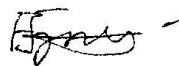


На правах рукописи



Бразовский Василий Владимирович

ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСНЫХ ПОТОКОВ

Специальность: 05.11.13 – Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Томск 2011

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный
технический университет им. И.И. Ползунова»

Научный консультант

доктор технических наук, профессор
Кулешов Валерий Константинович

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор
Герасимов Сергей Иванович

доктор технических наук, профессор
Жилин Николай Семенович

доктор технических наук, профессор
Смирнов Геннадий Васильевич

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
Сибирский федеральный университет,
г.Красноярск

Защита состоится 06 марта 2012 г. в 15.00 на заседании совета по
защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212 269 09 при ФГБОУ
ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический уни-
верситет»: 634028, г. Томск, ул. Савиных, 7, ауд. 215.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библио-
теке при ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский поли-
технический университет» по адресу: г. Томск, ул. Белинского, 55.

Автореферат разослан «__» января 2012г.

Ученый секретарь совета по защите

докторских и кандидатских диссертаций



Б.Б. Винокуров

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Постоянный рост техногенного воздействия промышленности и транспорта на окружающую среду приводит к необратимым изменениям значений ее параметров, что часто приводит к экологическим кризисам и катастрофам на локальном уровне (фотохимический смог, кислотные осадки, загрязнение водоемов) и в глобальном масштабе (образование парникового эффекта, глобальное затемнение, разрушение озонового слоя).

Повышение экологических и экономических требований к современным двигателям внутреннего сгорания (ДВС) актуализирует разработку методов и средств неразрушающего контроля основных систем ДВС.

Для понимания сложных процессов, происходящих в дисперсных потоках, требуются измерения ряда параметров, в частности, распределения образующихся частиц в пространстве и по размерам. Кроме того, необходим контроль множества сопутствующих физических параметров невозмущающими, или неразрушающими методами. Указанные измерения могут быть обеспечены лазерными диагностическими методами, обладающими высокой пространственной и временной разрешающей способностью.

Методы оптического контроля с применением скоростных цифровых камер и управления хорошо известны. Однако, с одной стороны, сохраняется потребность при производстве топливных распылителей и каталитических нейтрализаторов в автоматизации средств оперативного неразрушающего контроля основных параметров дисперсных потоков при настройке и доводке новых типов дизелей. С другой стороны, с учетом трудоемкости методов контроля, проводимых в условиях серийного производства, быстродействующие методы оптического контроля физических параметров быстропротекающих процессов не развиты, хотя значения этих параметров оказывают существенное влияние на рабочий процесс ДВС.

Аналитические исследования оптических методов контроля быстропротекающих процессов проводилось рядом российских и зарубежных ученых. Основы теории распространения светового излучения через дисперсные среды были заложены Д. Релеем, Дж. Ми и развиты в дальнейшем Г. ван де Хюлстом, К.С. Шифриным и др. Неоценимый вклад в разработку оптических методов и технических средств измерения и контроля параметров дисперсных сред внесли Б.С. Ринкевичюс, Ю.Н. Дубнищев, и др.. Разработкой систем измерений на основе матричных фотодатчиков занимались И.Н. Пустынский, Ю.Г. Якушенков и др.

Выбранные направления исследований обеспечивают решение задач оперативного неразрушающего контроля дисперсных потоков.

Актуальность диссертационной работы подтверждается и тем, что она выполнялась в рамках аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 г.г.)» по проекту № 2.2.1.1/4799 и федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009-2013 г.г.» «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров совместно с малыми инновационными предприятиями в области энергосбережения» ГК № 02.740.11.0828

Цель работы заключается:

в научном обосновании, разработке и создании новых оптических методов и приборов неразрушающего контроля параметров дисперсных потоков в ДВС, отличающихся высокой точностью и скоростной обработкой получаемых результатов, способных безотказно работать в реальных производственных условиях.

Задачами исследования являются:

- разработка и создание методов неразрушающего контроля физических параметров динамических дисперсных потоков в системах дизельных ДВС;
- создание приборов и приборных комплексов, реализующих предложенные методы и, обеспечивающих контроль в реальном времени с прямой компьютерной обработкой полученных результатов и способных работать в реальных производственных условиях;
- апробация разработанных приборов и методов, выработка методик контроля и рекомендаций по совершенствованию контрольно-измерительных стендов для диагностики физических характеристик динамических процессов в ДВС.

Объектом исследования являются:

двухфазные дисперсные потоки в основных рабочих системах ДВС, такие как: распыленное топливо, конденсированная фаза отработавших газов, в различных происходящих процессах;

Методы исследования. В работе использовались:

- оптические экспериментальные методы;
- дифракционные методы исследования и метод цифровой голографии;
- методы математической статистики, теории вероятности, обработки изображений;

- теории распространения оптического излучения в дисперсных средах;
- методы моделирования.

Научная новизна:

- научно-обоснован голографический метод с прямой (без использования промежуточных оптических элементов) регистрацией голограмм пространственного распределения аэрозольных частиц на матрицу скоростной цифровой камеры с непосредственным вводом информации в компьютер, что делает возможным непосредственное определение параметров частиц и обеспечивает необходимую репрезентативность выборки. Реализация подхода к исследованию достигается предложением метода регистрации, устойчивый в условиях технической вибрации и неконтролируемых оптических помех и в данной приборной и алгоритмической реализации использованного впервые;
- впервые установлено, что использованный голографический метод позволяет: 1) измерять физические параметры конденсированной фазы отработавших газов дизеля в процессе многоступенчатой очистки каталитическим СВС-нейтрализатором, что позволяет подбирать фильтрующие элементы с оптимальными для конкретной установки параметрами; 2) контролировать дисперсный состав струи распыленной жидкости, что позволяет создавать диагностические стенды, работающие в реальном времени в производственных условиях;
- разработан поисковый алгоритм обработки голографического изображения, заключающийся в обнаружении частицы в предметной области методом Монте-Карло и расчете ее параметров, позволяющий производить скоростную обработку данных контроля и работать в режиме реального времени; предложенный алгоритм реализован в программном комплексе для обработки результатов исследований;
- для описания результатов использована статистическая характеристика, снимающая проблему малых частиц при регистрации оптическими методами – распределения массы частиц по размерам;

На защиту выносятся:

1. Метод определения дисперсного состава и пространственного распределения частиц аэрозольных потоков, заключающийся в прямой регистрации голографической картины на матрицу скоростной цифровой камеры и дальнейшей компьютерной обработкой голограммы с использованием цифровой голографии.
2. Комплекс экспериментальной аппаратуры, устойчивый в условиях технической вибрации и неконтролируемых оптических помех для голографического контроля физических параметров: конденсированной

фазы отработавших газов, струи распыляемого топлива, очистки газов, выбрасываемых в окружающую среду, позволяющий производить многоканального зондирования полостей фильтров с различными температурами, в продольных и поперечных сечениях, давать сравнительную оценку для различных вариантов комплектования трехступенчатых каталитических нейтрализаторов, и проводить контроль параметров отработавших газов при их очистке непосредственно на автомобиле

3. Программный комплекс и поисковый алгоритм обработки голографического изображения, заключающийся в обнаружении частицы в предметной области методом Монте-Карло и дальнейшем расчете ее параметров.

4. Результаты исследования предложенным методом, показывающие характер формирования частиц: дисперсного состава отработавших газов в дизельном двигателе «КамАЗ-740» на различных режимах работы, физических параметров струи распыляемого топлива в процессе работы форсунки дизеля и процессов очистки конденсированной фазы отработавших газов в различных вариантах зондирования.

Практическая значимость работы заключается в том, что созданные методы, ряд экспериментальных приборных комплексов и стендов контроля параметров дисперсных потоков позволяют изучать и контролировать физические процессы, происходящие в дизельных двигателях внутреннего сгорания, и являются необходимыми при создании устройств для очистки дымовых газов от твердых частиц, а также оптимизации рабочих процессов двигателя и применения альтернативных топлив. Кроме того разработанные приборы могут применяться для контроля пылевыделяющих технологий.

Разработанная голографическая установка контроля дисперсных потоков внедрена на предприятии: ООО «Термосинтез» (г.Барнаул) для контроля качества готовой продукции и на ОАО «Сибирский химический комбинат» (г.Северск) для контроля дисперсного состава пыли при сборке остановленных уран-графитовых реакторов. Также разработанные методы и приборы внедрены в учебный процесс в Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова.

Достоверность результатов обеспечена адекватным применением теории измерений, теории погрешности, теории цифровой обработки сигналов, применением стандартных приборов, проверкой разработанных стендов контроля с применением альтернативных измерительных методик, стендов и теоретических расчетов, воспроизводимостью полученных результатов, а так же физически ясным механизмом процесса регистра-

ции, использованием прямой регистрации голограммы без использования дополнительных оптических элементов и сравнением полученных результатов с аналогичными результатами, полученными другими методами и описанными в научно-технической литературе.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на следующих конференциях: «Fundamental problems and modern technologies of material science» (FPMTMS). The 2-d Russia-Chines School-Seminar, Barnaul, 2002; Эволюция дефектных структур в конденсированных средах, Барнаул, 2001; четвертая и пятая краевые конференции по математике, Барнаул, 2001 и 2002; научно-технические конференции студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава технического университета, Барнаул, 2001, 2002, 2003 и 2006; Молодежь – Барнаулу; научно-практической конференции (22-24 ноября 2004 г.), III Международной конференции студентов и молодых ученых: «Перспективы развития фундаментальных наук», Томск, 2006; всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Приоритетные направления науки и техники, прорывные и критические технологии: «Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики», Барнаул 2007, 2008; IV международной школы-семинара Высоко-температурный синтез новых перспективных материалов: «СВС-2008»; XVI международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии» Томск, 2010. Результаты работы неоднократно докладывались на «Южно-Сибирском объединенном физическом семинаре», регулярно проводимом в АлтГТУ (Барнаул, 2005-2009).

Личный вклад автора. Основные исследования по тематике диссертационной работе выполнены лично автором, либо под его руководством и при его участии. Часть исследований, выполненных автором, производились совместно с его коллегами с кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» АлтГТУ. Автором, в том числе, были сформулированы основные принципы и положения исследований по теме диссертации, он принимал непосредственное участие в постановке новых задач, планировании экспериментов, создании аппаратных стендов, проведении натурных экспериментов.

Публикации. По теме диссертации имеется 50 публикаций, из них 15 статей в журналах входящих в список ВАК, 2 монографии, 1 отчет по НИР, 2 решения о выдаче патента на изобретение, остальные работы в трудах перечисленных выше конференций и научных журналах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений, имеет 362 стр. машинописного текста, в тексте приведено 153 рисунка. Список литературы включает 315 наименований.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи работы, раскрыты научная новизна и практическая значимость, приведены результаты и апробация работы выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрены научные и практические проблемы при исследовании физических параметров импульсных дисперсных потоков в динамических процессах. Приводится описание импульсного дисперсного потока как объекта контроля. В начале главы рассмотрены основные зависимости, позволяющие описывать характеристики процессов сажеобразования, очистки отработавших газов и распыление топливной струи.

Анализируются методы измерения и контроля параметров трехмерных ансамблей частиц в импульсных двухфазных потоках, таких как скорость, дисперсный состав, применительно к быстропотекающим процессам, выбираются оптические методы, применение которых возможно к решению задачи контроля объектов исследования.

Рассматривается состав конденсированной фазы продуктов сгорания и особенность методов контроля дисперсного состава твердых частиц в потоках отработавших газов.

Дисперсный поток отработавших газов несколько отличается от потока распыленной жидкости из-за некоторых оптических свойств углерода. Отличительной особенностью контролируемых данных является то, что определена величина комплексного показателя преломления света при температурах 1000 К и 1600 К для частиц углерода графитной структуры в видимой области спектра.

При промышленном изготовлении топливных и других распылителей небольшие отклонения от паспортных размеров составляющих деталей, узлов, как правило, приводят к ухудшению качества распыления. Согласно требованиям ГОСТ 10579-88, при визуальном наблюдении впрыскиваемое топливо должно быть туманообразным, без сплошных струек и легко различимых местных сгущений, что проконтролировать без специальных приборов практически невозможно.

При разработке методов и устройств контроля характеристик импульсных дисперсных потоков жесткие требования накладывают определенные технологические условия протекания процессов.

В заключении главы сформулированы задачи исследования, стоящие перед автором, преимущества и недостатки рассмотренных методов для выработки методов оптического контроля характеристик двухфазных дисперсных потоков.

Во второй главе рассматриваются приборы и методы контроля физических параметров динамических процессов. Из всего многообразия методов определения дисперсионного распределения частиц, наиболее предпочтительны оптические, использующие явления воздействия дисперсного потока на световое излучение, так как в этом случае принципиально отсутствует механическое влияние на изучаемый процесс, а так же возможно применение малого по сравнению с периодом развития потока времени измерения. Рассмотрены приборы для определения оптической плотности конденсированной фазы.

Приводится описание распространенных схем экспериментальных установок и стендов, реализующих измерение и контроль характеристик, как процессов сажеобразования очистки отработавших газов, так и струй распыленного топлива.

Наиболее объективными методами оценки дымности газов явились фильтрующие и оптические. Фильтрационные методы предусматривают отфильтровывание углеродистых частиц из известного объема конденсированных фаз и последующего определения их количества. Непосредственные оптические методы основаны на измерении оптической плотности конденсированной фазы отработавших газов. На основе общих методов существуют промышленные приборы - дымомеры.

В зависимости от диапазона размеров частиц применимы различные оптические методы исследования дисперсности, большинство из них строятся на связи общего показателя рассеяния облучении взвеси частиц параллельным пучком света - $f(r)$ и концентрации частиц - N :

$$S(\beta, \lambda) = N \int_{r_{\min}}^{r_{\max}} \sigma(\beta, \lambda, r) f(r) dr \quad (1)$$

где: $r_{\min}$ и $r_{\max}$ – граничные радиусы частиц взвеси. $\sigma(\beta, \lambda, r)$ – функция рассеяния излучения с длиной волны λ по углам β для отдельной частицы радиуса r .

Для рассеяния на малые углы с учетом положений теории рассеяния Ми, мы использовали зависимость:

$$I(\beta) = \frac{I_0}{\beta^2} \int_0^{\infty} f(r) r^2 J_1^2(\rho\beta) dr, \quad (2)$$

где $\rho = \frac{2\pi r}{\lambda}$, I и I_0 интенсивности рассеянного и исходного излучения. Для определения функции распределения частиц по размерам, рассчитываемой по измеряемой индикатрисе рассеяния света, необходимо решить обратную задачу рассеяния. Исходя из теории обращенных трансформаций Фурье-Бесселя интегральное уравнение имеет вид:

$$f(\rho) = -\frac{4\pi^2 I_0}{r^2 \lambda} \int_0^{\infty} \varphi(\rho\beta) \frac{d[I(\beta)\beta^3]}{d\beta} d\beta \quad (3)$$

где $\varphi(x) = xJ_1(x)Y_1(x)$, J_1 и Y_1 -функции Бесселя 1-го и 2-го рода. Известен ряд разновидностей метода рассеяния света малыми частицами. К ним относятся:

- а) Метод спектральной прозрачности.
- б) Метод полной индикатрисы.
- в) Метод малых углов.
- г) Статистический метод.
- д) Метод многоволнового обратного рассеяния.

Задача состояла в обращении уравнения:

$$G(\pi, \lambda_i) = \int_0^{\infty} \pi r^2 Q(r, \lambda) f(r) dr \quad (4)$$

в условиях, соответствующих практическому использованию аппаратуры, когда в эксперименте измеряется показатель рассеяния $G(\pi, \lambda_i)$ при нескольких длинах волн λ_i в направлении, противоположном направлению падающего излучения. Здесь Q – фактор рассеяния в направлении назад.

Также наиболее адекватны определения массового содержания твердых частиц в конденсированной фазе, измерения концентрации сажи в цилиндре дизеля, средства и методы контроля скорости и пространственных параметров струи распыляемого топлива, приборы для оценки свойств фильтров отработавших газов в процессе работы.

Различные методы исследования не изучены на предмет репрезентативности, а все исследования имеют чисто прикладной характер. Получаемые результаты ориентированы на конкретный метод и измерительный прибор. За рамками используемого метода сравнение результатов практически лишено смысла и значительно расходится для различных методов.

исследований. Отсутствуют строгие определения конденсированной фазы и твердых частиц в отработавших газах.

$$I_p(x,y)=|1+U(x,y,z)|^2 \quad (5)$$

Также описаны известные дифракционные и голографические методы регистрации, основанные на связи интенсивности засветки на регистрирующем материале - $I_p(x,y)$, с функцией рассеянной частицами волны - $U(x,y,z)$, отмечены их достоинства и недостатки.

В третьей главе рассматриваются модели импульсных дисперсных потоков как объектов контроля. На основе критериального подхода А.С. Лышевского к описанию аналитической модели процесса распыливания топлива приведены математические формулы определения основных ее параметров. Топливный поток рассматривается как тело вращения конусообразной формы с соответствующим распределением концентраций, плотностей, интенсивностей и скоростей капель в зависимости от расстояния между сопловым отверстием и исследуемым сечением и расстояния от оси потока до исследуемой области или капли.

Начальный участок струи соответствует зоне, где происходит распад струи жидкости и дробление капель. Длина этого участка для струи дизельного топлива в атмосферных условиях составляет 4-6 см, где оптические методы и средства контроля параметров струи в рамках поставленных задач исследования не применяются. В дальнейшем, на основе литературных данных полагается, что капли на основном участке не дробятся и не сливаются, расстояние между каплями больше их среднего размера.

Особое внимание уделяется описанию предлагаемого метода прямой регистрации голографической картины на матрицу скоростной цифровой камеры и дальнейшей обработке голограммы с использованием численных методов. Для регистрации используется осевая схема, приведенная на рис. 1. Голограмма образуется на регистрирующем материале как результат интерференции опорного пучка и предметного излучения (рассеянного частицами лазерного излучения).

Известно, что в результате дифракции Фраунгофера однородной плоской волны когерентного света на частице радиуса "a" в плоскости голограммы создается распределение интенсивности:

$$I(\rho) = 1 - \frac{2ka^2}{z} \sin\left(\frac{k\rho^2}{2z}\right) \Lambda_1\left(\frac{k\rho}{z}\right) + \frac{k^2 a^2}{z^2} \left[\Lambda_1\left(\frac{k\rho}{z}\right) \right]^2. \quad (6)$$

Здесь ρ - радиус полярной системы координат на плоскости голограммы; $\Lambda_1(x) = J_1(x)/x$,

Результирующее распределение интенсивности содержит три члена, из которых только средний член,

$$I_2(\rho) = \frac{2ka^2}{z} \sin\left(\frac{k\rho^2}{2z}\right) \Lambda_1\left(\frac{k\rho}{z}\right), \quad (7)$$

является информационным при восстановлении изображения по голограмме. Он представляет собой результат интерференции между дифракционной картиной Фраунгофера частицы и когерентным опорным фоном.

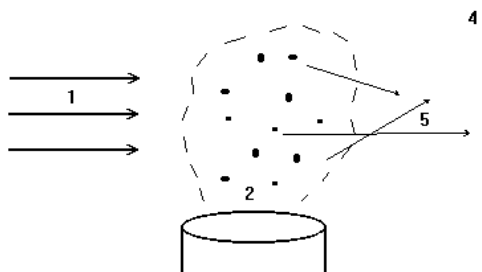


Рис. 1. Осевая схема записи голограммы микрочастиц. Голограмма образуется на регистрирующем материале 4 как результат интерференции опорного пучка 1 и предметного излучения 5 (рассеянного частицами лазерного излучения).

Для обеспечения необходимого разрешения регистрируемый объект располагался на расстоянии около 5 см от матрицы цифровой камеры. На матрицу сначала регистрировалось излучение лазера без исследуемых частиц, затем излучение, прошедшее через аэрозоль. Вторая картина вычиталась из первой, кроме того, из зарегистрированной картины вычиталась постоянная засветка матрицы, которой техническими средствами устранить не удавалось. В результате этих операций остается чистая голографическая картина (Рис. 2), которая далее подвергается обработке.

Цифровое восстановление основано на использовании приближения Кирхгофа задачи о дифракции. Интеграл Френеля-Кирхгофа устанавливает связь между распределениями комплексной амплитуды света в плоскости объекта (или голограммы) и в плоскости, удаленной на некоторое расстояние в направлении распространения волн.

Если размеры голограммы и объекта малы по сравнению с расстоянием между ними, то справедливо параксиальное приближение Френеля, которое позволяет находить комплексную амплитуду:

$$P_0(x_0, y_0, z) = \frac{c}{z} \iint \sqrt{I(x, y)} \times \exp\left\{\frac{i\pi}{\lambda z} \left[(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2\right]\right\} dx dy \quad (8),$$

где c – нормировочная константа. Наши исследования позволили конкретизировать решение интеграла для условий, соответствующих пространственному распределению частиц в дисперсном потоке.

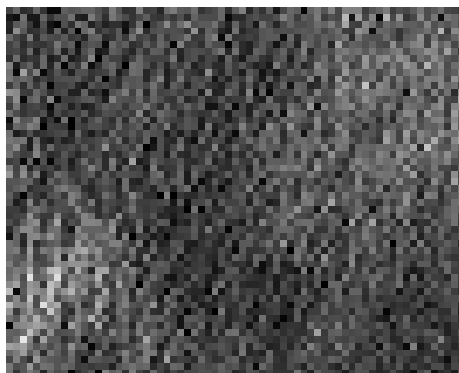


Рис. 2. Участок голограммы, полученной на экспериментальной установке.

Интенсивность в области изображения пропорциональна квадрату модуля комплексной амплитуды.

Голограмма выдается в виде BMP-файла размером 1360x1024 точек. Полное восстановление картины в предметной области с хорошим разрешением (размеры исследуемых аэрозольных частиц обычно лежат в пределах $1\div 30$ мкм) известными вычислительными методами требует около года чистого машинного времени. Поэтому численный анализ полученных картин осуществляется поисковыми методами по выборке отдельных зарегистрированных частиц.

Работоспособность метода проверялась с помощью измерений водного аэрозоля. Небольшой участок сечения в предметной области на расстоянии 5 см от голограммы приведен на рис. 3, соответствующее распределение частиц воды по размерам, полученное с помощью ультразвукового генератора – на рис. 4.

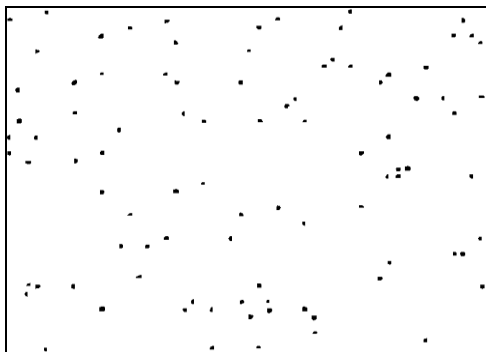


Рис. 3. Пространственное распределение частиц водного аэрозоля.

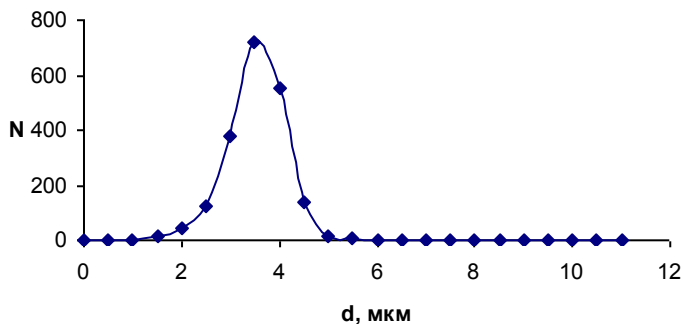


Рис. 4. Распределение частиц водного аэрозоля по размерам.

При обработке голограмм методами компьютерной голографии возникает проблема выбора уровня бинаризации. Для обеспечения достоверности при отсутствии точной информации о спектральных свойствах исследуемого объекта, в отработанных газах присутствует более 1200 различных соединений с существенно разными спектральными свойствами, уровень бинаризации выбирался таким образом, чтобы наиболее вероятное значение распределения частиц в ненагруженном режиме совпадало с аналогичным, полученным на электронном микроскопе. Общая нормировка голограмм позволяла пользоваться найденным значением уровня бинаризации для всех измерений.

В четвертой главе описывается созданная экспериментальная установка контроля дисперсного состава конденсированной фазы отработавших газов дизельного двигателя. Также изложены результаты проведенных исследований и их сравнительный анализ для различных режимов работы двигателя. Проводится сопоставление с результатами работ других авторов.

Экспериментальная установка состоит из испытательного стенда с двигателем КАМАЗ-740, позволяющего контролировать режимы работы двигателя и регистрирующей установки, собранной по осевой схеме регистрации голографической картины выхлопных газов двигателя. Фотография оригинальной части экспериментальной установки приведена на рис. 5.

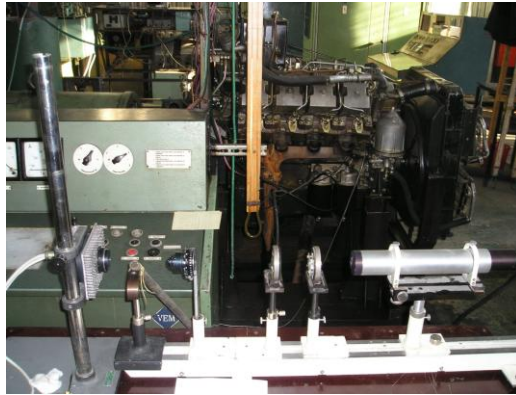


Рис. 5. Фотография экспериментальной установки.

Схема регистрации голографической картины потока выхлопных газов приведена на рис. 6.

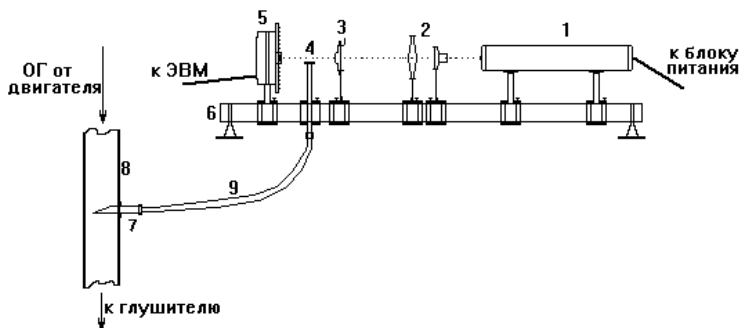


Рис. 6. Схема регистрации конденсированной фазы отработанных газов.

Описаны основные элементы схемы и особенности исследованных режимов работы двигателя.

Проведено исследование особенностей регистрации аэрозоля выхлопных газов. Показано, что увеличение времени регистрации приводит к «размазыванию» изображения регистрируемой частицы вдоль направления ее движения. Тем не менее, это не исключает возможности получить оценку ее диаметра.

Использованный метод позволяет рассчитать структуру отдельных частиц. Характеристика частицы ее «диаметром» оказывается несколько ограниченной. Структура отдельной частицы приведена на рис. 7.



Рис. 7. Структура отдельной частицы (расчет) под разными углами зрения. Здесь шарики означают шаг вычислений – 0,5 мкм.

Измерения проводились при следующих режимах работы двигателя.

1. После запуска двигателя были установлены обороты холостого хода – 800 мин^{-1} , двигатель работал без нагрузки

2. Обороты вращения коленвала были увеличены до 1500 мин^{-1} , двигатель работал без нагрузки, температура охлаждающей жидкости менее 40°C .

3. При оборотах вращения коленвала 1500 мин^{-1} , с помощью балансир-машины была создана нагрузка 95 кВт , температура охлаждающей жидкости менее 40°C .

4. Потом двигатель был прогрет до рабочей температуры 80°C , установлены обороты холостого хода – 800 мин^{-1} , двигатель работал без нагрузки.

5. Обороты вращения коленвала были увеличены до 1500 мин^{-1} , двигатель работал без нагрузки, температура охлаждающей жидкости 80°C .

6. При оборотах вращения коленвала 1500 мин^{-1} , с помощью балансир-машины была создана нагрузка 95 кВт , температура охлаждающей жидкости 80°C .

7. Двигатель был выведен на номинальный режим работы т.е.: установлены номинальные (при которых достигается максимальная мощность двигателя) обороты вращения коленвала 2600 мин^{-1} , с помощью балансир-машины была создана нагрузка 160 кВт , температура охлаждающей жидкости 80°C .

8. Двигатель был выведен на режим холостого хода, после чего увеличивая подачу топлива, одновременно увеличивалась нагрузка на двигатель т.е.: создавался режим разгона двигателя до номинальных оборотов вращения коленвала с синхронным увеличением нагрузки до максимальной.

Для сопоставления с результатами других авторов строились гистограммы распределения числа частиц по диаметрам.

Для примера на рис. 8 приведена гистограмма характерного распределения, - для режима 6 - работа двигателя с малой нагрузкой.

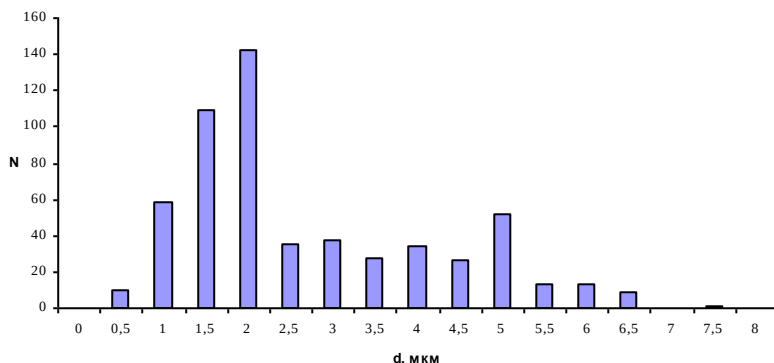


Рис. 8. Гистограмма распределения числа частиц по диаметрам – режим 6.

Особенность образования частиц в процессе горения заключается в сложной комбинации большого числа химических процессов в совокупности с процессами конденсации и сублимации. Как результат – наличие большого числа частиц субмолекулярных размеров, которые реально не могут быть зарегистрированы. Поэтому такая характеристика как распределение числа частиц по размерам в действительности имеет ограниченную применимость и может быть использована только в рамках конкретного прикладного метода измерений.

Мы считаем необходимым пользоваться для характеристики конденсированной фазы другой характеристикой – распределением массы (объема) вещества по диаметрам частиц. Особенность такой характеристики образующихся в процессе горения отработанных газов как наличие частиц субмолекулярных размеров практически не влияет на вид данного распределения и данное распределение позволит сравнивать качественный состав дисперсной фазы отработанных газов при использовании качественно различных методов измерений.

На рисунках 9-11 приведены полученные гистограммы распределения массы (объема) вещества для режимов холостого хода, малой и номинальной нагрузок работы двигателя. Объем выражен в единицах мкм^3 .

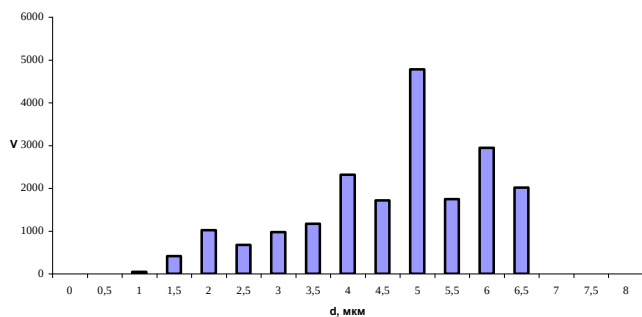


Рис. 9. Гистограмма распределения объема вещества по диаметрам для режима 2.

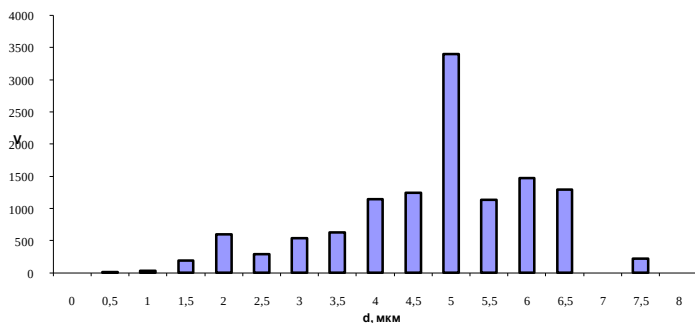


Рис. 10. Гистограмма распределения объема вещества по диаметрам для режима 6.

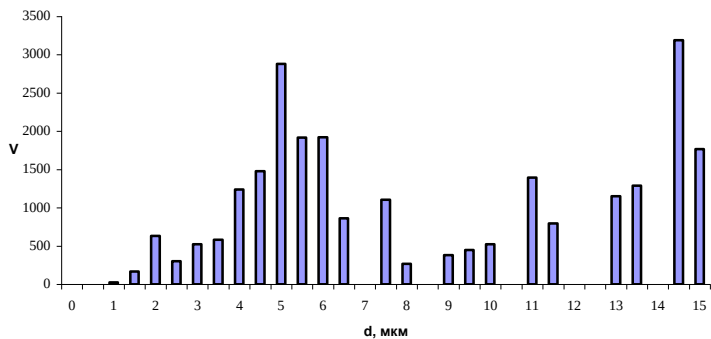


Рис. 11. Гистограмма распределения объема вещества по диаметрам для режима 7.

В пятой главе приводится описание экспериментальной установки, приборов и оборудования для контроля процессов очистки отработавших газов дизельного двигателя. Так же описывается особенности процессов очистки и фильтрующие материалы.

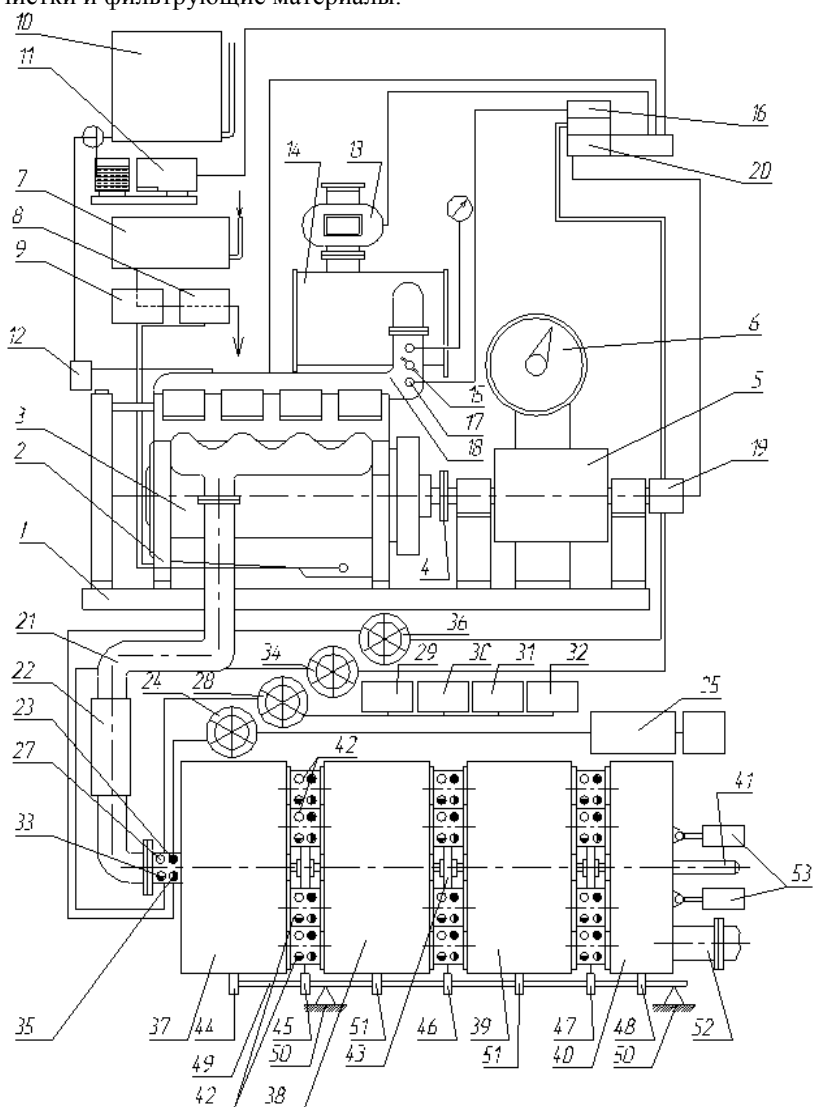


Рис. 12. Экспериментальный комплекс для оценки эффективности очистки отработавших газов.

Каталитическая очистка отработавших газов требует наличия дешевого носителя для катализаторов с высокой удельной поверхностью, физико-механическими характеристиками, обеспечивающими долговременную эксплуатацию в условиях перепада температур, ударов, вибраций и газодинамических воздействий в системе выпуска.

При использовании СВС-технологии появилась возможность получения материалов с заданными свойствами, одновременно выполняющие функции сажевых фильтров и катализаторов для нейтрализации отработавших газов дизелей.

Созданный экспериментальный комплекс представляет собой установку, включающую источник газов (дизельного двигателя), пилотную установку для одновременного проведения сравнительных испытаний различных СВС – материалов и приборное оснащение для сбора и обработки информации, обработке сочетаний различных СВС – фильтров.

Объектом исследования были определены эффективность каталитической и фильтровальной очистке газов. Источник газов был выбран по следующим причинам: доступности, компактности, автономности, возможности изменения состава отработавших газов. Пилотная установка (рис12) предоставила возможность сравнения 36 вариантов комплектаций пористыми проницаемыми СВС – каталитическими блоками.

Приводится описание комплекса приборов и оборудования, позволяющий проводить голографический контроль параметров отработавших газов при их очистке непосредственно на автомобиле и проведение ряда экспериментов на автомобиле «Урал» (рис13). Сема установки контроля показана на рисунке 14.

Описывается созданный экспериментальный комплекс контроля дисперсного состава твердых частиц при выборе наиболее эффективных фильтрующих материалов в установках отсоса пыли, образующейся при выбуривании участков с просыпями в графитовой кладке остановленных уран-графитовых реакторов, который хорошо зарекомендовал себя на ОАО «Сибирский химический комбинат» при работах на реакторе «И-1» и «АДЭ-3». Показано его применение для проведения многоканального зондирования полостей СВС – фильтров в продольных и поперечных сечениях, обеспечивающий голографический контроль физических параметров твердых частиц в процессе фильтрования конденсированных фаз с различными температурами (рис15).



Рис. 13. Автомобиль «УРАЛ» с установленным 3-х ступенчатым каталитическим нейтрализатором.

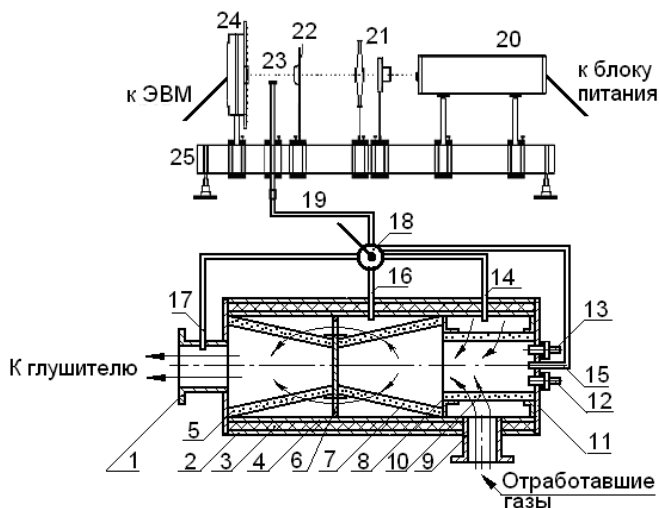


Рис. 14. Схема экспериментальной установки голографического контроля дисперсного состава отработавших газов на автомобиле «Урал»

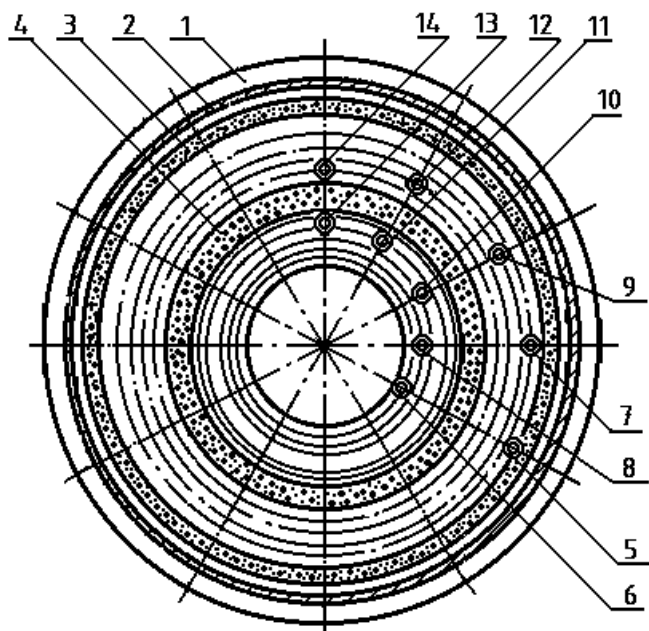


Рис. 15. Расположение каналов продольного зондирования реактора нейтрализатора.

Описаны полученные результаты проведения экспериментальных исследований физических параметров конденсированной фазы отработавших газов при очистке продуктов сгорания углеводородных топлив в СВС-фильтрах. По результатам исследований трехступенчатого каталитического нейтрализатора на автомобиле «Урал» можно в полной мере судить об эффективности процесса очистки. Действительно, в фильтрующих элементах остается значительное количество твердых частиц, вносящих существенный массовый вклад в отработавшие газы, выходящие из выхлопной трубы, но при этом данный каталитический нейтрализатор практически не задерживает частицы средний диаметр которых менее 2,5 мкм. Хотя существенного массового вклада они не вносят, но при большом их количестве обладают значительной площадью поверхности и представляют собой большую экологическую опасность. На процесс фильтрования частиц оказывает влияние избыток окислителя в реакторе фильтра. По данным зондирования и прямых измерений при увеличении избытка воздуха в реакторе фильтра с $\alpha=2,2$ до $\alpha=7,3$ температура после фильтра повышается соответственно на 25...52 градуса, что свидетельствует о наличии экзотермических реакций в пористой стенке фильтра. При увеличении избытка окислителя в продуктах сгорания увеличивается доля частиц

масляного происхождения, что изменяет условия фильтрования конденсированной фазы. Обнаружена неравномерность плотности конденсированной фазы в полостях реакторов после фильтров из СВС-материалов. На качество фильтрования большое влияние оказывает увеличение противодавления на выпуске из реактора сажевого фильтра. Установлено, что средний приведенный диаметр пор СВС-материалов не характеризует в полной мере фильтрующие свойства, а внутренняя структура поверхности пор позволяет захватывать частицы со средними приведенными диаметрами меньшими на 1... 1,5 порядка по размеру. Увеличение относительной площади фильтра, при постоянных показателях пористости и извилистости материала, в 1,5 раза приводит к повышению качества очистки всего на 3...5%. Увеличение среднего приведенного диаметра пор в СВС-материале со 120 до 240 мкм приводит к снижению качества очистки конденсированной фазы от твердых частиц в 4 раза. При осуществлении продольного и поперечного оптического зондирования полостей фильтров получены практически идентичные результаты по определению концентраций и температур твердых частиц в конденсированной фазе продуктов сгорания углеводородных топлив.

Для примера на рис. 16-19 приведены гистограммы распределения массы (объема) частиц по диаметрам при фильтрации 3-х ступенчатым каталитическим нейтрализатором.

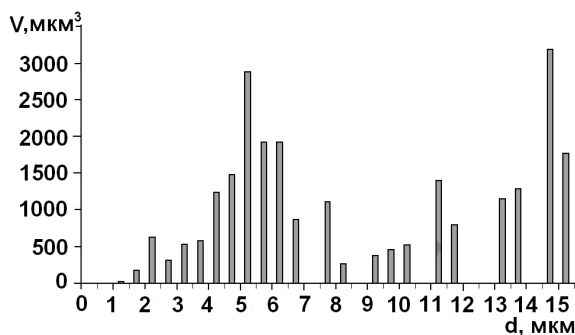


Рис. 16. Гистограмма распределения объема вещества по диаметрам до каталитического нейтрализатора.

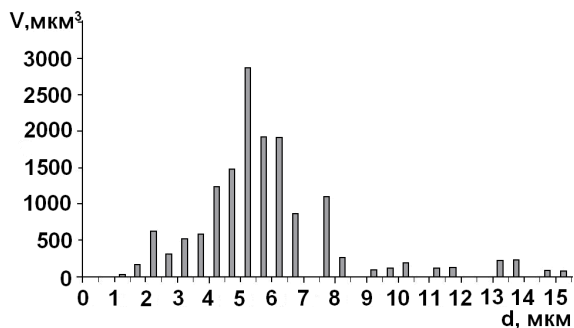


Рис. 17. Гистограмма распределения объема вещества по диаметрам после прохождения первого элемента.

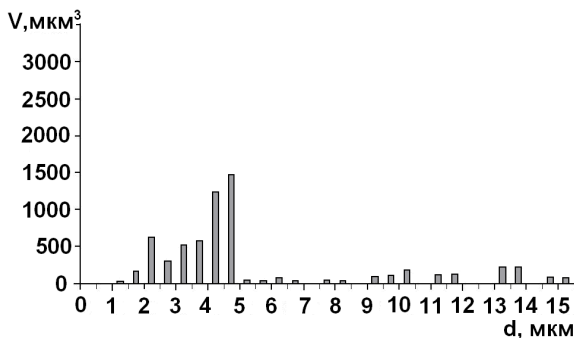


Рис. 18. Гистограмма распределения объема вещества по диаметрам после прохождения второго элемента.

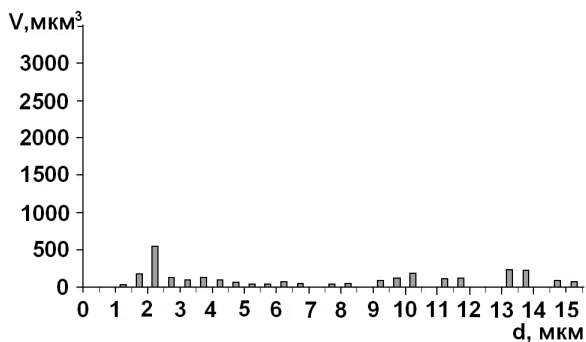


Рис. 19. Гистограмма распределения объема вещества по диаметрам после прохождения трех ступенчатого каталитического нейтрализатора

В шестой главе приводится описание метода и экспериментального стенда голографического контроля физических параметров струи распыленного топлива форсунки дизельного двигателя, позволяющий в масштабе реального времени регистрировать с высокой точностью дисперсный состав распыляемого топлива, скорость топливной струи и давление в топливной магистрали. Качественная работа форсунки в дизельном двигателе сводится к оптимизации ряда взаимосвязанных параметров, а именно: характеристики дисперсного состава, скорости струи и давления в топливной магистрали (в том числе и в момент поднятия иглы). Данные показатели в значительной степени влияют на экономические показатели дизеля, жесткость процесса сгорания, а также на токсичность отработавших газов.

Разработано и обосновано применение голографического метода контроля дисперсного состава капель струи распыленного топлива, заключающегося в регистрации частиц, движущихся с достаточно высокими скоростями. Особенностью точного измерения размера каждой капли, для дальнейшего качественного сравнения, является невозможность зафиксировать полномасштабный ее размер из-за достаточно высокой скорости. В результате за время накопления сигнала частица проходит в предметной области некоторый путь, который при восстановлении изображения по голограмме в предметной области отражается в виде некоторого «следа» движущейся частицы. Измерения такого «следа» в направлении, перпендикулярном направлению движения, дают диаметр частицы, по измерению вдоль направления движения определяется скорость движения частицы. Исходя из этих особенностей при расчетах каждый «трек» будет рассчитываться в объеме и за «средний диаметр» частицы будет приниматься наименьший геометрический размер трека. Метод контроля скоростных характеристик импульсных струй распыленной жидкости основан на регистрации мощности оптического излучения, прошедшего через поток в двух сечениях за время развития потока. Измерение давления осуществляется тензометрическим датчиком с разработанным усилителем.

Общий вид и схема экспериментальной установки контроля физических параметров показана на рис. 20-21.



Рис. 20. Экспериментальная установка голографического контроля физических параметров струи распыляемого топлива.

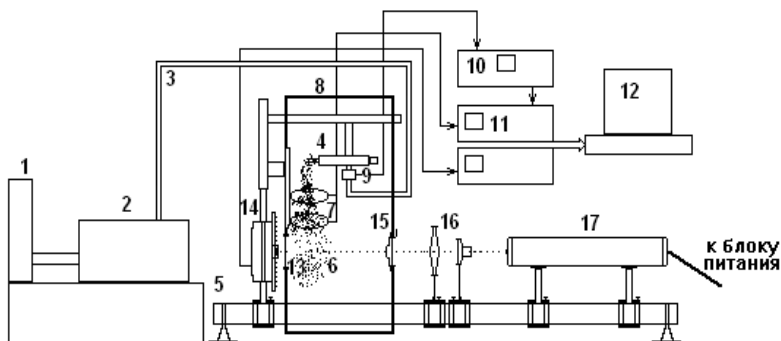


Рис. 21. Схема экспериментальной установки голографического контроля физических параметров струи распыляемого топлива.

В главе приводятся результаты исследований дисперсного состава распыляемого топлива (рис 22), скорости топливной струи и давления в топливной магистрали на разных форсунках одной модели. Установлена зависимость между частотой вращения кулачкового вала ТНВД, давления

в топливной магистрали, скорости движения фронта и среднего диаметра наибольшего количества капель (некоторые результаты приведены в таблице). Как видно из результатов эксперимента параметры распыления у форсунок одной модели различаются, при этом различие параметров одной и той же форсунки не выходит за 5%. Это объясняется точностью изготовления распылителей.

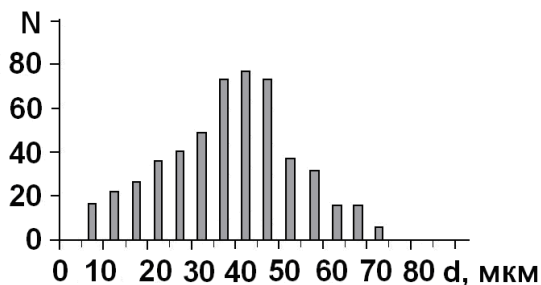


Рис. 22. Распределение капель по размерам для 1-го заводского образца форсунки А-01.

Частота вращения вала ТНВД, мин ⁻¹	600	650	700	750	850
Давление впрыска топлива, МПа	27,0	29,1	32,2	35,3	37,3
Скорость впрыска U_0 , м/с	150,4	156,2	164,3	172	176,9
Скорость фронта эксперим., м/с	36,7	39,7	43,9	48,0	52,6
Средний диаметр наибольшего количества капель, мкм	50	41	33	28	26

В заключении перечислены основные результаты работы.

Основные результаты и выводы диссертационной работы.

1. Предложен и экспериментально реализован метод голографической регистрации конденсированной фазы в отработавших газах, применимый в условиях неустраняемой технической вибрации и неустраняемом паразитном световом фоне. Регистрация аэрозольных частиц в быстротекающих процессах осуществлена на матрицу скоростной цифровой камеры с прямой записью получаемой голографической картины в компьютер.
2. Разработана методика и создан программный комплекс обработки полученной голограммы. Вначале на матрицу регистрируется картина без частиц, затем при наличии частиц и из второй картины вычитается первая, благодаря чему из зарегистрированной картины вычитается постоянная общая засветка. Разностная картина нормируется. Полученная чистая голограмма зарегистрированного пространственного распределения частиц передается для обработки методами цифровой голографии.
3. Осуществлена регистрация голографической картины распределения водного аэрозоля, полученного с помощью лабораторного ультразвукового генератора.
4. Разработано и обосновано применение голографического метода контроля дисперсного состава капель струи распыленного топлива, заключающийся в регистрации частиц, движущихся с достаточно высокими скоростями.
5. Создан комплекс экспериментальных установок для исследования конденсированной фазы выхлопных газов дизеля КамАЗ-740. Экспериментальный комплекс состоит из испытательного стенда, позволяющего устанавливать требуемые режимы работы двигателя и оптической схемы для голографической регистрации конденсированной фазы в выхлопных газах с прямым вводом получаемой голографической картины в компьютер, с помощью которого проведено исследование особенностей регистрации аэрозоля выхлопных газов.
6. Создан экспериментальный комплекс для оценки эффективности очистки газов, выбрасываемых в окружающую среду в устройствах с пористыми СВС – каталитическими блочными фильтрами, позволяющий на экспериментальной пилотной установке производить сравнительную оценку до 216 вариантов комплектования трехступенчатых каталитических нейтрализаторов по ЕВРО – стандартам.
7. Создан комплекс приборов и оборудования, позволяющий проводить контроль параметров отработавших газов при их очистке непосредственно на автомобиле и проведен ряд экспериментов на автомобиле «Урал». По результатам исследований можно в полной мере судить об эффективности процесса очистки.

8. Создан экспериментальный стенд для проведения многоканального зондирования полостей СВС – фильтров в продольных и поперечных сечениях, обеспечивающий голографический контроль физических параметров твердых частиц в процессе фильтрования конденсированных фаз с различными температурами.
9. Разработан и создан экспериментальный комплекс для голографического контроля физических параметров форсунки дизельного двигателя, позволяющий в масштабе реального времени, с достаточной для практической степени надежности регистрировать дисперсный состав распыляемого топлива, скорость топливной струи и давление в топливной магистрали.
10. Разработана программа, позволяющая по полученной голограмме (предварительно обработанной и нормированной) выбирать отдельную частицу, строить ее объемное изображение и показывать на экране в режиме анимации. Получены картины, показывающие структуру отдельной частицы и подтверждающие факт несферичности частиц. Разработан и реализован поисковый алгоритм обработки голографической картины. Алгоритм основан на поиске частицы с использованием метода Монте-Карло, определения ее параметров (размеры, конфигурация, положение в пространстве) с дальнейшим накоплением выборки и определением ее статистических характеристик.
11. Проведены измерения твердых частиц в выхлопных газах дизельного двигателя КамАЗ-740 при различных режимах работы. Показано, что использование распределения количества частиц по размерам не отвечает критерию репрезентативности выборки. Предложено характеризовать сажистые частицы распределением массы (объема) вещества по размерам. Проведенные измерения позволяют сделать следующий вывод о процессе формирования конденсированной фазы отработанных газов дизельного двигателя.
12. Эксперименты по оценке эффективности каталитического нейтрализатора на автомобиле с дизелем позволили изучить механизмы, происходящие в полостях фильтров при очистке отработавших газов. Установлено влияние параметров фильтров на процесс очистки.
13. Получены результаты исследования дисперсного состава распыляемого топлива, скорости топливной струи и давления в топливной магистрали на разных форсунках. Установлена зависимость между частотой вращения кулачкового вала ТНВД, давления в топливной магистрали, скорости движения фронта и среднего диаметра наибольшего количества капель. Используемый метод позволяет установить критерий пригодности распылителей.

Основные результаты диссертации опубликованы в следующих работах.

а) входящие в список журналов, рекомендованных ВАК:

- 1. Бразовский В.В.,** Вагнер В.А., Евстигнеев В.В., Пролубников В.И., Тубалов Н.П. Распределение твердых частиц выхлопных газов по размерам // Ползуновский вестник. 2006. в. 4. – С. 187-193.
- 2. Бразовский В.В.,** Евстигнеев В.В., Кашкаров Г.М., Тубалов Н.П. Исследование методом цифровой голографии процессов очистки отработавших газов. // Известия Томского политехнического университета / Издательство ТПУ, 2008. – 2008. Т. 312. – №3 – с. 107-112
- 3. Бразовский В.В.,** Кашкаров Г.М., Лебедева О.А., Тубалов Н.П. Получение материалов восстановлением из отходов машиностроения с применением высокотемпературного синтеза. // Известия Томского политехнического университета / Издательство ТПУ, 2008. – 2008. Т. 312. – №3 – с. 104-106.
- 4. Бразовский В.В.,** Кашкаров Г.М., Титов Д.Н. Метод исследования каталитического нейтрализатора // Ползуновский вестник. Изд-во АлтГТУ, 2009. Т. 1-2. – С. 188-191.
- 5. Бразовский В.В.,** Кашкаров Г.М., Титов Д.Н., Тубалов Н.П. Приборы для исследования сажеобразования в вихрекамере дизельного двигателя // Ползуновский вестник. Изд-во АлтГТУ, 2009. Т. 1-2. – С. 192-198.
- 6. Кулешов В.К., Бразовский В.В.,** Ивженко О.О. Экспериментальный стенд контроля параметров распыления при работе форсунки // Известия Томского политехнического университета / Издательство ТПУ, 2009. – Т. 315. – №4 – с. 24-29
- 7. Кулешов В.К., Бразовский В.В.,** Баранов В.А. Контроль параметров продуктов сгорания в фильтрационных установках // Известия Томского политехнического университета / Издательство ТПУ, 2009. – Т. 315. – №4 – с. 29-34
- 8. Баранов В.А., Бразовский В.В.** Кулешов В.К., У. Эверт Статистические теоретико-групповые методы обработки изображений // Известия Томского политехнического университета / Издательство ТПУ, 2009. – Т. 315. – №5 – с. 108-112.
- 9. Бразовский В.В.,** Медведев Г.В. Получение новых материалов из отходов методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза Металлургия машиностроения / Издательский дом «Литейное производство», 2009. – №3 – с. 45-48.

10. **Бразовский В.В.**, Медведев Г.В. Оптимальный состав шихтовых смесей для получения фильтрационных материалов Металлургия машиностроения / Издательский дом «Литейное производство», 2009. – №4 – с. 17-20.
11. Новоселов А.Л., **Бразовский В.В.**, Медведев Г.В., Печенникова Д.С. Экспериментальный комплекс для контроля эффективности процессов очистки отработавших газов дизельных двигателей в каталитических нейтрализаторах // Ползуновский вестник. Изд-во АлтГТУ, 2010. Т. 1. – С. 76-79.
12. Мельберг А.А., **Бразовский В.В.**, Медведев Г.В. Метод исследования качества очистки газов в каталитическом нейтрализаторе дизельного двигателя // Ползуновский вестник. Изд-во АлтГТУ, 2010. Т. 1. – С. 80-86.
13. Баранов В.А., **Бразовский В.В.**, Эверт У., Редмер Б. Структурно-ориентированная визуализация зон образования трещин в компонентах атомных электростанций // Естественные и технические науки / Издательство «Спутник+», 2010. – №5(49) – С. 386-391
14. **Бразовский В.В.**, Баранов В.А., Ивженко О.О., Кулешов В.К. Универсальный оптический метод контроля динамических дисперсных потоков // Естественные и технические науки / Издательство «Спутник+», 2010. – №5(49) – С. 392-400
15. Баранов В.А., **Бразовский В.В.**, Ивженко О.О., Эверт У. Структурно-ориентированный подход к обработке изображений // Естественные и технические науки / Издательство «Спутник+», 2010. – №5(49) – С. 407-413

б) монографии:

1. **Бразовский В.В.**, Бразовская О.В., Бразовский В.Е. Приборы и методы исследования параметров дисперсного состава продуктов сгорания в ДВС. // Монография. / Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2008.- 124 с. ISBN 978-5-7568-0248-1
2. Бразовский В.Е., **Бразовский В.В.** Межмолекулярное взаимодействие в поле резонансного лазерного излучения // Монография. / Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2009.- 163 с. ISBN 978-5-7568-0733-2

в) отчет по НИР

1. Исследование дисперсного состава аэрозольных частиц в динамических процессах методом компьютерной голографии для выбора фильтрующих материалов [Текст]: научно-технический отчет по НИР «Проблемы обращения с радиоактивными отходами и отработанным ядерным топливом в процессе вывода из эксплуатации объектов реакторного произ-

водства» № гр Ф40732 для служебного пользования, единственный экземпляр, 21стр. / ОАО «Сибирский химический комбинат» рук. Кулешов В.К.; исп. Бояринов О.В., Агапов Н.А., Мевеус В.В., **Бразовский В.В.**, Баранов В.А. – Северск – 2010. – 21с.

г) работы в трудах конференций и научных журналах

1. Бразовский В.В., Вагнер В.А. Лазерный метод диагностики сгорания топлива. // Горизонты образования. 2005. В.7, с.37-60.
<http://edu.secna.ru/main/review/2005/n7/brava5.pdf>
2. Бразовский В.В., Вагнер В.А., Евстигнеев В.В., Еськов А.В., Пролубников В.И., Тубалов Н.П. Голографический метод исследования дисперсного состава аэрозоля. // Горизонты образования. 2006. В. 8, с.1-9.
<http://edu.secna.ru/main/review/2006/n8/brava61/pdf>
3. Бразовский В.В., Барсуков Г.В., Вагнер В.А., Русаков В.Ю. Система сбора информации для исследования механизма сажеобразования в вихрекамере двигателя. // Горизонты образования. 2006. В. 8, с.10-15.
<http://edu.secna.ru/main/review/2006/n8/brava62/pdf>
4. Бразовский В.В., Бразовская О.В. Метод расчета прочностных параметров кристалла ab initio // Четвертая краевая конференция по математике: Материалы конференции. Барнаул: Изд-во Алт.ун-та, 2001. С. 54-55
5. Бразовский В.В., Попович В.С. Расчет модуля Юнга кристалла никеля ab initio. // Научное творчество студентов и сотрудников. 59-я Научно-техническая конференция студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава технического университета. Автотракторный факультет АлтГТУ/АлтГТУ- Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2001.- С. 59
6. Бразовский В.В., Бразовская О.В., Глушкова С.В. Метод перехода от микро к макропараметрам кристалла при моделировании. // Эволюция дефектных структур в конденсированных средах: Тезисы докладов./ АлтГТУ.- Барнаул, Изд-во АлтГТУ, 2001.- С. 162-163.
7. Бразовский В.В., Бразовская О.В. Элементарные процессы ползучести на границе кручения // Пятая краевая конференция по математике: Материалы конференции. Барнаул: Изд-во Алт. ун-та, 2002. С. 52-53.
8. Баранов М.А., Бразовский В.В., Бразовская О.В., Бумажникова К.Н. Расчет параметров потенциала Морзе // Горизонты образования. 2002. в. 4/ Юбилейная 60-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава, посвященная 60-летию АлтГТУ. Часть 10. Факультет инженерной педагогики и информатики.– Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2002. - С. 10.
9. Бразовский В.В. Дисперсный состав конденсированной фазы в продуктах сгорания в ДВС // ЭФТЖ. 2006. Т. 1. – С. 63-75.
<http://eftj.secna.ru/0501/06014r.pdf>

10. Баранов М.А., Бразовский В.В., Бразовская О.В., Бумажникова К.Н. Исследование влияния радиуса обрезания на параметры потенциала Морзе. // 61-я научно-техническая конференция студентов, аспирантов и профессорско-преподавательского состава. Часть 8. Факультет инженерной педагогики и информатики.–Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2003.–С.56-58.
11. Бразовский В.В. Разработка программного обеспечения для исследования аэрозолей методом числовой голографии. // 3-я Всероссийская научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем. Алт.гос.техн.ун-т им. И.И.Ползунова. – Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2006. – С. 45-47.
12. Baranov M.A., Brazovskiy V.V., Brazovskaja O.V., Bumazhnikova K.N. Computer simulation of electronic distributions in atoms Cu, Ni and Al and potential construction of interatomic interaction of it alloys // Fundamental problems and modern technologies of material science (FPMTMS). The 2-d Russia-Chines School-Seminar. Book of abstracts.- Altay State Technical Universirty: Barnaul, 2002.- P. 50-51.
- Баранов М.А., Бразовский В.В., Бразовская О.В., Бумажникова К.Н. Компьютерное моделирование распределения электронов в атомах Cu, Ni и Al и построение потенциалов межатомного взаимодействия в их сплавах // Фундаментальные проблемы и технологии современного материаловедения. 2-я российско-китайская школа семинар. Сборник тезисов.- АлтГТУ: Барнаул, 2002.- С. 50-51.
13. Бразовский В.В., Евстигнеев В.В. Голографическая регистрация аэрозоля в быстропотекающих процессах. // III Международная конференция студентов и молодых ученых «Перспективы развития фундаментальных наук»: сборник трудов. Россия, Томск, 16-20 мая 2006 г.- Томск, Изд-во ТПУ, 2006.- с. 6-7.
14. Бразовский В.В., Кашкаров Г.М., Тубалов Н.П. Влияние различных факторов на качество очистки отработавших газов дизелей фильтрами из СВС-материалов. // Приоритетные направления науки и техники, прорывные и критические технологии: «Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики» – (ЭЭТПЭ-2007) // Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И.Ползунова, г. Барнаул, 17-20 октября 2007 г. – Барнаул: ОАО «Алтайский Дом печати», 2007. – с. 63-64.
15. Ивженко О.О., Бразовский В.В. Голографический метод для исследования многоступенчатой очистки. // Высокотемпературный синтез новых перспективных материалов: тезисы докладов IV международной школы-семинара «СВС-2008» / Алт.гос.техн.ун-т им. И.И.Ползунова. – Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2008. – с. 31-34.

16. Бразовский В.В. Исследование процессов многоступенчатой очистки. // ЭФТЖ. 2008. Т. 3. – С. 26-34. <http://eftj.secna.ru/080304.pdf>
17. Ивженко О.О., Бразовский В.В. Исследование физических параметров двухфазного потока с применением метода цифровой голографии. // Высокотемпературный синтез новых перспективных материалов: тезисы докладов IV международной школы-семинара «СВС-2008» / Алт.гос.техн.ун-т им. И.И.Ползунова. –Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2008. – с. 35-37.
18. Ивженко О.О., Бразовский В.В. Измерения параметров форсунки дизельного двигателя. // Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики – (ЭЭТПЭ-2008) // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И.Ползунова, г. Барнаул, 1-4 октября 2008 г. – Барнаул: ОАО «Алтайский Дом печати», 2008. – с. 212-214.
19. Ивженко О.О., Бразовский В.В. Контроль твердых частиц в каталитических нейтрализаторах. // Энергетические, экологические и технологические проблемы экономики – (ЭЭТПЭ-2008) // Материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. / Алт. гос. техн. ун-т им. И.И.Ползунова, г. Барнаул, 1-4 октября 2008 г. – Барнаул: ОАО «Алтайский Дом печати», 2008. – с. 214-216.
20. Бразовский В.В., Кашкаров Г.М., Лебедева О.А., Тубалов Н.П. Изготовление фильтров из отходов машиностроения. // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей / Российская академия транспорта, Алт.гос.техн.ун-т им. И.И.Ползунова. –Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2008. – с. 63-67.
21. Бразовский В.В., Кашкаров Г.М. Измерение температуры при самораспространяющимся высокотемпературном синтезе для получения пористых материалов, применяемых при очистке отработавших газов. // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей / Российская академия транспорта, Алт.гос.техн.ун-т им. И.И.Ползунова. –Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2008. – с. 67-71.
22. Бразовский В.В., Кашкаров Г.М. Исследование 3-х ступенчатого каталитического нейтрализатора голографическим методом. // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей / Российская академия транспорта, Алт.гос.техн.ун-т им. И.И.Ползунова. – Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2008. – с. 71-82.
23. Ивженко О.О., Бразовский В.В. Исследование работы форсунки дизельного двигателя с применением метода цифровой голографии. // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей / Российская академия транспорта, Алт.гос.техн.ун-т им. И.И.Ползунова. –Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2008. – с. 82-86.

24. Медведев Г.В., Бразовский В.В., Кашкаров Г.М., Павлов С.Н. Определение размеров и извилистости пор в фильтрующих СВС – материалах. // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей / Российская академия транспорта, Алт.гос.техн.ун-т им. И.И.Ползунова. –Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2008. – с. 86-90.
25. Медведев Г.В., Бразовский В.В., Кашкаров Г.М., Новоселов А.Л., Титов Д.Н. Экспериментальный комплекс для оценки эффективности очистки отработавших газов в устройствах с пористыми проницаемыми каталитическими СВС – фильтрами. // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей / Российская академия транспорта, Алт.гос.техн.ун-т им. И.И.Ползунова. –Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2008. – с. 98-103.
26. Бяков А.К., Бразовский В.В. Метод измерения эффективной поверхности мембран. // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей / Российская академия транспорта, Алт.гос.техн.ун-т им. И.И.Ползунова. –Барнаул: изд-во АлтГТУ, 2008. – с. 104-107.
27. Бразовский В.В. Комплексный контроль параметров отработавших газов в различных сечениях каталитических нейтрализаторов // ЭФТЖ. 2009. Т. 4. – С. 12-22. <http://eftj.secna.ru/0420900047\0002.pdf>
28. Бразовский В.В. Контроль основных параметров дизельной форсунки ЭФТЖ. 2009. Т. 4. – С. 23-34. <http://eftj.secna.ru/0420900047\0003.pdf>
29. Ивженко О.О., Бразовский В.В. Прибор технической диагностики распылителей // Современная техника и технологии: сборник трудов XVI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. В 3 т. Т. 3/ Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 442 с. – с. 97-98.
30. Баранов В.А., Бразовский В.В. Структурно-ориентированные методы решения обратных некорректных задач и проблемы обработки изображений ЭФТЖ. 2010. Т. 5. – С. 30-44. <http://eftj.secna.ru/0420900047\0003.pdf>

д) решения о выдаче патента на изобретение

1. Бразовский В.В., Кашкаров Г.М., Гончаров В.Д. Способ определения дисперсного состава аэрозольных частиц в выхлопных газах. //решение о выдаче патента на изобретение от 07.06.2011, заявка№2010123980/28(034209) от 11.06.2010.
2. Бразовский В.В., Кашкаров Г.М., Ивженко О.О., Гончаров В.Д. Устройство для определения дисперсного состава капель струи распыленной жидкости. //решение о выдаче патента на изобретение от 09.06.2011, заявка№2010114952/05(021118) от 14.04.2010.