимизационного исследования.

Даны рекомендации по применению комбинации моделей, описывающих внутрицилиндровые процессы при работе на дизельном биотопливе, а также значения основных констант, предназначенных для настройки моделей дробления факела и сгорания дизельного биотоплива.

В третьей главе приведены результаты экспериментальных исследований с целью оценки технико-экономических и экологических показателей дизеля, работающего на нефтяном дизельном топливе и дизельном биотопливе на режимах внешней скоростной характеристики и режимах испытательного цикла ESC Правил ООН №49, также представлены сравнительные регулировочные характеристики при работе на разных топливах для подбора и регулировки топливной аппаратуры. Экспериментально доказано, что повышение цикловой подачи на 14% по массе позволяет достигнуть значения крутящего момента, как и при работе на нефтяном дизельном топливе. Определен оптимальный диапазон регулировочных параметров с точки зрения топливной экономичности, токсичности отработавших газов дизеля и выброса взвешенных частиц: диапазон давления впрыскивания топлива 90...130 МПа; диапазон значений УОВТ основной порции 3...9 град. п.к.в. до ВМТ; значение УОВТ пилотной порции 15 град. п.к.в. до ВМТ; значение массы пилотной порции составило 5 мг при которых снижение удельного эффективного расхода топлива составило около 4%, снижение выбросов NO_x и ВЧ составило около 8% и 30% соответственно.

Даны рекомендации по адаптации дизеля для работы на дизельном биотопливе. Отличительными особенностями системы питания дизельным биотопливом являются серийный топливный насос высокого давления и фильтр предварительной очистки топлива с использованием материалов химически стойких к воздействию дизельного биотоплива. Корректировке подвергаются параметры топливоподачи, что позволяет достигнуть максимальной степени унификации со штатной системой питания нефтяным дизельным топливом.

Четвертая глава посвящена теоретическому исследованию, целью которого является определение оптимального значения параметров многостадийного впрыскивания, позволяющего снизить концентрацию NO_x , удельные выбросы ВЧ при сохранении топливной экономичности дизеля.

В процессе исследования выяснилось, что существенное влияние на значение индикаторной работы цикла оказывает работа сжатия, максимальное значение которой в процессе определения оптимального значения УОВТ первой пилотной порции при нагрузке 100% от номинальной достигается при 25 град. п.к.в. до ВМТ, второй – при УОВТ равном 45 град. п.к.в. до ВМТ. При раннем впрыскивании обеих пилотных порций (УОВТ 1-й пилотной порции 50 град. п.к.в. до ВМТ, УОВТ 2-й – 45 град. п.к.в. до ВМТ), несмотря на увеличение работы сжатия на 4,6%, происходит существенное увеличение индикаторной работы цикла на 3,3%, за счет более эффективного процесса сгорания: уменьшение продолжительности сгорания на 8 град. п.к.в., увеличение количества выделившейся теплоты на 4,6% и снижение мольной доли СО на 22,8%. Сравнение производится со значениями базового расчета, которому соответствует двухстадийное впрыскивание, состоящее из одной пилотной порции и одной основной порции. Также определена оптимальная стратегия впрыскивания для нагружочного режима 100%, которая представляет из себя 4-х кратное впрыскивание топлива, состоящее из двух пилотных порций, одной основной и одной порции поствпрыска со значениями УОВТ первой и второй пилотных порций 65 град. п.к.в. и 50 град. п.к.в. до ВМТ соответственно, массой по 10,5 мг каждая, УОВТ основной порции 5,3 град. п.к.в. до ВМТ, массой 116,7 мг и порцией поствпрыска массой 3,5 мг при значении угла начала поствпрыска 12 град. п.к.в. после ВМТ возможна организация низкотемпературного горения в цилиндре дизеля – снижение средней температуры цикла составило около 40 К, снижение максимального значения локальных температур – 30 К. За счет данного выбора параметров впрыскивания топлива удалось достичнуть снижения выбросов токсичных компонентов отработавших газов: NO_x на 16%, ВЧ на 83%, жесткости работы на 35% при увеличении индикаторной работы цикла на 0,5%.

Для 25%-го нагружочного режима дизеля оптимальным является 3-х кратное впрыскивание, состоящее из одной пилотной порции, одной основной и одной порции поствпрыска со значением УОВТ пилотной порции равным 19,2 град. п.к.в. до ВМТ массой 12,5 мг, УОВТ основной порции 3,7 град. п.к.в. до ВМТ массой 32,4 мг и порцией поствпрыска массой 3,5 мг при значении угла начала поствпрыска 2 град. п.к.в. после ВМТ. Данные параметры позволили добиться снижения концентрации NO_x на 10%, жесткости работы на 20% при сохранении топливной экономичности, однако повысились выбросы ВЧ на 5%, что не является критичным, так как применение кислородосодержащих топлив, к которым относится дизельное биотопливо позволяет снижать выбросы взвешенных частиц. Снижение концентрации NO_x стало возможным за счет снижения значений локальной температуры цикла на 30 К.

Проведенное теоретическое исследование подтверждает эффективность применения процесса низкотемпературного горения совместно с применением ди-

зельного биотоплива для одновременного снижения выбросов NO_x и ВЧ без ухудшения топливной экономичности, что в свою очередь является сложной задачей, решение которой возможно за счет применения комплекса мероприятий по снижению токсичности отработавших газов.

Научная новизна полученных результатов

Научная новизна работы заключается в:

1. Разработке трехмерной модели рабочего процесса дизеля, работающего на ДБТ, на основе математических моделей вычислительной гидродинамики.
2. Результатах теоретического анализа внутрицилиндровых процессов, процессов тепловыделения, образования оксидов азота и взвешенных частиц при работе дизеля на ДБТ в широких диапазонах варьирования количества впрыскиваний и параметров впрыскивания топлива.
3. Результатах экспериментальных исследований влияния ДБТ на технико-экономические и экологические показатели дизеля при работе на режимах внешней скоростной характеристики и режимах частичных нагрузок цикла Правил ООН №49.

Практическая значимость полученных результатов

Практическая значимость заключается в том, что:

1. Предложена методология выбора комбинации математических моделей, описывающих внутрицилиндровые процессы при работе на ДБТ, позволяющая создавать компьютерные модели, которые с высокой точностью описывают процессы горения топливовоздушной смеси и образования токсичных компонентов отработавших газов, предназначенных для теоретического исследования рабочего процесса на альтернативных биотопливах.
2. Даны рекомендации по оптимизации параметров многостадийного впрыскивания дизельного биотоплива для организации низкотемпературного горения топливовоздушной смеси в цилиндре с целью одновременного снижения выбросов оксидов азота и взвешенных частиц с отработавшими газами при сохранении или увеличении топливной экономичности.
3. Даны рекомендации по адаптации автомобильных дизелей для работы на ДБТ, при этом достигается максимальная степень унификации со штатной топливной аппаратурой, предназначенной для работы на нефтяном дизельном топливе.

Достоверность и обоснованность научных положений определяется:

1. Применением фундаментальных законов и уравнений теплофизики, газо- и гидродинамики и физической химии с соответствующими граничными усло-

виями, современных численных методов реализации математических моделей, результатами валидации математических моделей.

2. Использованием современных, хорошо апробированных моделей внутрицилиндровых процессов, реализуемых в 3D-CFD коде AVL FIRE.
3. Применением достоверных экспериментальных данных по исследованию рабочего процесса дизеля ЯМЗ-6566, произведенных на моторном стенде ФГУП «НАМИ».

Основные замечания по диссертационной работе

По представленным диссертации и автореферату необходимо сделать следующие замечания:

1. В названии диссертации указано понятие "технико-экономические показатели" дизеля. Не ясен смысл данного понятия.
2. В обзоре литературы приведен огромный перечень зарубежных источников информации по теме диссертации, но, к сожалению, отсутствуют работы представителей научных школ МАДИ и РУДН по альтернативным топливам и процессу топливоподачи.
3. В главе, посвященной экспериментальным исследованиям много вниманияделено описанию принципов работы измерительных приборов. Хотя здесь можно было ограничиться табличными данными с указанием их марок, назначением и погрешностями измерений.

Также, описанию серийной конструкции и принципа работы ТНВД аккумуляторной системы топливоподачи исследуемого дизеля отведено около 10 страниц текста, хотя автором никаких существенных изменений в конструкцию внесено не было. Предложены лишь рекомендации по замене материалов уплотнительных прокладок и топливных фильтров при использовании биотоплив.

4. При рассмотрении вопроса снижения выбросов оксидов азота ничего не сказано о применении внутренней рециркуляции ОГ, как одного из способов их снижения оксидов азота в современных ДВС.

5. Не совсем понятны утверждения автора о снижении выбросов оксидов азота при описании предпламенных реакций и кинетической стадии сгорания топлив в последней главе диссертации. Предполагается, что увеличение коэффициента избытка воздуха в зоне гомогенной смеси снижает локальные и максимальные температуры цикла при многоразовом впрыскивании топлива. Но автором не представлены в работе сравнительные значения энергий активации различных альтернативных топлив, что позволяет считать данные выводы гипотетическими.

Заключение

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы. Представленная диссертация посвящена **актуальной** проблеме совершенствования рабочего процесса дизеля, работающего на дизельном биотопливе, имеет **практическую ценность**. Работа имела достаточную апробацию – по теме диссертации опубликовано 4 научных статьи в журналах по списку ВАК и материалов международных и всероссийских конференций. Автореферат и публикации автора в достаточной степени отражают содержание диссертационной работы. Оформление диссертации и автореферата соответствует предъявляемым требованиям. С учётом изложенного можно заключить, что диссертация Зуева Никиты Сергеевича на тему «Улучшение технико-экономических и экологических показателей дизеля, работающего на дизельном биотопливе» является самостоятельной завершённой научно-квалификационной работой, в которой разработаны новые подходы совершенствования рабочего процесса дизелей, работающих на альтернативных топливах. Работа соответствует требованиям ВАК РФ, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а ее автор Зуев Никита Сергеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.04.02 – «Тепловые двигатели».

Официальный оппонент
кандидат технических наук,
доцент кафедры
«Теплотехника и автотракторные двигатели»
ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

Савастенко А.А.
Савастенко А.А.

Подпись к.т.н. Савастенко А.А. удостоверяю.
Ученый секретарь МАДИ, к.т.н., доц.

Зайцев С.В.
Зайцев С.В.

Справочные данные:

Савастенко Андрей Александрович, кандидат технических наук,
доцент кафедры «Теплотехника и автотракторные двигатели».

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)» Диссертация на соискание ученой степени к.т.н. по специальности 05.04.02.- тепловые двигатели защищена 08.04.1989 г. в МАМИ г. Москва

Адрес (организации): 125319, г. Москва, Ленинградский проспект, д, 64
Телефон: 8 (903) 128-25-13.,
E-mail: dozentrudn@mail.ru

