

О Т З Ы В

официального оппонента доктора технических наук профессора Свистулы Андрея Евгениевича о диссертационной работе Байтимерова Рустама Миндияхметовича «Разработка дизельной системы топливоподачи с управляемой формой характеристики впрыскивания с использованием математического моделирования», представленной к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.02 – Тепловые двигатели

Актуальность темы диссертации.

Диссертация Байтимерова Р.М. посвящена разработке дизельной топливоподающей системы (ТПС) с управляемой формой характеристики впрыскивания.

Возможность управлять формой характеристики впрыскивания в зависимости от режима работы дизеля с непосредственным впрыскиванием топлива в цилиндры позволяет улучшить эксплуатационные и экологические характеристики дизеля.

Поэтому тема диссертационной работы, направленная на разработку дизельной ТПС с управляемой формой характеристики впрыскивания с широкими возможностями по управлению ее параметрами, представляется весьма актуальной.

Обоснованность, достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, и ее практическая ценность.

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обусловлена:

- применением фундаментальных законов гидродинамики и механики;
- использованием апробированных численных методов и современных программных комплексов;
- удовлетворительной сходимостью результатов математического моделирования с результатами экспериментальных исследований, приведенных в литературных источниках.

Новыми являются следующие научные положения и результаты исследования, выносимые на защиту:

Разработаны математические модели гидродинамических процессов впрыскивания аккумуляторной ТПС с возможностью управления формой характеристики впрыскивания и систем Common Rail фирмы Bosch 2-го и 3-го поколения с электрогидравлическими форсунками (ЭГФ), учитывающие переменность физических свойств топлива с изменением давления, деформацию внутренних полостей и подвижных элементов ТПС, переменность гидравлических характеристик отверстий.

Предложен способ управления формой характеристики впрыскивания дизельной ТПС, позволяющий осуществлять прямоугольную, треугольную и ступенчатую характеристики впрыскивания, посредством установки двух до-

полнительных электроуправляемых клапанов в корпус ЭГФ и варьированием проходным сечением и скоростью открытия первого клапана, моментами открытия и закрытия обоих клапанов. Научная новизна разработки подтверждена патентом РФ на изобретение.

Практическая ценность.

Динамические модели в среде Matlab/Simulink, реализующие математические модели гидродинамических процессов в трех типах ТПС могут быть использованы при анализе работы и модернизации ТПС.

Разработанная библиотека элементов-примитивов (трубопроводы, полости, отверстия, распылитель, игла, электромагнит, клапаны и др.) в среде Matlab/Simulink может быть использована при создании математических моделей новых ТПС.

Реализация полученных результатов.

Результаты диссертационной работы Байтимерова Р.М. используются в ООО "ЧТЗ-Уралтрак" (г. Челябинск) при оценке конструкций форсунок аккумуляторных систем топливоподачи.

Апробация результатов исследования.

Основные положения диссертации были представлены на конференциях и научных семинарах различного уровня.

Оценка содержания диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав основного текста и выводов, списка литературы из 156 наименований, из них 116 – иностранные.. Общий объем диссертации — 148 страниц, включая 77 рисунков и 4 таблицы.

Работа оформлена в соответствии с требованиями ВАК, в достаточной степени иллюстрирована графическим материалом.

Диссертация представляет собой в целом завершенную работу, в которой результаты теоретических исследований логично доведены до практических рекомендаций.

Во введении обоснована актуальность темы, описаны методы исследования, показана научная новизна и практическая значимость, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено влияние дизеля на окружающую среду, механизмы образования вредных веществ в ОГ и требования экологических стандартов.

Рассмотрены способы снижения содержания вредных веществ в ОГ: использование систем очистки и управление процессами сгорания в цилиндре. В качестве перспективных методов управления процессом сгорания автор считает управление характеристикой впрыскивания. Автор приводит анализ исследований по влиянию формы характеристики впрыскивания на эксплуатационные и экологические показатели дизелей.

На основе выполненного анализа сделаны выводы, и поставлены задачи исследования.

Во второй главе рассмотрены конструкции и принципы работы современных серийных и опытных ТПС. Предложен новый способ управления характеристикой впрыскивания.

Автор анализирует работу ТПС различных фирм, которые в той или иной степени способны изменять форму характеристики впрыскивания.

В данной работе предлагается новый способ управления характеристикой впрыскивания, реализуемый путем модернизации форсунки аккумуляторной системы топливоподачи типа CR. Предлагаемая автором форсунка отличается от традиционной форсунки системы Common Rail установкой двух дополнительных клапанов: пьезоэлектрического клапана регулирования давления и электромагнитного клапана регулирования давления. Давление и скорость нарастания давления впрыскивания зависит от момента открытия и площади проходного сечения пьезоэлектрического клапана регулирования давления.

Третья глава посвящена разработке математической модели гидродинамических процессов в предлагаемой аккумуляторной системе. Для проверки адекватности применяемого метода моделирования разработаны модели двух типов серийных ТПС: аккумуляторных систем фирмы Bosch типа Common Rail (CR) 2-го (AC1) и 3-го (AC2) поколений, с целью сравнения результатов расчета с экспериментальными данными, приведенными в литературных источниках.

Для расчета процессов в трубопроводах автором решались уравнения одномерного нестационарного вязкого течения топлива методом линеаризованного распада-разрыва, предложенного проф. Греховым Л.В. Для уточнения математических моделей ТПС проведены расчеты эффективного проходного сечения характерных отверстий рассматриваемых форсунок с использованием программного комплекса ANSYS CFX с учетом турбулентности потока топлива, сжимаемости топлива и явления кавитации. Для учета турбулентности использовалась модель k-ε, а для учета кавитации - модель Релея-Плессета.

Совместно с уравнениями гидродинамических процессов решались уравнения динамического равновесия запирающих элементов (игла, управляющие клапаны). Автор отмечает, что динамическая модели электромагнитных процессов созданы как подсистема в среде Simulink.

Результаты расчета рабочих процессов для AC1 и AC2 показали удовлетворительное совпадение с экспериментом (максимальное расхождение по цикловой подаче при длительности управляющего импульса $t_{упр} \geq 0,5$ мс для трех разных давлений в аккумуляторе составило 10,4%). Автор делает заключение, что применяемые методы математического моделирования адекватно описывают гидродинамические процессы в ТПС.

Математические модели реализованы в среде Matlab/Simulink.

В четвертой главе приведены результаты расчетно-теоретического исследования рассматриваемых ТПС, в результате чего показано, что предла-

гаемая автором аккумуляторная ТПС АСЗ позволяет осуществлять прямоугольную, треугольную и ступенчатую форму характеристики впрыскивания с возможностью изменения их параметров, что позволит повысить степень управляемости рабочим циклом дизеля. Несмотря на то, что полученная высокая управляемость характеристикой впрыскивания достигается за счет установки двух дополнительных клапанов и снижения гидравлической эффективности форсунки, в сравнении с существующими системами, обладающими подобными возможностями, предлагаемая система менее сложная и/или более гидравлически эффективная.

В заключении приведены основные результаты работы, полученные автором, которые сформулированы в 5 пунктах, из чего следует, что сформулированная автором цель, а именно: разработка дизельной системы топливоподачи с управляемой формой характеристики впрыскивания с широкими возможностями по управлению ее параметрами, достигнута, а поставленные задачи выполнены.

Дальнейшее развитие выбранной темы автор видит в оптимизации конструкции предлагаемой дизельной форсунки с целью повышения ее гидравлической эффективности и динамических характеристик, изготовлении форсунки и проведении натурных испытаний, а также уточнении математических моделей гидродинамических процессов в форсунке путем учета неизо-термичности процессов.

Следует отметить, что в работе даны ссылки на авторов и источники, откуда соискатель заимствовал материалы или отдельные результаты.

Полнота опубликованных основных положений диссертации в открытой печати.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту, достаточно полно отражены в 19 работах, в том числе 5 в журналах, рекомендованных ВАК, и 2 в журналах, индексируемых в БД Scopus. Получен патент РФ на изобретение.

Соответствие содержания автореферата основным положениям диссертации.

Автореферат в целом отражает основное содержание диссертации и передает её основные положения.

Автореферат разослан в соответствии с установленными «Положением...» сроками.

Замечания, пожелания и рекомендации.

1. Считаю, что первая глава излишне перегружена анализом материала по влиянию дизеля на окружающую среду, механизмам образования вредных веществ в ОГ, требованиям экологических стандартов, способам снижения содержания вредных веществ в ОГ, а вторая – по обзору современных серийных и опытных ТПС.

2. В диссертации не представлено сравнение конструктивных характеристик предлагаемой системы топливоподачи с существующими.
3. Желательно количественное пояснение фразы при описании конструктивной схемы предлагаемой форсунки: «снижается гидравлическая эффективность форсунки из-за дополнительного слива топлива через КРД2 для установки начального давления», (с. 127).
4. Математическая модель процессов топливоподачи не учитывает утечки топлива через прецизионные сопряжения, не учитывает неизотермичность. Из содержания работы не ясно, какая расчетная температура использовалась при моделировании.
5. В описании математической модели процессов топливоподачи не приведены уравнения электромагнитных процессов исполнительных механизмов (возможно, требуют уточнения уравнения динамики (3.2.11), (3.3.12), (3.5.9) на стр. 98, 102, 105), но при этом в работе отмечается, что динамическая модель электромагнита была создана как подсистема в среде Simulink.
6. Справедливость принимаемых допущений при математическом моделировании, а именно: «рассматриваемые гидродинамические процессы – изотермические; рассматривается только ЛВД; давления в аккумуляторе, ЛНД и цилиндре двигателя считаются постоянными; гидродинамические процессы в трубопроводах одномерны; топливо однофазно», стр. 79, требует обоснования и оценки возможной погрешности.
7. В работе отсутствуют сведения об экспериментальном подтверждении возможности управления характеристикой впрыскивания с использованием предлагаемого способа управления (АСЗ), а также экспериментальном или расчетно-теоретическом исследовании работы дизеля с применением предлагаемой системы топливоподачи.
8. Желательно дать более четкие рекомендации по управлению работой форсунки (форма характеристики впрыска), увязанные с требованиями к характеристике впрыска для разных режимов работы двигателя (например, в соответствии с рис. 1.15-1.17 диссертации).
9. Автор указывает, что разработана программа для ЭВМ, «создана библиотека элементов-примитивов (трубопроводы, полости, отверстия, распылитель, игла, электромагнит, клапаны и др.) в среде Matlab/Simulink», но не приведены сведения о защите охраняемыми документами результатов интеллектуальной деятельности.
10. Следует отметить, что в тексте диссертации незначительно, но присутствуют опечатки и опечатки, например: «характеристикой спрыска», стр. 63; «Греховым Л.В. на основы обработки большого...», стр. 80; «Для определения расходных характеристик распылителей с данной работе...», стр. 83.

Заключение о соответствии диссертации «Положению о присуждении ученых степеней», утвержденном Правительством РФ от 24.09.2013 г. № 842.

Основываясь на проведенном анализе представленных материалов, можно считать, что диссертация Байтимерова Рустама Миндияхметовича является научно-квалификационной работой, соответствующей паспорту специальности 05.04.02 – тепловые двигатели, в которой содержится решение задачи совершенствования дизельной системы топливоподачи путем реализации характеристики впрыскивания с широкими возможностями по управлению ее параметрами, имеющей значение для развития двигателестроения.

Результаты диссертационной работы Байтимерова Р. М. имеют научную и практическую значимость, приняты к использованию в ООО "ЧТЗ-Уралтрак" (г. Челябинск).

Материал диссертации изложен логически последовательно, и ее оформление в целом соответствует требованиям ГОСТ Р7.0.11-2011. Основные положения диссертации опубликованы в изданиях, рекомендованных ВАК, прошли апробацию на научных конференциях.

Анализ представленных соискателем материалов, содержание рукописи диссертации, автореферата, опубликованных трудов позволяют сделать вывод о том, что рецензируемая работа удовлетворяет требованиям п. 9-11 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24.09.2013 г. № 842 ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

Диссертация «Разработка дизельной системы топливоподачи с управляемой формой характеристики впрыскивания с использованием математического моделирования» представляет собой цельный и законченный труд, а его автор, **Байтимеров Рустам Миндияхметович**, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.04.02 – Тепловые двигатели.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой двигателей
внутреннего сгорания
Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова

31.03.2016

Свистула Андрей Евгениевич

Почтовый адрес: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46
АлтГТУ им. И.И. Ползунова, кафедра ДВС,
тел.3852-29-08-13, e-mail: dekan_feat@mail.ru



Андрей Евгениевич Свистула

Подпись заверяю:

ОК: *Т.И. Лоды*