На правах рукописи

Скрипник Алексей Александрович

УДК 621.436

ВЛИЯНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ВИХРЕВОГО ДВИЖЕНИЯ ЗАРЯДА НА ЛОКАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА В ДВИГАТЕЛЯХ С НЕПОСРЕДСТВЕННЫМ ВПРЫСКИВАНИЕМ ТОПЛИВА

(05.04.02-тепловые двигатели)

Автореферат
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва 2004

Работа выполнена в МГТУ им. Н.Э. Баумана на кафедре «Поршневые двигатели»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор Кавтарадзе Р.З.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор Марков В.А.
кандидат технических наук, Девянин С.Н

Ведущая организация: ОАО ХК «Коломенский Завод»

Защита состоится «20» мая 2004 г. В «14» 30 час. на заседании Диссертационного Совета Д. 212.141.09 «Тепловые и гидравлические машины» при Московском государственном техническом университете им. Н.Э. Баумана по адресу: 105005, Москва, Рубцовская наб., д.2/18, учебно-лабораторный комплекс, ауд. 937.
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Ваши отзывы на автореферат в 2-х экземплярах заверенные печатью, просьба высылать по адресу: 107005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, МГТУ им. Н.Э. Баумана, ученому секретарю Совета Д 212.141.09

Автореферат разослан «15» апреля 2004 г.

1680396

Ученый секретарь
Диссертационного совета
Кандидат технических наук,
Доцент Тумашев Р.З.

Актуальность выбранной темы можно сформулировать в виде следующих тезисов:

- расчетно-теоретические методы наряду с экспериментальными методами дают полное понимание процессов, происходящих в Камере Сгорания (КС) ДВС и, в частности, механизмов образования токсических компонентов отработавших газов, возникновения тепловых нагрузок и т.д. С помощью новых расчетных методов можно провести всесторонний анализ рабочего процесса и выдать рекомендации по изменению существующей конструкции с целью улучшения эффективных и экологических показателей ДВС. В связи с этим многие производители финансируют крупные исследовательские проекты по разработке новых математических моделей;
- применение методов математического моделирования позволяет сократить время проектирования перспективных, а также доводки существующих двигателей, снизить затраты, расширить число рассматриваемых вариантов и улучшить технико-экономические и экологические показатели. Достижение перечисленных целей необходимо для успеха в условиях конкуренции;
- двигатели российского производства на данный момент имеют достаточно крупные резервы по доводке процессов впрыскивания, смесеобразования, сгорания, теплообмена, переработки Отработавших Газов (ОГ). Методы моделирования в этом случае позволяют без лишних затрат произвести оптимизацию различных параметров;
- одним из требований к коммерческим программным продуктам для моделирования сложных внутрицилиндровых процессов в настоящее время является наличие интуитивно понятного пользовательского интерфейса. Время на подготовку нового специалиста в этом случае снижается. Также, сокращается время на подготовку расчетной модели, что ведет к сокращению сроков разработки и затрат.

Цель работы: Разработка расчетно-экспериментального метода исследования последовательных процессов впрыскивания и распределения топлива, образования очагов воспламенения, температурных полей в объёме камеры сгорания и тепловых нагрузок на основные детали в зависимости от вихревого движения заряда в цилиндре.

Методы исследования: В работе использованы теоретические и экспериментальные методы исследования. С помощью теоретических методов были исследованы изменения локальных параметров рабочего процесса при варьировании интенсивности вихревого движения впускного воздуха и ряда конструктивных параметров. Экспериментальная часть работы заключалась в создании специальной установки, моделирующей нестационарные тепловые нагрузки в КС дизелей. В диссертации использовались также опытные данные

МГТУ им. Н. Э. Баумана БИБЛИОТЕКА

локальному теплообмену в КС, полученные в МГТУ им. Н.Э. Баумана, а также в других организациях.

Научная новизна:

- разработаны метод, алгоритм и программа FAKEL расчета динамики топливного факела и распределения топлива по объёму КС дизеля с непосредственным впрыскиванием в зависимости от интенсивности вихря впускного воздуха;
- предложен расчетно-экспериментальный метод прогнозирования места и времени образования очага воспламенения в факеле впрыскиваемого топлива.

Достоверность и обоснованность научных положений определяется:

- использованием фундаментальных законов и уравнений термодинамики, гидродинамики и тепломассобмена с соответствующими граничными условиями, современных численных и аналитических методов реализации математических моделей;
- применением широкоизвестного программного комплекса FIRE фирмы AVL, содержащего экспериментально апробированные модели внутрицилиндровых процессов ДВС;
- применением при оценке адекватности математических моделей достоверных опытных данных, полученных на модельной установке, а также при испытаниях полноразмерных двигателей на стенде в МГТУ им. Н.Э. Баумана;
- экспериментальным подтверждением достаточной точности основных положений, принятых при создании математических моделей.

Практическая значимость работы состоит в том, что:

- разработан алгоритм и программа для расчета локальных нестационарных температур рабочего тела в объёме камеры сгорания с учетом вихревого движения заряда, позволяющие с достаточной для практики точностью решать задачи проектирования перспективных, а также модернизации существующих дизелей;
- полученные значения локальных нестационарных температур рабочего тела используются для оценки эффективных и экологических показателей проектируемых и существующих двигателей, в частности, для прогнозирования тепловых потерь и теплового состояния основных деталей, а также образования локальных концентраций оксидов азота в камере сгорания;
- создана относительно простая экспериментальная установка для моделирования условий работы и тарировки датчиков нестационарного теплового потока.

Апробация работы.

Диссертационная работа заслушана и одобрена на заседании кафедры «Поршневые двигатели» (Э-2) МГТУ им. Н.Э. Баумана в июле 2001 г.

По основным разделам диссертационной работы были сделаны доклады на международной научно-технической конференции «Двигатель-97», 14-16 октября 1997г., Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана; на 3-й международной научно-технической конференции «Решение экологических проблем в автотранспортном комплексе», 26-28 января 1999 г., Москва, МАДИ (ТУ); на XII Школе-Семинаре молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках», 25-28 мая 1999г., Москва, МЭИ; на VIII Международной научно-практической конференции «Совершенствование мощностных, экономических и экологических показателей ДВС», 22-24 мая 2001г., Владимир, ВлГУ; на XXXIX Международной научно-технической конференции ААИ «Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров», 25-26 сентября 2002г., Москва, МГТУ «МАМИ»; на третьей Российской национальной конференции по теплообмену, 21-25 октября 2002г., Москва, МЭИ; на IX международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей», 27-29 мая 2003г., Владимир, ВлГУ; на международной конференции «Combustion and Atmospheric pollution» 7-12 июля 2003г., Санкт-Петербург, ИХФ РАН им. Семенова.

Научная работа «Моделирование распределения впрыскиваемого топлива в камере сгорания дизеля с учетом вихревого движения впускного воздуха» отмечена грамотой Российского отделения международного концерна АББ АСЕА Браун Бовери 25 июня 1999г.

Публикации: Основные положения диссертации опубликованы в 9 печатных работах.

Объём диссертации: Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Она содержит 148 страниц основного текста, 77 рисунков и фотографий, 7 таблиц и 15 страниц со списком литературы, включающим 159 наименований.

Содержание диссертации:

Во введении обоснована актуальность проблемы создания эффективных расчетно-экспериментальных методов исследования локальных параметров рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания, создания на основе этих методов программного обеспечения, удобного для использования в промышленности. Дана краткая характеристика диссертационной работы.

В первой главе проводится аналитический обзор теоретических и экспериментальных работ по исследованию динамики топливного факела современных дизельных двигателей с непосредственным впрыскиванием, методам расчета локальных температур рабочего тела в объёме КС и методам исследования локального теплообмена в КС ДВС.

Рассматриваются работы как отечественных, так и зарубежных авторов, таких как Г.Н. Абрамович, И.В. Астахов, Л.М. Белинкий, Н.Р. Брилинг, Н.А. Иващенко, Р.З. Кавтарадзе, А.С. Лышевский, М.Р. Петриченко, Р.М. Петриченко, Н.Ф. Разлейцев, Г.Б. Розенблит, Б.Н. Семенов, Д.А. Франк-Каменецкий, С.М. Фролов, Н.Д. Чайнов, A. Alajbegovic, W.J.D. Annand, M. Arai, J. Diwakar, G. Eichelberg, H. Hiroyasu, G.F. Hohenberg, W. Nusselt, P.J. O'Rourke, W. Pflaum, R.D. Reitz, G. Sitkei, R. Tatschl, G. Woschni и др.

На основе проведенного анализа опубликованных работ по данной тематике, а также, потребностей современного двигателестроения была определена цель данной диссертационной работы, и были поставлены задачи, решение которых необходимо для достижения цели работы.

Вторая глава посвящена созданию математической модели, алгоритма и программы расчета "FAKEL" распределения топлива по объёму камеры сгорания двигателя с непосредственным впрыскиванием. Математическая модель, при разработке которой были использованы некоторые экспериментальные данные фирмы "Cummins", описывает динамику топливного факела в вихревом потоке воздуха. В результате определяются дальнобойность $l_{\tau\omega}$ и угол раскрытия факела $\Theta_{\tau\omega}$ при впрыскивании топлива в закрученном потоке воздуха, вращающегося с угловой скоростью $\omega_в$, как функции времени (угла поворота коленчатого вала), при этом установлено, что $l_{\tau\omega} \sim \tau^{0.6}$. При этом, расчет проводится на основе следующих уравнений: $\frac{l_\tau - l_{\tau\omega}}{l_\tau} = 0.35 \cdot (\frac{l_{\tau\omega}}{d_c} \cdot \frac{e_B}{e_{BT}})^{0.44}$, где $e_в$ – кинетическая энергия воздушного заряда, $e_{вт}$ – кинетическая энергия впрыскиваемого топлива, d_c – диаметр соплового отверстия форсунки, l_τ - дальнобойность факела топлива при впрыскивании в неподвижный воздух;

$$\Theta = \frac{2 \cdot \mathrm{Re}^{0.46} \cdot \frac{l_c}{d_c} \cdot \beta}{7.4 \cdot \left[1 - e^{-\left(\frac{\rho_T}{43.6 \cdot \rho_B}\right)^{0.39}}\right]}$$

где l_c - длина соплового отверстия, $\beta = -0.0286 \frac{\rho_T}{\rho_B}$, $\rho_в$ – плотность воздуха в цилиндре в момент впрыскивания топлива, $\rho_т$ – плотность топлива. При этом $\mathrm{Re} = \frac{u_0 d_c}{\nu}$, где u_0 – скорость истечения из соплового отверстия, ν – кинематическая вязкость топлива. Построена трехмерная модель факела (рис. 1) и определены концентрации топлива в его поперечном и продольном сечениях. Относительная концентрация в

поперечном сечении определяется по известной зависимости из теории турбулентных струй $\frac{c}{c_{max}} = 1 - \left(\frac{y}{b_{экв}}\right)^{\frac{3}{2}}$, где с – относительная концентрация в поперечном сечении факела, c_{max} – концентрация топлива на оси факела, у – текущее расстояние от оси факела, $b_{экв}$ – эквивалентный радиус факела.

На основе разработанной математической модели были проведены численные эксперименты в целях исследования распределения топлива по объёму КС в зависимости от таких факторов, как закон впрыскивания (в т.ч. многократный и ступенчатый), конструкция форсунки и интенсивность вихревого движения заряда (рис. 2).

Для практического использования программы "FAKEL" для WINDOWS разработан удобный графический интерфейс пользователя (рис. 3), позволяющий проводить численные эксперименты с помощью варьирования параметрами модели непосредственно в окне программы и имеющий интерфейс с программой AUTOCAD для визуального анализа объемного распределения топлива в камере сгорания.

При проведении численных экспериментов было выявлено, что увеличение тангенциальной скорости воздуха (рис. 4) способствует уменьшению продвижения переднего фронта факела по направлению радиуса цилиндра, что согласуется с известными экспериментальными данными. Кроме того, при увеличении тангенциальной скорости воздуха увеличивается доля топлива, распределенного в объёме камеры сгорания, по отношению к топливу, попавшему на стенки КС.

Введено понятие осредненного весового фактора распределения дизельного топлива по объёму КС, представляющего собой нормированную относительную величину осредненной по времени концентрации топлива в данном контрольном объеме (рис. 5). Весовой фактор позволяет упростить описание нестационарного процесса распределения топлива и подготовить исходные данные для расчета локальных температур в объёме КС и локального теплообмена в КС ДВС.

Третья глава посвящена моделированию локальных температур, локальных очагов воспламенения и локального теплообмена в камере сгорания. В главе описан концептуальный подход к расчету локальных параметров рабочего тела на основе многозонной модели с применением метода контрольных объёмов (МКО), разработанной в МГТУ им. Н.Э. Баумана. В частности, дано краткое описание алгоритмов расчета процессов испарения и сгорания топлива в отдельных зонах (контрольных объемах (КО)), метод учета турбулентного массообмена и сложного теплообмена между КО и участками стенки камеры сгорания. Локальные нестационарные температуры рабочего тела в объёме КС

определяются в результате решения системы дифференциальных уравнений:

$$\sum_k u_{ik}\frac{dm_{ik}}{d\tau}+\sum_k m_{ik}c_{Vk}\frac{dT_i}{d\tau}+\Delta u_{исп}\frac{dm_{исп i}}{d\tau}+\Delta u_{СГ}\frac{dm_{СГi}}{d\tau}=$$

$$=\sum_j^{n_v}\lambda_{ij}\frac{T_j-T_i}{S_{ij}}F_{ij}+\sum_j^{n_w}a_{ij}(T_i-T_{wj})F_{ij}+\sum_j^{n_{ve}+n_{we}}\Psi_{ij}\sigma_0(T_j^4-T_i^4)-\frac{m_iR_iT_i}{V_i}\frac{dV_i}{d\tau}+\sum_j^{n_v}\sum_k\left(c_pT\frac{dm}{d\tau}\right)_{kji}$$

Где T_i – температура в i-том контрольном объёме, остальные обозначения являются общепринятыми в термодинамике и теории ДВС.

Рассчитанные локальные температуры существенно отличаются от осредненной по объему цилиндра температуры, полученной, как правило, путем пересчета индикаторной диаграммы давления (рис. 6). Использование вычисленных значений локальных нестационарных температур при расчете тепловых нагрузок на основные детали двигателя, а также при оценке локальных концентраций оксидов азота в цилиндре дизеля, проведенных с помощью алгоритмов и программ, ранее разработанных в МГТУ, дает хорошее совпадение с опытными данными. Это указывает на адекватность модели для расчета локальных температур рабочего тела, непосредственное измерение которых связано с большими трудностями.

Предложена математическая модель смешения плоской топливной струи с воздухом в условиях дизельного двигателя. Модель удовлетворительно описывает профили скорости и концентрации топлива в слое смешения. Дополнение модели уравнением изотермической химической реакции позволило определить местоположение очага самовоспламенения, которое согласуется с экспериментальными наблюдениями (рис.7).

$$\frac{\partial\rho u}{\partial x}+\frac{\partial\rho v}{\partial y}=0$$

$$\rho u\frac{\partial u}{\partial x}+\rho v\frac{\partial u}{\partial y}=l^2\frac{\partial u}{\partial y}\frac{\partial}{\partial y}\left[\rho\frac{\partial u}{\partial y}\right]$$

$$u\frac{\partial\rho}{\partial x}+v\frac{\partial\rho}{\partial y}=l^2\frac{\partial u}{\partial y}\frac{\partial^2\rho}{\partial y^2}+S$$

, где $S=-k\exp\left(-\frac{E}{RT}\right)$ - химический источник концентрации вещества, l – длина перемешивания по Толлмину.

Проведенное варьирование давлением газа в цилиндре, температурой газа и давлением топлива в форсунке показало чувствительность модели к изменению внешних параметров и выявило некоторые тенденции изменения геометрического места воспламенения в зависимости от этих параметров.

Расчет рабочего процесса дизеля был проведен также с помощью программы FIRE фирмы AVL. Было установлено, что в двигателе ЧН 16,4/12,3 максимальные локальные температуры рабочего тела достигают 2500К (рис. 8 и 9), что существенно выше максимального значения средней по объёму температуры. Локальные мгновенные

тепловые потоки в местах взаимодействия горящего факела топлива со стенками КС при горении топлива на порядок больше по сравнению с тепловыми потоками до воспламенения. Очаги воспламенения возникают на расстоянии 12-15 мм от соплового отверстия при 3 - 5° угла п.к.в. после ВМТ.

Четвертая глава посвящена экспериментальному исследованию локального теплообмена в КС. В целях исследования создана экспериментальная установка для моделирования локальных тепловых нагрузок в КС дизелей. Установка позволяет испытывать образцы с отложениями нагара и без него, различными керамическими покрытиями, а также, проводить калибровку датчиков (рис. 10). Дана оценка погрешностей при измерении нестационарных тепловых потоков в случае применения датчика, действующего по принципу дополнительной (вспомогательной) стенки. В результате обработки проведенных ранее под руководством проф. Кавтарадзе Р.З. исследований четырехтактного дизеля КамАЗ-7405 автором были определены локальные нестационарные тепловые потоки в камере сгорания быстроходных дизелей (места установки датчиков показаны на рис. 11) при увеличении интенсивности воздушного вихря на 20% и в условиях серийного двигателя в широком диапазоне изменения нагрузочных и скоростных режимов их работы (рис. 12). Интенсивность теплообмена существенно зависит от протекания рабочего процесса в цилиндре и определяет так называемые динамические граничные условия, т.е. локальные тепловые нагрузки на основные детали двигателя (поршень, головка, гильза, клапаны и т.д.), напряженное состояние которых и является основным ограничением при форсировании дизелей по мощности. Однако, как показал анализ экспериментальных данных, полученных на двигателях семейства КамАЗ-7405, увеличение интенсивности закрутки в исследуемом диапазоне не приводит к увеличению локальных тепловых нагрузок и не препятствует форсированию двигателя по мощности, что соответствует результатам проф. М.Р. Петриченко, полученным теоретическим путем.

Основные выводы к диссертационной работе

1. Разработана математическая модель, алгоритм и программа расчета "FAKEL" распределения топлива по объёму КС, учитывающая влияние интенсивности вихревого движения впускного воздуха на развитие топливного факела. В целях использования программы "FAKEL" для WINDOWS разработан удобный интерфейс;
2. Предложен метод построения трехмерной модели топливного факела, учитывающий замену реального сечения факела на эквивалентное при воздействии на него вихря воздуха. Метод позволяет определить значение среднего фактора веса распределения топлива в процессе впрыскивания для каждого конкретного момента времени расчета

рабочего цикла. Результаты расчета используются как исходные данные для расчета локальных температур рабочего тела в пространстве КС;

3. Топливный факел в КС дизеля рассматривается, как турбулентная струя плотной среды, смешиваемой с окислителем (воздухом). Физический процесс смешивания на основе системы двумерных уравнений неразрывности, количества движения и диффузии с использованием длины смешивания по Толлмину. Введение в уравнение диффузии дополнительного источникового члена, учитывающего изменение концентрации топлива вследствие протекания химических реакций, позволяет определить момент и геометрическое место воспламенения. Сопоставление полученных данных с известными экспериментальными данными дает хорошее совпадение, указывающее на достоверность разработанной модели.

4. Усовершенствованы алгоритм и программа расчета, разработанные в МГТУ им. Баумана и предназначенные для расчета локальных температур рабочего тела в КС и локального теплообмена в дизелях. Введенные автором отдельные разработки и программные модули (FAKEL, определения весового фактора распределения топлива, момент и геометрическое место воспламенения) повышают достоверность многозонной модели и позволяют сократить время на подготовку исходных данных для расчета;

5. Использование полученных значений локальных нестационарных температур при расчете тепловых нагрузок на основные детали двигателя, а также при оценке локальных концентраций оксидов азота в цилиндре дизеля дает хорошее совпадение с опытными данными. Это указывает на адекватность разработанной модели для расчета локальных температур рабочего тела, непосредственное измерение которых связано с большими трудностями;

6. При непосредственном участии автора создана экспериментальная установка для моделирования локальных нестационарных тепловых потоков в КС ДВС. При этом используются датчики теплового потока, действующие на принципе дополнительной стенки. Установка позволяет моделировать тепловые нагрузки на поверхности КС с учетом смещения очагов сгорания в результате воздействия боковой закрутки потока.

7. Изменение интенсивности вихря в цилиндре дизеля 4ЧН 18/20 от 0 до 40 рад/с приводит к изменению содержания топлива в отдельном контрольном объёме до 40 %. Расчет локальных температур в КС дизеля 4ЧН 18/20 при изменении интенсивности вихря от 0 до 40 рад/с показал увеличение локальных температур в отдельно взятом КО на 100К. Расчет локальных температур в двигателе 8ЧН12/12 показал существенное различие средней температуры в цилиндре (около 1700К) и максимальной температуры в отдельно взятом КО (2700К). Определение геометрического места и момента воспламенения показало, что,

воспламенение происходит на периферии исходной топливной струи в глубине слоя смешения. Расчетное расстояние от среза соплового отверстия $(x = 0, y = 0)$ до места воспламенения ($\approx$9 мм) вполне согласуется с экспериментальными наблюдениями по воспламенению осесимметричных дизельных струй. Моделирование рабочего процесса по программе FIRE показывает, что в двигателе ЧН 16,4/12,3 максимальные локальные температуры рабочего тела достигают 2500К. Локальные мгновенные тепловые потоки в местах взаимодействия горящего факела топлива со стенками КС при горении топлива на порядок больше по сравнению с тепловыми потоками до воспламенения. Очаги воспламенения возникают на расстоянии 12-15 мм от соплового отверстия при 3 - 5° угла п.к.в. после ВМТ.

8. Сопоставление полученных расчетных результатов с опытными данными, в том числе и других авторов, указывает на их хорошее согласование. Это позволяет использовать разработанные математические модели при создании перспективных и доводке существующих дизелей с непосредственным впрыскиванием.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Скрипник А.А. Исследование распределения впрыскиваемого топлива в камере сгорания дизеля с учетом вихревого движения впускного воздуха // Двигатель-97: Материалы международной научно-технической конференции. - М., 1997. -С. 24-25.

2. Экспериментальная установка для моделирования нестационарных тепловых потоков в камере сгорания / Кавтарадзе Р.З., Арапов В.В., Ван Ичунь, Скрипник А.А. // Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках: Труды XII Школы-Семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева. -М., 1999. -С. 153-154.

3. Влияние интенсивности вихря впускного воздуха на локальные температуры рабочего тела в цилиндре двигателя / Кавтарадзе Р.З., Арапов В.В., Скрипник А.А., Ван Ичунь. // Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках. Труды XII Школы-Семинара молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева. –М., 1999. -С. 155-158.

4. Моделирование локальных температур рабочего тела в объёме КС дизеля с непосредственным впрыскиванием топлива / Кавтарадзе Р.З., Арапов В.В., Скрипник А.А., Ван Ичунь. // Решение экологических проблем в автотранспортном комплексе: Тезисы докладов 3-й международной научно-технической конференции. -М., 1999. -С. 157

5. Скрипник А.А. AVL FIRE – Важный инструмент в процессе разработки и доводки ДВС // Совершенствование мощностных,

экономических и экологических показателей ДВС: Материалы VIII международной научно-практической конференции. –Владимир, 2001. - С. 233-234.
6. Скрипник А.А. Опыт фирмы AVL List GmbH в применении методов моделирования для разработки двигателей и автомобилей // Приоритеты развития отечественного автотракторостроения и подготовки инженерных и научных кадров: Тезисы докладов международной научно-технической конференции ААИ. -М., 2002. -С.65.
7. Расчетно-экспериментальное исследование локальных температур и локальных концентраций оксидов азота в КС дизеля / Голосов А.С., Кавтарадзе З.Р., Онищенко Д.О., Скрипник А.А. // Труды третьей Российской национальной конференции по теплообмену. –М., 2002. - Том 8. -С. 114-117
8. Скрипник А.А., Фролов С.М., Кавтарадзе Р.З. Моделирование воспламенения в топливной струе // Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей: Материалы IX Международной научно-практической конференции. –Владимир, 2003. - С. 329-331.
9. Frolov S.M., Skripnik A.A., Kavtaradze R.Z. Modeling of Diesel Spray Ignition // Combustion and Atmospheric Pollution. –M.: Torus Press ltd., 2003. -P. 220-227.

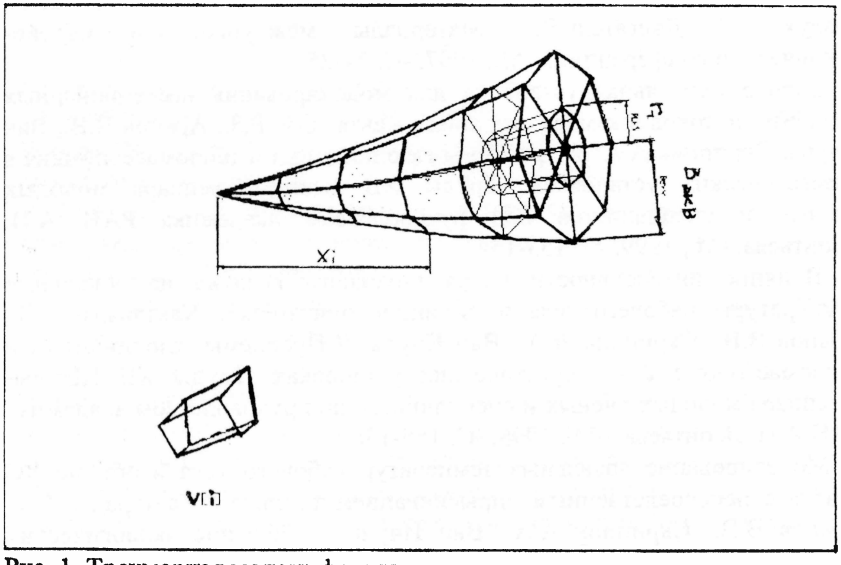


Рис. 1. Трехмерная модель факела.

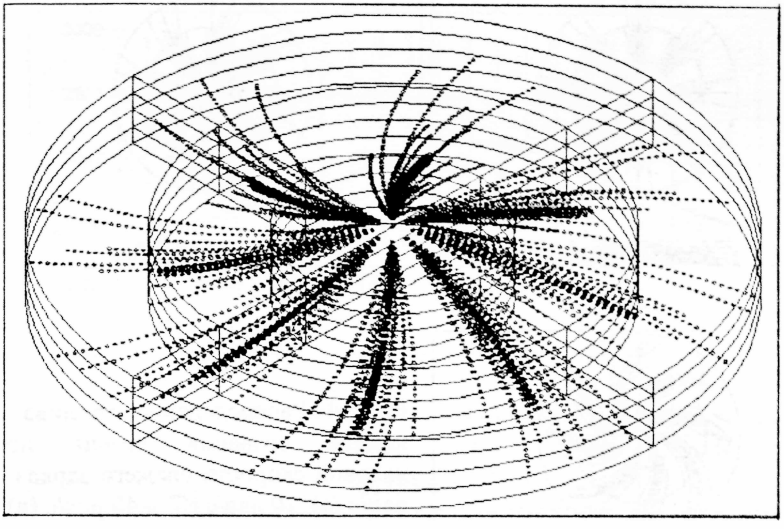
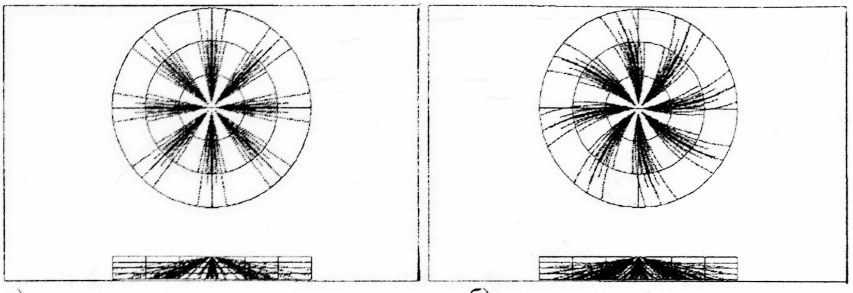
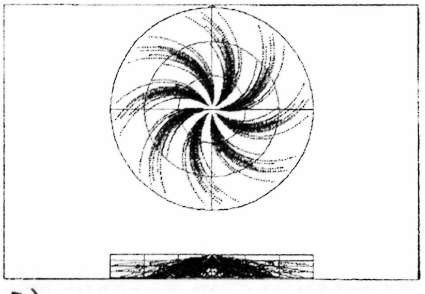


Рис. 2 Распределение топлива в цилиндре дизеля.

Рис. 3 Графический интерфейс пользователя программы “FAKEL”.



а) б)



в)

Рис. 4 Распределение топлива в камере сгорания дизеля при угловой скорости свежего заряда 0 рад/с (а), 20 рад/с (б) и 40 рад/с (в).

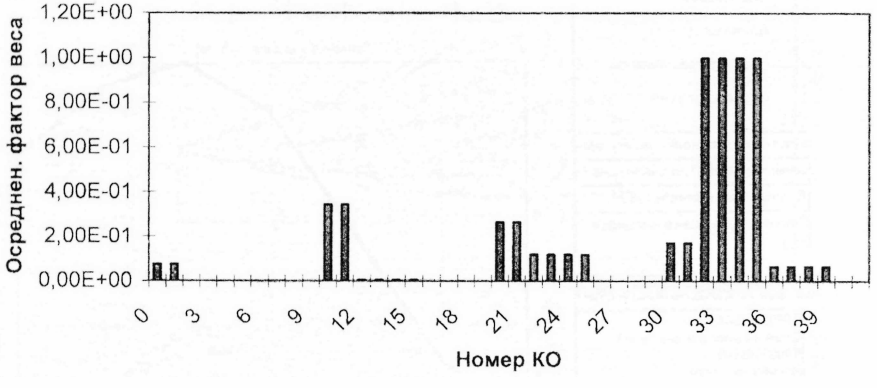


Рис. 5. Осредненный фактор веса распределения топлива.

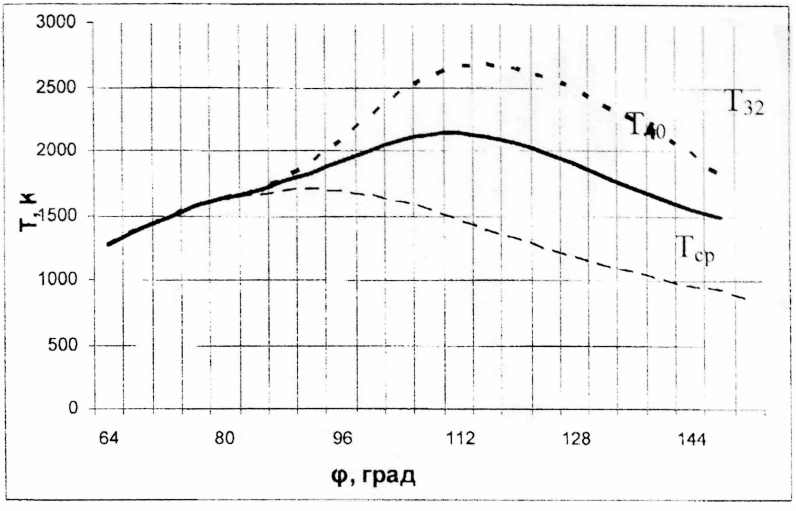


Рис. 6. Сравнение локальных температур (индекс указывает на номер КО) и среднемассовой температуры $T_{ср}$ рабочего тела в камере сгорания дизеля 8ЧН 12/12.

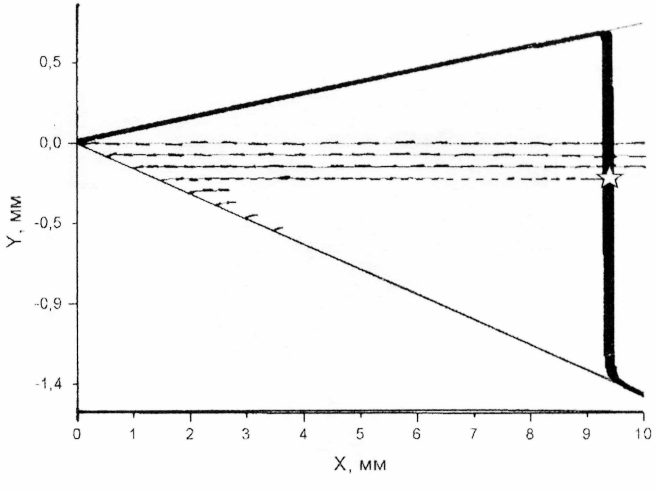


Рис. 7. Расчетное определение местоположения очага воспламенения в слое смешения топливной струи.

★ - место воспламенения.

-------- траектории некоторых выбранных частиц.

_____ границы слоя смешения.

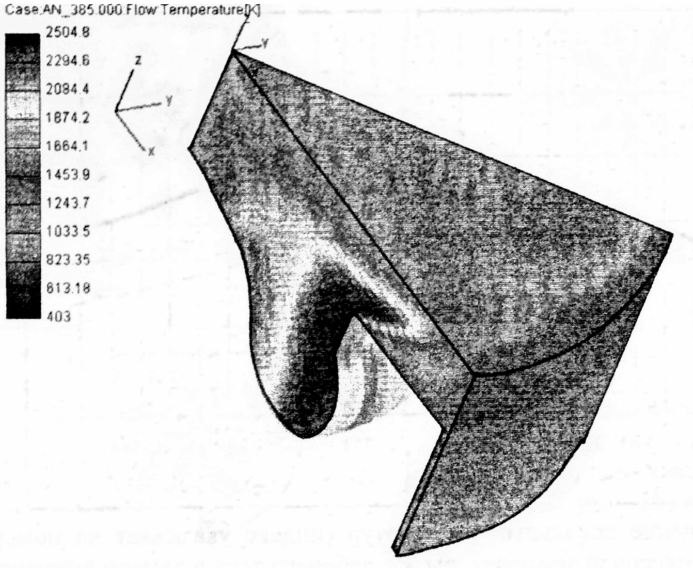


Рис. 8. Распределение температур газа в камере сгорания при положении поршня 25° после ВМТ.

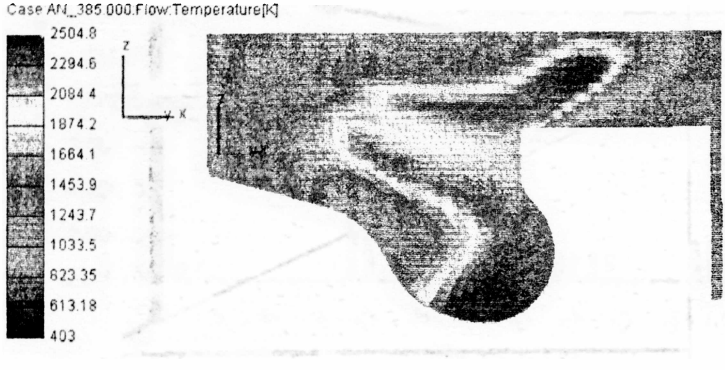


Рис. 9. Распределение температур газа в камере сгорания (сечение с максимальной температурой) при положении поршня 25° после ВМТ.

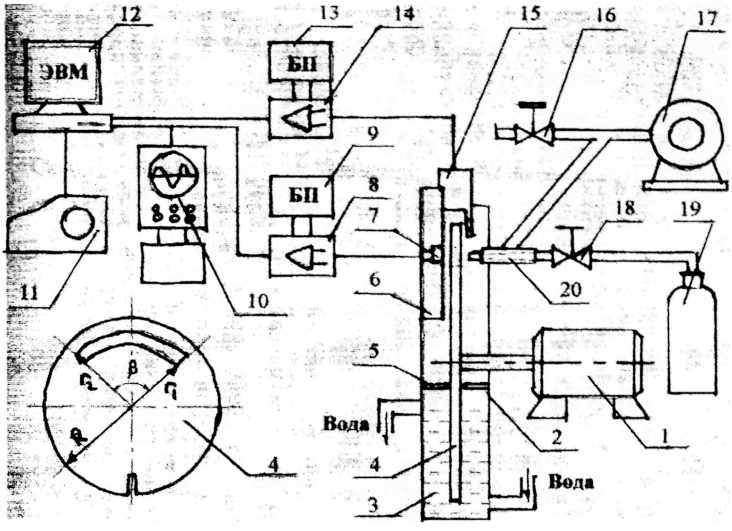


Рис. 10. Схема экспериментальной установки для моделирования локального нестационарного теплообмена в КС ДВС:

1-электромотор, 2-водяной холодильник, 3-охлаждающая вода, 4-металлический диск, 5- гаситель брызг воды, 6-образец, 7-датчик теплового потока, 8 и 14-усилитель, 9-блок питания, 10-осциллограф, 11-принтер, 12-компьютер, 13-блок питания, 15-датчик скорости вращения диска, 16 и 18-вентиль, 17-нагнетатель воздуха, 19-газовый баллон, 20-газовая горелка.

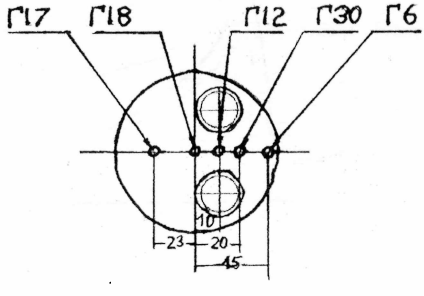
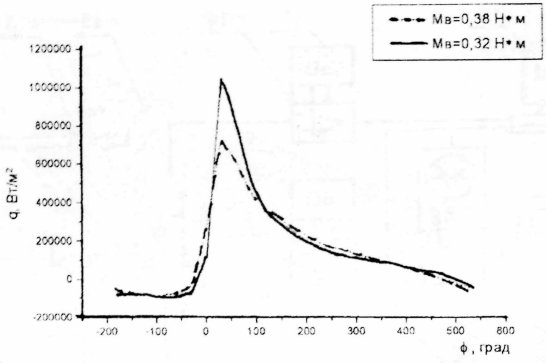
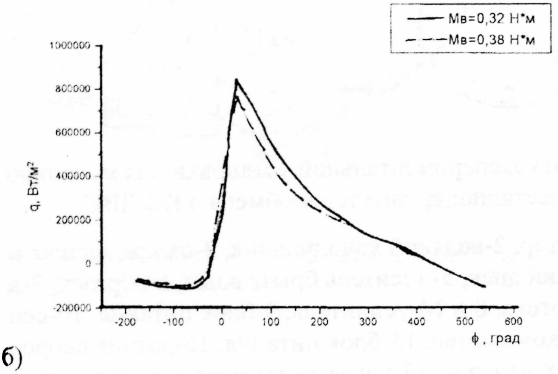


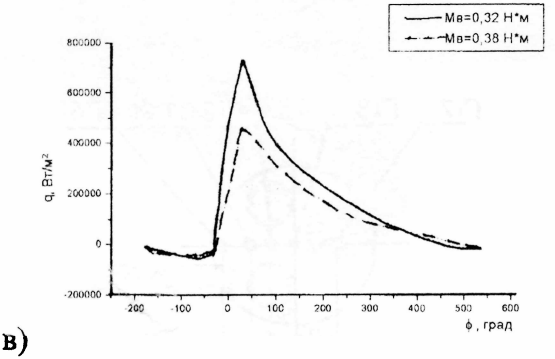
Рис. 11. Схема расположения датчиков теплового потока на головке блока цилиндров КамАЗ.



а)



б)



в)

Рис. 12. Зависимость плотности теплового потока от интенсивности закрутки воздуха двигателя КАМАЗ (датчик Г6 – а; датчик Г18 – б; датчик Г30 – в).

Д 1680396
Скрипник А.А.
Влияние интенсивности вихревого движения заряда на локальные параметры рабочего процесса в двигат...
2004 0-00

Д 1680396

ВОЗВРАТИТЕ КНИГУ НЕ ПОЗЖЕ
обозначенного здесь срока

Подписано в печать 9.04.2004 г. Формат 60x90, 1/16.
Объем 1,0 п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 85

Отпечатано в ООО "Фирма Блок"
107140, г. Москва, ул. Русаковская, д.1. т. 264-30-73
www.blok01centre.narod.ru
Изготовление брошюр, авторефератов, переплет диссертаций.