

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента Гарипова Марата Даниловича  
на диссертационную работу Лысова Игоря Олеговича  
«Улучшение смесеобразования и сгорания путем согласования формы  
камеры сгорания и параметров топливоподачи при форсировании  
транспортного дизеля», представленную на соискание учёной степени  
кандидата технических наук по специальности  
05.04.02 – «Тепловые двигатели»

**Актуальность темы.** Развитие поршневых двигателей внутреннего сгорания на современном этапе характеризуется поисками путей улучшения экологических и экономических показателей. В транспортных дизелях высокие значения этих показателей должны сочетаться с их высокой удельной мощностью. Распределение топлива по объёму воздуха, которое в значительной степени зависит от взаимодействия топливного факела со стенками камеры сгорания, является одним из наиболее существенных факторов, определяющих экологические и экономические показатели. Поэтому тема диссертационной работы И.О. Лысова является актуальной.

**Общая характеристика работы.** Диссертация включает в себя введение, четыре главы, заключение и список использованных источников из 129 наименований. Общий объём диссертации составляет 151 страницу. Структура диссертации выстроена логично, главы взаимосвязаны между собой. Работа написана понятным языком, хорошо иллюстрирована. Каждая глава заканчивается выводами, что облегчает чтение и восприятие материала диссертации.

В **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, его научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные методы исследования, степень достоверности и сведения об апробации.

В **первой главе** автором дана общая характеристика проблем при организации процессов впрыска и смесеобразования в дизелях, в частности, для исследуемого транспортного дизеля типа ЧН15/16 производства ООО «ЧТЗ-Уралтрак» с асимметричной установкой топливной форсунки, а также приведены известные решения отечественных и зарубежных исследователей по улучшению качества смесеобразования. Автор проанализировал известные виды расчётных моделей процесса сгорания – эмпирические и полуэмпирические, феноменологические и многомерные, которые в зависимости от сложности решаемых задач исследования применяются при моделировании процесса сгорания в поршневых двигателях с воспламенением от сжатия. Здесь же отмечается, что согласование процессов впрыска, смесеобразования и сгорания сегодня решается преимущественно экспериментально, и испытания элементов дизельной топливоподающей аппаратуры проводятся на специальных безмоторных экспериментальных установках, включающих камеру постоянного объема, в которую осуществляется впрыск топлива, и скоростную видеокамеру, регистрирующую протекающие процессы внутри камеры. При составлении обзора и выполнении анализа соискатель указал ссылки на авторов и источники, откуда он заимствовал материалы или отдельные результаты.

В конце обзора и анализа публикаций по теме исследования сформулированы цель и задачи диссертационной работы.

**Вторая глава** посвящена описанию новых математических моделей процессов смесеобразования и сгорания дизельного топлива в неразделенной камере сгорания транспортного дизеля с увеличенной цикловой подачей топлива.

При моделировании смесеобразования в дизеле по приведенным автором зависимостям рассчитывается скорость смещения паров топлива с воздухом, изменение объёма всех топливных факелов и доли камеры сгорания, которую они занимают. При этом в качестве допущения автором принято, что поданное топливо за шаг расчета распределяется равномерно в объёме, занимаемом топливными факелами. Величина доли камеры сгорания определяется при условиях свободного развития топливных факелов до касания стенок камеры сгорания, при взаимодействии с её стенками и отражении в надпоршневой зазор в периферийной зоне камеры сгорания.

Для моделирования процесса сгорания автор работы воспользовался математической моделью, разработанной д.т.н. В.Г. Камалтдиновым, и применил её к части камеры сгорания, занимаемой топливными факелами. В этом случае величина условной продолжительности окисления групп активных молекул топлива определяется в зависимости от объема топливных факелов, количества молекул кислорода и инертных компонентов в этом объёме. Теплота, выделяющаяся при окислении молекул топлива, расходуется на повышение давления в цилиндре и температуры смеси в объёме, занимаемом топливными факелами, а также на процесс диссоциации диоксида углерода.

По вышеупомянутым математическим моделям автор разработал алгоритм и компьютерную программу для моделирования рабочего цикла дизеля и выполнил в дальнейшем расчетные исследования.

**В третьей главе** приведено описание разработанной с участием автора безмоторной экспериментальной установки для проведения испытаний топливной аппаратуры типа Common-Rail. Описана методика проведения и обработки результатов экспериментальных исследований процессов впрыска и смесеобразования на данной установке.

Представлены полученные автором результаты измерения длины и угла конуса топливных факелов в течение процесса впрыска топлива в «холодную» газовую среду для трёх видов распылителей с различными диаметрами и количествами распыливающих отверстий при различных давлениях в топливном аккумуляторе и в самой камере постоянного объема. Результаты экспериментов представлены для различных продолжительностей подачи управляющего электрического импульса на электромагнитную форсунку. Отдельно приведены результаты экспериментального исследования взаимодействия топливного факела со стенками, имитирующими поверхность камеры сгорания, и отражения факела в надпоршневой зазор.

Также экспериментально установлено, что при установке форсунки под наклоном к оси камеры сгорания, характерном для форсированных транспортных дизелей размерности ЧН15/16 производства ООО «ЧТЗ-Уралтрак», топливные факелы имеют различную динамику развития и в зависимости от угла наклона распыливающих отверстий от оси распылителя факелы имеют разную форму.

В этой главе автор представил сравнительные результаты испытаний топливной форсунки со штатным распылителем с 8 отверстиями диаметром 0,30 мм, и опытным распылителем, отличающимся тем, что 4 распыливающих отверстия, оси которых составляют острый угол с осью корпуса распылителя, имеют увеличенные диаметры до ~0,50 мм. Результаты показали, что опытный распылитель обеспечивает более равномерное развитие всех топливных факелов.

В четвертой главе приведены результаты расчётного исследования с применением предложенного программного инструментария, по которым установлены зависимости изменения показателей рабочего цикла транспортного дизеля ЧН15/16 при его форсировании от параметров, которые применяются при моделировании процесса смесеобразования. Автор показал, как изменяются скорости смешения и сгорания паров топлива, а также индикаторные показатели рабочего цикла дизеля в зависимости от новых параметров – коэффициента коррекции закона впрыска, доли топлива в первой половине процесса смешения и продолжительности процесса смесеобразования. Расчетным путем установлены закономерности влияния на процесс сгорания и показатели рабочего цикла размеров и объёма топливных факелов, которые определялись в зависимости от момента начала подачи топлива, угла конуса топливных факелов и средней скорости движения их вершины.

Автором предложены два варианта технических решений для улучшения индикаторных показателей рабочего цикла форсированного транспортного дизеля с наклонной форсункой. В первом варианте предполагается штатную камеру сгорания в поршне перепрофилировать таким образом, чтобы расстояние до периферийной наклонной стенки со стороны длинных топливных факелов увеличилось, а с противоположной, наоборот, уменьшилось. Во втором варианте предполагается применить распылители с различными диаметрами распыливающих отверстий, обеспечивающие более равномерное распределение топлива по всему объему штатной камеры сгорания. Эксперименты в камере постоянного объема подтвердили второе предположение.

Для подтверждения эффективности применения второго варианта технического решения автор провел расчётное исследование, результаты которого показали, что применение распылителя с различными диаметрами отверстий может обеспечить улучшение индикаторных показателей рабочего цикла на ~1,0–1,5% за счёт более равномерного распределения топлива и температуры рабочего тела по объему штатной камеры сгорания, что особенно важно при форсировании дизеля.

В **заключении** приведены выводы и рекомендации, отражающие результаты, достигнутые автором в диссертационной работе.

**Достоверность и обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций** обеспечивается тем, что:

- разработанные автором математические модели для расчета рабочего цикла дизеля основаны на общизвестных уравнениях химической кинетики и термодинамики;

- при проведении безмоторных экспериментальных исследований применены современные средства измерения и регистрации;

- результаты экспериментального исследования развития струи топлива, полученные автором, обладают повторяемостью и согласованностью с известными данными других авторов в сходных условиях физического моделирования в камере постоянного объема.

**Научная новизна** диссертационной работы заключается в следующем:

– разработана математическая модель процесса смесеобразования в транспортном дизеле, учитывающая профиль неразделенной камеры сгорания в периферийной зоне;

– усовершенствована математическая модель процесса сгорания, базирующаяся на законе Аррениуса и учитывающая процесс диссоциации диоксида углерода.

– установлены закономерности геометрических характеристик топливных факелов, величины цикловой подачи на различных режимах работы аккумуляторной топливной системы, полученные по результатам безмоторных экспериментальных исследований.

– установлены закономерности влияния параметров процесса смесеобразования на индикаторные показатели рабочего цикла транспортного дизеля ЧН15/16 с аккумуляторной топливной системой, полученные по результатам численного моделирования.

**Теоретическая и практическая значимость результатов в реализации диссертационной работы.** Теоретическая значимость заключается в том, что автором работы предложены математические модели процессов смесеобразования и сгорания в форсированном транспортном дизеле, учитывающие динамику развития топливных факелов и форму камеры сгорания.

**Практическая значимость:**

– Разработана компьютерная программа расчёта рабочего цикла транспортного дизеля, основанная на предложенных моделях смесеобразования и сгорания. Программа позволяет при форсировании дизеля моделировать процессы смесеобразования и сгорания в зависимости от параметров аккумуляторной системой топливоподачи и дает возможность уже на стадии проектирования дать оценку показателей рабочего цикла.

– Разработана, изготовлена и укомплектована камерой постоянного объема с измерительным оборудованием и скоростной цветной видеосъемкой уникальная научная установка, предназначенная для проведения комплексных научных исследований, а также физического моделирования процессов гомогенного и гетерогенного смесеобразования и сгорания углеводородов в газовых средах различного химического состава в широком диапазоне температур и давлений.

– Разработаны рекомендации по обеспечению равномерного распределения топлива и воздуха по камере сгорания для форсированного транспортного дизеля типа ЧН15/16 при установке форсунки под углом к оси цилиндра, состоящие в том, что предложено сместить периферию камеры сгорания в поршне в сторону более длинных топливных факелов с одновременным углублением камеры, повторяющим форму топливного факела или применить распылитель с различными диаметрами распыливающих отверстий для выравнивания динамики развития всех топливных факелов.

Результаты диссертационной работы используются в ООО «ЧТЗ-Уралтрак» и Южно-Уральском государственном университете. Внедрение подтверждено соответствующими документами.

**Публикация основных результатов выполненного исследования в научной печати.** По теме рассматриваемой диссертации опубликовано 18 работ, из которых 4 публикации в журналах, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, 6 публикаций в международных изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science, 2 свидетельства на программы для ЭВМ.

**Замечания по диссертационной работе:**

1. В формулировке цели работы не следовало использовать выражение «наилучших индикаторных показателей», так как, строго говоря, для решения оптимизационных задач требуется специальное планирование эксперимента. В диссертационной работе соискателя это не было сделано. Возможно, наилучшие показатели еще не достигнуты. В диссертации на стр. 45 формулировка цели работы другая, на мой взгляд, более удачная.

2. В диссертационной работе не описано, какие именно недостатки известных феноменологических моделей смесеобразования и сгорания, рассмотренных в обзоре, позволяют устраниить предложенные автором математические модели. В частности, в чем их преимущество в сравнении с широко используемой моделью Н.Ф. Разлейцева и А.С. Кулешова. Сопоставление с данной моделью представляет большой научный и практический интерес.

3. В тексте диссертации часто встречается выражение «...использовано известное уравнение ...» или выражения, близкие к нему по смыслу. При этом ссылки на источники отсутствуют.

4. Математическая модель процесса смесеобразования описана недостаточно полно. Например, не изложено, как получены зависимости под номерами 17 – 22 (стр. 49), из каких исходных положений получены коэффициенты коррекции закона впрыска, почему продолжительность участков смешения принята равной и т.д.

5. В диссертации не представлены экспериментальные данные моторных испытаний, которые могли бы подтвердить результаты расчетного исследования, приведенные в пункте 4.1, и, следовательно, подтвердить адекватность предложенных автором математических моделей.

6. В диссертации не представлены экспериментальные данные моторных испытаний, которые могли бы подтвердить эффективность применения распылителя с различными диаметрами отверстий.

**Заключение о соответствии диссертационного исследования требованиям ВАК РФ.**

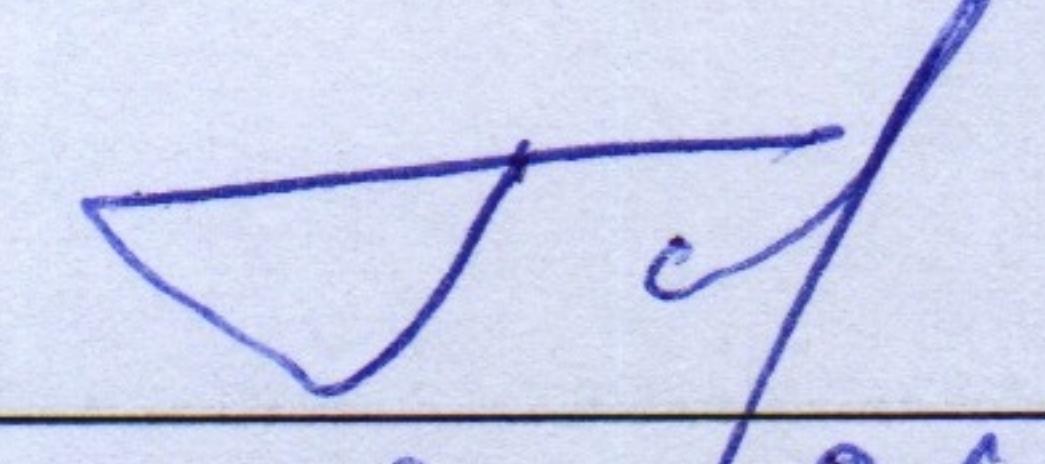
Анализ диссертации и автореферата дает основание сделать вывод, что диссертационная работа Лысова Игоря Олеговича на тему «Улучшение смесеобразования и сгорания путем согласования формы камеры сгорания и параметров топливоподачи при форсировании транспортного дизеля» является законченной научно-квалификационной работой, автореферат отражает структуру диссертации и соответствует основному её содержанию.

Указанные выше замечания не снижают ценность выполненной работы.

Тема, содержание диссертации и автореферата соответствуют паспорту научной специальности 05.04.02 – «Тепловые двигатели», так как в них представлены результаты исследования, соответствующее пункту 1 области исследований специальности: теоретические и экспериментальные исследования тепловых, газодинамических, гидродинамических, механических и физико-химических процессов в двигателях и их системах.

Диссертационная работа Лысова Игоря Олеговича соответствует критериям п.п. 9–14 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент  
доцент кафедры «Двигатели внутреннего сгорания»  
ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет»,  
доктор технических наук по специальности 05.04.02 – Тепловые двигатели

  
М.Д. Гарипов  
«02» 06 2020 г.

Адрес: 450008, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12  
Рабочий телефон: +7(3472)72-84-05  
Адрес эл. почты: garry76@mail.ru

