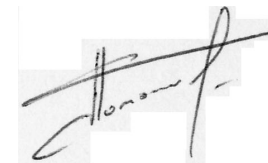


На правах рукописи



ПОТАПОВ АЛЕКСЕЙ ПЕТРОВИЧ

**МЕТОД И СРЕДСТВО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА
РАСПЫЛИТЕЛЯ ЖИДКОСТИ ПО ИЗМЕНЕНИЮ КОНТРАСТА
ИЗОБРАЖЕНИЯ ТЕСТ-ОБЪЕКТА**

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

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Барнаул – 2010

Работа выполнена в ГОУ ВПО «Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова»

Научный руководитель: доктор технических наук, доцент
Еськов Александр Васильевич

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
Букатый Владимир Иванович

кандидат технических наук, профессор
Шатохин Александр Семенович

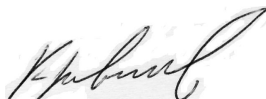
Ведущая организация: ГОУ ВПО «Томский государственный университет»

Защита состоится 29 июня 2010 г. в 9:30 на заседании диссертационного совета Д 212.004.06, действующего при Алтайском государственном техническом университете им. И. И. Ползунова, по адресу: 656038, г. Барнаул, пр. Ленина, 46. тел.факс (3852) 367640, e-mail krivobok@ab.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова.

Автореферат разослан " 27 " мая 2010г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Кривобоков Д.Е.

технической конференции молодых ученых «Молодежь - Барнаулу»: – Барнаул, 2009. – С. 254-255.

6. Крутских К.В., Потапов А.П., Пронин С.П. Исследование влияния свойств аэрозолей на контраст в изображении пирамидальной миры с помощью цифрового фотоаппарата и видеокамеры // Ползуновский альманах. – 2007. – №3. – С. 68-70.

7. Седалищев В.Н., Замятин В.И., Кривобоков Д.Е., Зрюмов Е.А., Воронов А.С., Кононова Е.С., Юденков А.В., Потапов А.П. Контрольно-измерительные приборы и интеллектуальные системы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий // Ползуновский альманах. – 2008. – №2. – С. 5-9.

8. Пронин С.П., Потапов А.П., Еськов А.В., Зрюмов Е.А. Автоматизированная система обработки информации о качестве распыливания жидкости распылителем // Ползуновский альманах. – 2008. – №2. – С. 120-122.

9. Пронин С.П., Потапов А.П., Еськов А.В., Зрюмов Е.А. Система контроля качества распыливания топлива по изображениям струй с использованием тест-объекта // Материалы XI Междунар. науч.-практ. семинара. «Совершенствование мощностных, экономических и экологических показателей ДВС»: Владимир, 2008. – С. 89-92.

10. Еськов А.В., Потапов А.П. Стенд контроля качества распыливания топлива по изображениям струй // ОМИП: Москва, 2009. – С. 332-335.

11. Еськов А.В., Потапов А.П., Зрюмов Е.А., Пронин С.П. Средство контроля качества распыливания жидкости распылителем // Компьютерная интеграция производства и ИПИ технологии: Оренбург, 2009. – С. 473-476.

12. Пронин С.П., Потапов А.П., Еськов А.В., Зрюмов Е.А., Морозова И.Г. К вопросу о дифференциальном оптическом методе контроля качества распыливания жидкости // Ползуновский альманах. – 2009. – №2. – С. 143.

5. На экспериментальном стенде «Распыл-1» получены и обработаны при помощи разработанного программного обеспечения изображения топливных струй на фоне тест-объекта. Было установлено, что полученные значения контраста можно использовать в качестве показателя контроля распылителей по параметру NO_x в отработавших газах двигателя и расходу топлива, что подтверждается экспериментально. Установлена статистическая взаимосвязь суммарного контраста топливных струй от двух групп распылителей с коэффициентом корреляции для расхода топлива 0,86 и значением NO_x в отработанных газах 0,92.

6. Проведена проверка на повторяемость полученных контрастов для последовательности изображений струй от одного распылителя расчетом критерия $R^2=0,98$, что показывает возможность применения разработанного метода для контроля топливных струй. Относительная погрешность определения контраста изображения тест-объекта для разработанного оптического метода составила 8,7 %.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ

1. Еськов А.В., Потапов, А.П. Оптический способ контроля качества распыливания топлива распылителем // Ползуновский вестник. – 2009. – №1-2. – С. 61-65 (из Перечня журналов ВАК).

2. Пат. 2347626 Российская Федерация, МПК⁷ В 05 В 12/08. Оптический способ определения качества распыливания жидкости распылителем / Евстигнеев В.В., Еськов А.В., Зрюмов Е.А., Потапов А.П., Пронин С.П.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова" (АлтГТУ). – № 2007134776/12; заявл. 18.09.2007; опубл. 27.02.2009, Бюл. №6. – 8 с. : ил.

3. Пронин С.П., Потапов А.П., Еськов А.В., Зрюмов Е.А. Стенд оптического контроля качества распыливания топлива с использованием тест-объекта // Вторая всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «ЭТПЭ-2008»: – Барнаул, 2008. – С. 243-244.

4. Зрюмов Е.А., Астахова С.Ю., Потапов А.П. Контроль качества распыливания жидкости распылителем // 9-я Международная научно-техническая конференция «Измерение, контроль, информатизация»: Тез. докл. Барнаул, июня 2008. – С. 33-35.

5. Потапов А.П. Оптическая система контроля качества распыливания жидкости с использованием тест-объекта // Материалы X городской научно-

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Стремительное развитие оптико-электронных методов и средств измерений, позволяет предприятиям заниматься разработкой, усовершенствованием и поиском методов, средств и систем контроля качества изготавливаемой продукции с улучшенными характеристиками, что направлено на решение одного из основных вопросов производства, вытекающий из конкурентной борьбы на современном рынке, является повышение качества выпускаемых изделий.

Распылители жидкости широко распространены в различных отраслях машиностроения, сельского хозяйства, медицине и т.д. Ввиду технологических особенностей изготовления элементов топливной аппаратуры (в частности распылителя), наблюдается нестабильность процесса распыливания: угол раскрытия, дальнобойность струи, дисперсный состав, концентрация, а также отклонения гидродинамических параметров распылителей от технических требований, оказывающих влияние на рабочий процесс в виде изменения расхода топлива, показаний давления в цилиндре и увеличению выброса вредных веществ в окружающую среду. В совокупности с вышесказанным, непрерывное повышение экологических требований к современным двигателям внутреннего сгорания (ДВС), вынуждает предприятия разрабатывать и внедрять более эффективные методы контроля качества выпускаемой продукции.

Теоретическое исследование процессов, происходящих в струе распыленного топлива в условиях камер сгорания, приводится в работах Б.В. Раушенбаха, Г.Н. Абрамовича и др. Процесс распыливания топлива в камере ДВС рассматривался в работах А.С. Лышевского, В.А. Кутового, Н.Ф. Разлейцева и др. авторами. Наряду с теоретическими исследованиями, в настоящее время такими учеными как А.В. Гришанов (СГАУ им. академика С.П. Королева), В.И. Черноиванов (ГНУ ГОСНИТИ) и др., а также в МГТУ им. Н.Э. Баумана, ведутся экспериментальные работы по исследованию процесса распыливания топлива, основанные на оптических методах.

Работы по исследованию и анализу быстропотекающих процессов ведутся не только российскими, но и зарубежными учеными таких стран как Англия, США, Япония и т.д., что подчеркивает актуальность проведенных исследований заключающихся в разработке и реализации новых бесконтактных, неразрушающих методов и средств.

Результаты работы используются в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы при проведении научно-исследовательских работ по теме: «Обеспечение высокоэффективных процессов смесеобразования и сгорания в дизелях, работающих на традиционных и биотопливах, с использованием сис-

темы СР повышенного давления», ГК №02.740.11.0075 и аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2009-2010 годы)» по проекту № 2.2.1.1/4799.

Цель диссертационной работы. Разработка метода и средства оптического контроля качества распылителя жидкости по изменению контраста изображения тест-объекта, позволяющих повысить объективность контроля и сортировать распылители на группы с однотипными характеристиками.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить задачи:

1. Выполнить обзор научно-технической литературы по способам распыливания жидкости распылителями и известным оптическим методам контроля дисперсных сред и потоков, в том числе с использованием тест-объекта.
2. Разработать новый оптический метод и тест-объект для контроля качества распылителя жидкости по изменению контраста изображения тест-объекта.
3. Создать средство контроля качества распылителя жидкости, основанное на разработанном методе, написать программное обеспечение, рассчитывающее значение контраста и позволяющее автоматизировать процесс контроля.
4. Произвести сортировку распылителей на группы по разработанному методу и осуществить поиск статистической взаимосвязи контраста изображения тест-объекта с характеристиками рабочего процесса ДВС.

Предмет исследования. Импульсный дисперсный поток, образующийся в результате распыливания дизельной форсункой топлива в атмосферу при нормальных условиях.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы методы цифровой обработки изображений, методы, основанные на распространении светового излучения в дисперсных средах, а также методы математической статистики и обработки экспериментальных данных.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложен новый оптический метод контроля качества распылителя жидкости по изменению контраста изображения тест-объекта в виде концентрических окружностей, на который получен патент РФ №2347626, позволяющий делить распылители на группы в соответствии со значением контраста, снизить стоимость средств реализации, повысить объективность контроля путем лучшей настройки оптической системы, а именно процесса фокусировки.
2. Установлена статистическая взаимосвязь изменения контраста в изображении тест-объекта с характеристиками рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания, полученными экспериментально, а именно показателем NO_x в составе отработавших газов и расходом топлива.

Если соотнести эти данные со значениями расхода топлива, то получается, что распылителями 5, 9, 38, 57 и 92 расходовалось в среднем на 0,13 кг/ч большее количество топлива, чем у распылителей 29, 63, 76 и 81, а, следовательно, и концентрация его в струях была больше, что, в свою очередь, привело к уменьшению контраста в изображении тест-объекта (рис. 8), это изменение составило $\sim 0,15$.

Статистическая взаимосвязь суммарного контраста топливных струй и расхода топлива выражается в значении коэффициента корреляции, равным 0,86, а для контраста топливных струй и NO_x в отработанных газах – 0,92.

Предложенный метод и средство контроля качества распылителя жидкости по изменению контраста изображения тест-объекта, может использоваться для контроля качества изготовления топливных распылителей по параметру NO_x в отработавших газах и расходу топлива двигателя в номинальном режиме работы, что подтверждается экспериментально.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработан новый оптический метод контроля качества распылителя жидкости по изменению контраста изображения тест-объекта с темными и светлыми концентрическими окружностями, позволяющий снизить стоимость средств реализации, повысить объективность контроля путем лучшей настройки оптической системы, а именно процесса фокусировки. На данный метод получен патент РФ №2347626.

2. Разработано средство оптического контроля качества распылителя жидкости, реализованное в стенде «Распыл-1», которое реализует предложенный метод, позволяющий делить распылители на группы, в соответствии со значением контраста в режиме реального времени.

3. Предложен тест-объект с темными и светлыми концентрическими окружностями и коэффициентом заполнения 0,75 с постоянной пространственной частотой. Такая конфигурация тест-объекта дает возможность анализировать все струи распылителя одновременно. Экспериментально установлено, что для распылителей типа 6A1 и дизельного топлива лучшую чувствительность дает тест-объект, с пространственной частотой $0,37 \text{ мм}^{-1}$. Коэффициент увеличения оптической системы составил 77,28.

4. Разработано программное обеспечение, которое позволяет автоматизировать процесс получения значений контрастов, на основании которых производится разделение распылителей на группы, так же программное обеспечение позволяет определять длины и углы раскрытия струй в режиме реального времени.

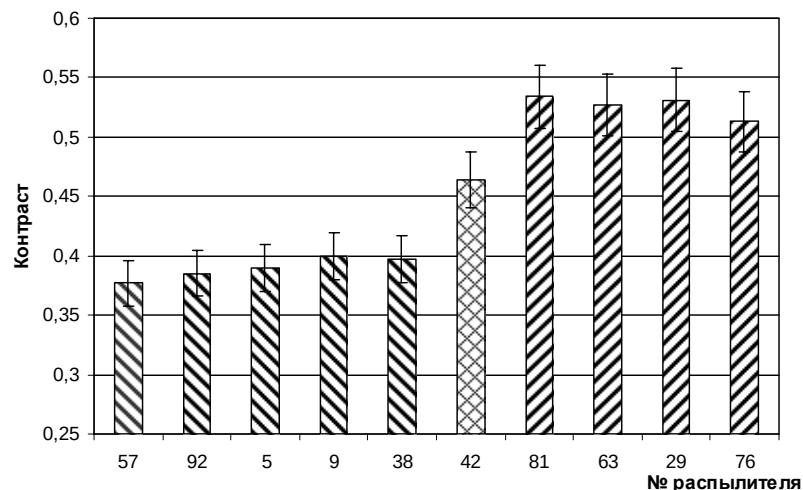


Рис. 8. Значения контрастов для 10 распылителей

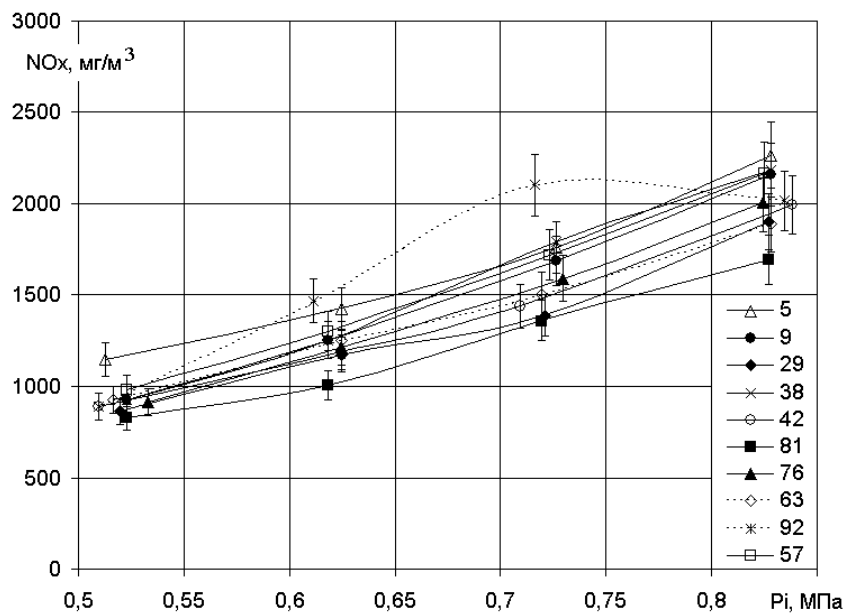


Рис. 9. Индикаторные показатели NO_x от нагрузки на двигатель для 10 распылителей 6A1

На защиту выносятся:

1. Оптический метод контроля качества распылителя жидкости, заключающийся в определении изменения контраста изображения тест-объекта с темными и светлыми концентрическими окружностями.
2. Средство контроля качества распылителя жидкости по изменению контраста изображения тест-объекта с использованием высокоскоростной цифровой съемки и обработки изображений топливных струй в режиме реального времени.
3. Наличие статистической взаимосвязи значений контраста, полученной на экспериментальном стенде, с топливной экономичностью и количеством NO_x в отработавших газах дизеля 1С 13/14.

Практическая значимость работы:

1. Метод может быть применен на стадии опытно-доводческих работ распылителей для улучшения рабочих характеристик двигателей, таких как расход топлива, количество NO_x в отработавших газах и т.д., а также в дальнейшем при их изготовлении на производстве для разбиения их на группы соответствия по значению контраста.
2. Разработано программное обеспечение, которое позволяет автоматизировать процесс получения значений контрастов, длин и углов раскрытия струй в режиме реального времени для различных распылителей жидкости.

Внедрение результатов. Разработанное средство контроля используется на ООО СКБ «Алтайский завод прецизионных изделий», а также в научно-исследовательской лаборатории кафедры «Двигатели внутреннего сгорания» АлтГТУ.

Апробация работы. Материалы диссертационной работы представлялись на научно-практической конференции «Виртуальные и интеллектуальные системы», ВИС (Барнаул, 2007-2009), на конкурсе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса», У.М.Н.И.К. (г. Барнаул, 2008), на Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей» (г. Владимир, 2008), на X Международной научно-технической конференции «Оптические методы исследования потоков», ОМИП (г. Москва, 2009), а также в докладах на Южно-Сибирском объединенном физическом семинаре АлтГТУ (2007-2008).

Личный вклад автора. Автор проводил анализ научно технической литературы по существующим методам контроля импульсных дисперсных потоков. Принимал непосредственное участие в разработке метода и средства контроля струи распылителя топлива, постановке и реализации практических экспериментов, анализе и интерпретации полученных результатов.

Публикации. Основные результаты диссертации изложены в 12 опубликованных печатных работах, в том числе 1 статья в журнале, рекомендованном ВАК России для публикаций результатов диссертаций и 1 патент РФ на способ.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, списка используемой литературы и приложений. Общий объём работы составляет 118 страниц машинописного текста, 60 рисунков, 1 таблицу. Библиография включает 147 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи исследования, перечислены результаты, определяющие научную новизну и практическую значимость, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассматриваются импульсные дисперсные потоки распыленной жидкости, процесс их образования и факторы влияющие на процесс распада струи.

Представлен обзор существующих оптических методов и средств контроля характеристик импульсных дисперсных потоков, а также методы контроля, использующие изменение контраста изображения тест-объекта, указаны их недостатки и достоинства.

Распространением светового излучения через дисперсные среды занимались Д. Релей, Дж. Ми, это направление в дальнейшем развито Г. Ван де Хюлстом, К.С. Шифриным и др. Неоценимый вклад в разработку оптических методов и технических средств измерения, контроля параметров дисперсных сред внесли Новиков, Б.С. Ринкевичюс, Ю.Н. Дубнищев, и др. Изменения контраста в прямоугольных штрихах, изучалось в научных работах О'Нейла, О.Ф. Гребенникова, Г.И. Василенко, А.М. Тараторина, С.П. Пронина и других авторов.

Рассмотрены технологические условия протекания процессов распыливания топлива, учитываемые при разработке метода и средства контроля характеристик импульсных дисперсных потоков (малая длительность процесса $6 \cdot 10^{-3}$ с со средней скоростью от 20 до 300 м/с и дисперсным составом капель топлива от 5 до 120 мкм).

Сформулированы основные направления диссертационной работы.

Во второй главе описывается прохождение светового излучения, через дисперсную среду, каковой является аэродисперсный поток распыленной жидкости, а также влияние этого потока на контраст тест-объекта в виде штриховой миры.

и показатель NO_x от нагрузки на двигатель (таблица 1, рис. 9), измерялись на лабораторной установке УК-2, которая позволяет задавать различные режимы работы двигателя и контролировать его характеристики.

Установка УК-2 представляет собой одноцилиндровый отсек одного из самых распространенных типов двигателей – дизеля серии А-01, размерностью 130/140, производства ОАО «ПО АМЗ». Выхлопная система установки оснащена газоотводящими устройствами для отбора и анализа отработавших газов на содержание токсичных компонентов. Анализ отработавших газов проводился с помощью лабораторного газоанализатора QUINTOX– 9106.

Сравнивая значения расхода топлива и NO_x в отработавших газах для выявленных двух групп распылителей можно отметить следующие. Для распылителей первой группы при максимальной нагрузке на двигатель ($P_{\text{тор}}=15$ - показания тормозного устройства) расход топлива был не менее 3,85 кг/ч, а для второй группы не более 3,80 кг/ч. Значение NO_x при среднем индикаторном давлении $P_i > 0,8$ МПа для первой группы было более 2110 мг/м^3 , а для второй группы распылителей менее 1950 мг/м^3 .

Значение погрешности при получении значений расхода топлива не превышало 0,5%, а для NO_x - 1%.

Таблица 1. Характеристики распылителей 6А1

№	$\mu, \text{мм}^2$	Г.п., с	$\theta, \%$	Расход топлива, кг/ч ($P_{\text{тор}}=15$)	$\text{NO}_{x3}, \text{мг/м}^3$ ($P_i=0,825$)	Средний суммарный контраст (С)
57	0,232	15	10,3	3,96	2163	0,377
92	0,231	48	9,25	3,88	2114	0,385
5	0,228	17	13,1	3,85	2265	0,390
9	0,231	14	7,2	3,85	2160	0,400
38	0,241	12	4,56	3,85	2180	0,397
42	0,23	9	4,61	3,83	1991	0,464
81	0,251	19	4,10	3,8	1692	0,534
63	0,247	19	4,17	3,76	1885	0,527
29	0,25	16	8,94	3,75	1901	0,531
76	0,231	18	4,37	3,71	1945	0,513

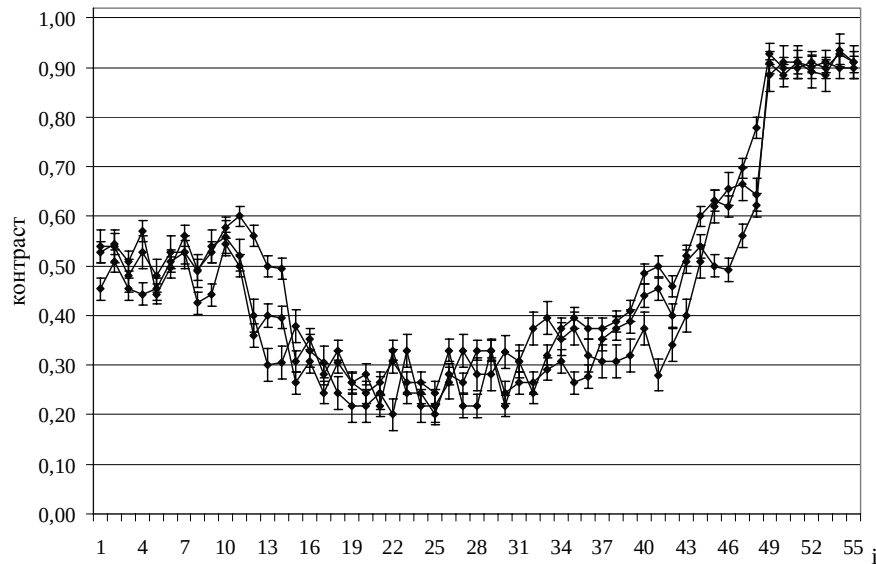


Рис. 7. Изменение контраста вдоль струи

Как видно из рис. 7, изменение контраста вдоль развития струи происходит следующим образом, начиная от распылителя ($i=1$) наблюдается уменьшение от значения контраста $\sim 0,5$ до $\sim 0,3$ в районе точек 15-41, и к вершине струи происходит его увеличение до $\sim 0,9$. Это изменение контраста связано с поглощением и рассеянием света, проходящего через дисперсную среду в виде исследуемой струи и распределением концентрации топлива в струе, подробно описанное в работах А.С. Лышевского и Н.Ф. Разлейцева, с допущением размера всех капель, равного Заутеровскому диаметру.

На экспериментальном стенде «Распыл-1» были исследованы изображения отобранных ранее 10 распылителей (таблица 1), графическое представление значений контрастов для которых представлено на рис. 8. Как видно из рис. 8, распылители разделены на две группы, по значению контраста, доверительные интервалы которых не пересекаются. Первую группу составляют распылители 5, 9, 38, 57 и 92 с средним значением контраста 0,39, а во вторую группу вошли распылители 29, 63, 76 и 81 среднее значение контраста для которых равно 0,53, распылитель 42 имеет значение контраста 0,46 и находится между установленными группами. У данных распылителей были определены значения гидроплотности, неравномерности по сопловым отверстиям θ достаточно трудоемкими гидродинамическими методами. Значение расхода топлива

В большинстве оптических методах контроля плоскость предмета находится в исследуемом потоке. Такое построение оптической системы затрудняет процесс настройки, а именно фокусировки, так как осуществить фокусировку на быстро движущемся предмете значительно труднее чем на статическом.

Можно изменить такое построение оптической системы, поместив среду между плоскостью предмета и объективом измерительной системы, а в плоскости предмета расположить тест-объект и произвести фокусировку на нем без среды, тем самым "жестко" зафиксировав и улучшив настройку оптической системы

Суммарная импульсная характеристика для такой системы имеет следующий вид:

$$h_{\Sigma} = h_1(x') * h_2(x'), \quad (1)$$

где $h_1(x')$ - импульсная характеристика среды, $h_2(x')$ - импульсная характеристика измерительной системы, x' - пространственная координата в плоскости изображения.

Примем импульсную характеристику для среды в виде гауссоиды:

$$h_1(x') = e^{-\frac{x'^2}{2\sigma^2}}, \quad (2)$$

где 2σ диаметр кружка рассеяния по уровню 0,606 и представляет собой параметр среды.

Параметр 2ρ в импульсная характеристика измерительной системы $h_2(x')$ вносит незначительные изменения. В связи с этими данными, мы пренебрегаем параметром 2ρ и считаем, что существенное влияние на значение выходного сигнала оказывает только параметр 2σ , а значит состояние среды.

Для представления функции тест-объекта необходимо сначала рассмотреть непосредственно сам тест-объект. В рассмотренных оптических методах контроля дисперсных сред в роли тест-объекта выступает набор прямоугольных штрихов рис. 1. Основными характеристиками для таких тест-объектов являются пространственная частота и коэффициент заполнения w .

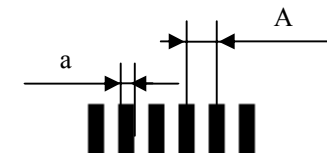


Рис. 1. Фрагмент тест-объекта

$$w = \frac{a}{A}, \quad (2)$$

где a – ширина штриха, A – расстояние между центрами штрихов.

Функцию тест-объекта в плоскости изображения можно представить в следующем виде:

$$f(x') = \left(\text{rect}(x'/a) * \sum_{i=-\infty, i \neq 0}^{i=+\infty} \delta(x'-iA/2) \right) * h_1(x'), \quad (3)$$

где $\text{rect}(x'/a)$ – функция прямоугольного импульса шириной a ; $\delta(x'-A/2)$ – дельта функция; отстоящие друг от друга на расстоянии A ; i – количество штрихов в тест-объекте; $*$ – знак операции свертки, $i \neq 0$ – т.к. в центре тест-объекта располагается носик распылителя.

С целью анализа изменения сигнала в изображении тест-объекта от параметра среды рассмотрим упрощенный тест-объект в виде двух парных штрихов:

$$f(x') = (\text{rect}(x'/a) * [\delta(x'+A/2) + \delta(x'-A/2)]) * e^{-\frac{x'^2}{2\sigma^2}}. \quad (4)$$

Из формулы (4) видно, что связь между изменяющимися в пространстве входным и выходным сигналами осуществляет импульсная характеристика среды. Получается, что на изменение функции тест-объекта оказывает значение 2σ , который характеризует среду. Если среды одинаковые, то значит одинаковые 2σ , следовательно будем получать одинаковые выходные сигналы.

Анализируя известные графики зависимости изменения минимального сигнала между двух штрихов с различными коэффициентами заполнения, приведенные в работе Пронина С.П., несложно отметить, что увеличение коэффициента заполнения приводит к возрастанию чувствительности т.е. малое изменение в исследуемой среде, например ее плотности, влечет значительное изменение выходного сигнала

Изменение параметра среды 2σ влечет изменение минимального сигнала в исследуемом изображении. Учитывая, что при изменении параметров среды, согласно закону Бугера, изменится и максимальный сигнал, за счет изменения светового потока прошедшего через среду, то целесообразно взять совокупную характеристику изменения сигналов. Такой характеристикой является контраст:

$$C_{\text{и}} = \frac{E_{\text{max}} - E_{\text{min}}}{E_{\text{max}} + E_{\text{min}}}, \quad (5)$$

где E_{max} – максимальная освещенность в изображении предмета; E_{min} – минимальная освещенность в изображении предмета.

Таким образом, используя значение контраста в изображении тест-объекта в качестве показателя контроля, возможно разделение исследуемых сред на группы с однотипными характеристиками.

Для автоматизации обработки получаемых в ходе эксперимента изображений было разработано и апробировано программное обеспечение. Основная работа с программой ведется в главном окне, внешний вид которой представлен на рис. 5. Программа позволяет автоматически рассчитывать значения: числа струй, углов раскрытия, осей развития струи и контраста по которому производится разбиение распылителей на группы.

Программа обработки изображений выделяет исследуемую область, включающую в себя изображение струй. Следующим шагом происходит обозначение границ области, в которых будет происходить вычисление контраста согласно формуле (6). Значения максимальной и минимальной освещенности с присваиваемыми им координатами (max, i, j) и (min, i, j) соответственно, вычисляются из области, состоящей из набора пикселей, определяемом шириной соответствующей темной и светлой окружности на тест-объекте в исследуемой области. Пример максимальных и минимальных освещенностей тест-объекта при обработке изображения вдоль оси струи представлен на рис. 6 в виде, аналогичном амплитудно-модулированному сигналу, где вершины соответствуют максимальным $E_{\text{max}, i, j}$, а минимумы минимальным $E_{\text{min}, i, j}$ значениям освещенности тест-объекта вдоль оси струи при фиксированном j .

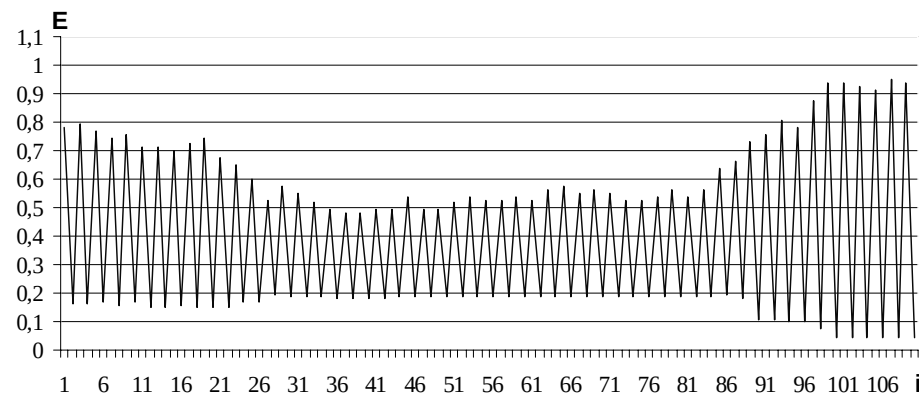


Рис. 6. Пример максимальных и минимальных освещенностей тест-объекта полученных при обработке изображения вдоль оси струи

Повторяемость результатов эксперимента в одинаковых временных условиях была проверена расчетом контрастов последовательных изображений трех струй из одного и того же сопла распылителя, приведенных на рис. 7. Утверждение о согласованности полученных результатов проверялось расчетом критерия $R^2=0,98$. Относительная погрешность определения контраста для распылителя дизельного топлива, составила 8,7 %.

дизельных двигателей различной техники, например: МАЗ, КрАЗ, БелАЗ, Урал и т.д.

Из 100 распылителей 6А1 изготовленных на АЗПИ и удовлетворяющих техническим условиям с параметром μ_f от 0,23 до 0,25 для исследований случайным образом были отобраны 10. В ходе эксперимента были получены изображения тест-объекта со струями распыленного дизельного топлива (рис. 4а). При проведении эксперимента расстояние от системы ввода изображений до тест-объекта составляло 1,68 м, время экспозиции - 39 мкс и время задержки синхроимпульса от датчика давления было равным 3,50 мс.

Чтобы капли топлива в струе не попадали на тест-объект, а свободно двигались, носик распылителя располагался на расстоянии 40 мм от его поверхности. Для избегания оседания капель топлива на тест-объект, он устанавливался перпендикулярно земле, что позволяло части капель топлива оседать, а основной массе капель удаляться вытяжной системой, не попадая на тест-объект.

На рис. 4б приведено увеличенное изображение части топливной струи на фоне тест-объекта, где темные и светлые полосы видны через аэродисперсный поток топлива, что показывает различие в максимальной и минимальной освещенности на тест-объекте и говорит о возможности применения разработанного метода.

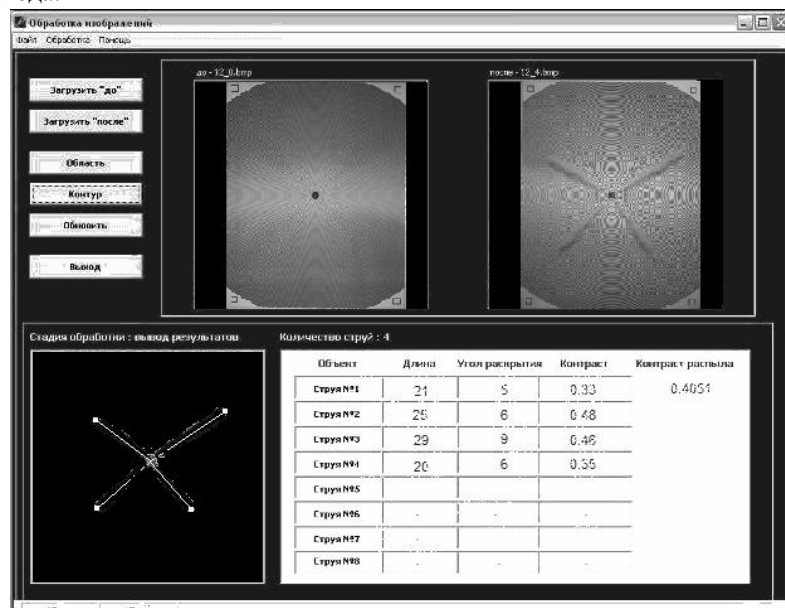


Рис. 5. Внешний вид программы для обработки полученных в ходе эксперимента изображений

В третьей главе описывается оптический метод контроля качества распылителя жидкости по изменению контраста изображения тест-объекта с темными и светлыми концентрическими окружностями и стенд оптического контроля качества распылителя жидкости «Распыл-1», представляющий собой результат усовершенствования

Суть оптического метода контроля качества распылителя жидкости по изменению контраста изображения тест-объекта заключается в сравнении значения контраста для исследуемого распылителя с контрастом для эталонного распылителя. Значение контраста в данном случае рассчитывается по следующему выражению:

$$C_{ис} = \frac{1}{n \cdot p} \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^p \frac{E_{\max ij} - E_{\min ij}}{E_{\max ij} + E_{\min ij}} \right), \quad (6)$$

где $E_{\max ij}$ - максимальная освещенность в области с координатой $(\max, i, j)$ в изображении тест-объекта для исследуемого распылителя; $E_{\min ij}$ - минимальная освещенность в области с координатой $(\min, i, j)$ в изображении тест-объекта для исследуемого распылителя; n - количество заданных сечений; p - количество областей в сечении, которые содержат $E_{\max ij}$ и $E_{\min ij}$; $C_{ис}$ - контраст в изображении для исследуемого распылителя. Здесь областью является конечное множество точек, лежащих в сечении j , ограниченное парой темной и светлой соседними окружностями, общее число которых p . В каждой области определяется $E_{\max ij}$ - максимальная и $E_{\min ij}$ - минимальная освещенности.

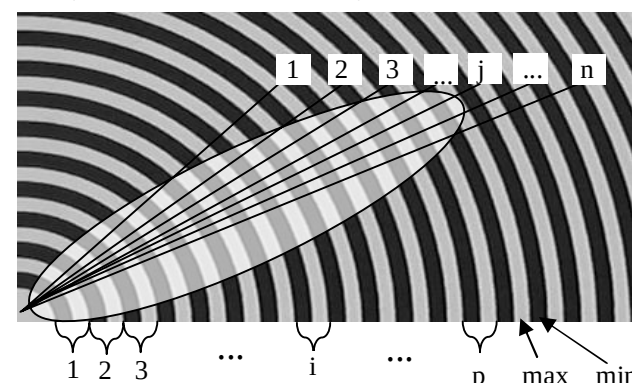


Рис. 2. Схема тест-объекта с аэродисперсным потоком жидкости

Предложенный оптический метод был реализован в экспериментальном стенде «Распыл-1» (рис. 3). Стенд контроля качества распылителя жидкости по

изменению контраста изображения тест-объекта работает следующим образом. Топливный насос 6 подает по трубопроводу на распылитель 2 топливо через датчик давления 1. Измерение давления осуществляется тензометрическим датчиком. В заданный момент времени сигнал от датчика давления поступает на устройство управления синхроимпульсом «СИНХРО-М» 7, которое управляет временем начала работы системы ввода изображений 5, VS-СТТ-285-2001 производства ЗАО «НПК ВИДЕОСКАН».

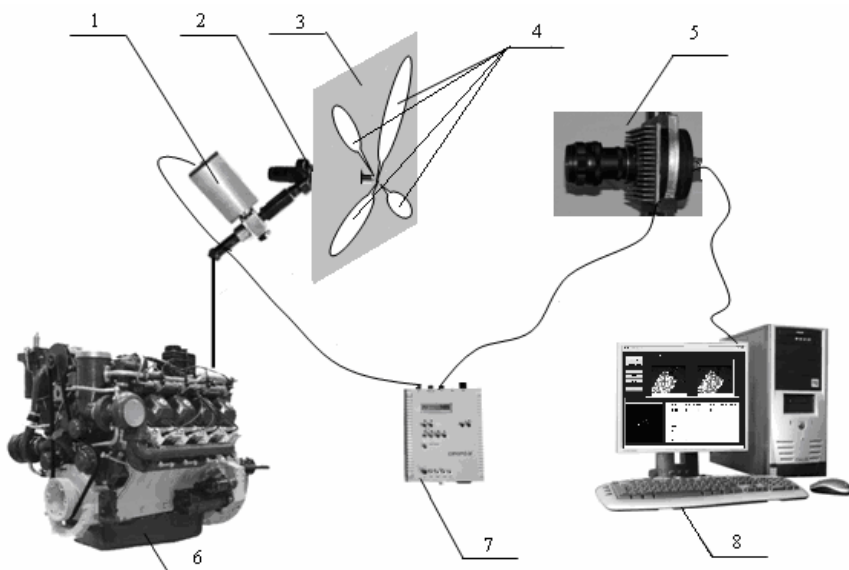


Рис. 3. Структурная схема стенда контроля качества распылителя жидкости по изменению контраста изображения тест-объекта «Распыл-1»

Объектив системы ввода изображений сфокусирован на тест-объекте 3, в роли которого выступает мира с темными и светлыми концентрическими окружностями (рис. 4). Концентрические окружности имеют коэффициент заполнения $w=0,75$.

Пространственная частота для тест-объекта, участвовавшего в работе, составляет $0,37 \text{ мм}^{-1}$. Данное значение частоты выбиралось экспериментально, из шести тест-объектов с темными и светлыми концентрическими окружностями и пространственными частотами равными 1,49; 0,75; 0,50; 0,37; 0,30 и 0,25, проведены эксперименты по определению контраста на разработанном стенде «Распыл-1» (рис. 3). Результаты экспериментов показали, что для данного типа

распылителей и дизельного топлива лучшую чувствительность дает тест-объект, с пространственной частотой равной $0,37 \text{ мм}^{-1}$.

Далее полученное изображение передается в персональный компьютер 8, где происходит его обработка при помощи разработанного программного обеспечения, которое позволяет автоматизировать процесс получения значений контрастов, длин и углов раскрытия струй в режиме реального времени.

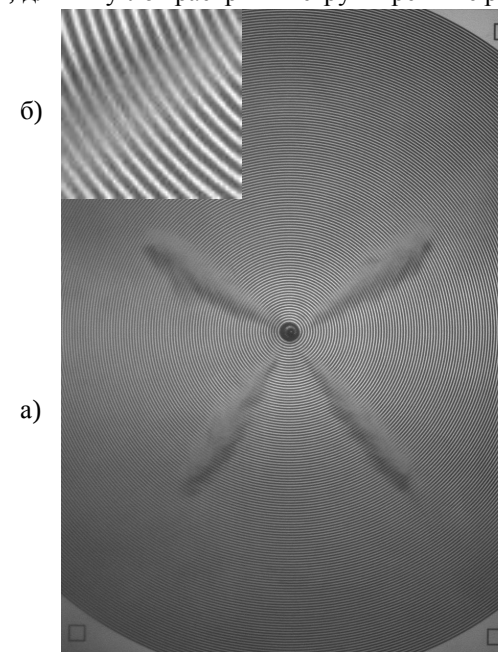


Рис. 4. Изображение тест-объекта (а) со струями распыленного дизельного топлива, (б) увеличенный фрагмент тест-объекта со струей (время экспозиции - 39 мкс, время задержки синхроимпульса 3,50 мс и коэффициент увеличения $\beta - 77,28$)

В четвертой главе описывается программное обеспечение, разработанное для обработки полученных изображений. Приводятся результаты проведенных экспериментальных исследований и делается вывод о их применимости в качестве показателей контроля топливных распылителей в предложенном оптическом методе.

Для проведения эксперимента было разработано средство оптического контроля качества распылителя жидкости реализованное в стенде «Распыл-1», описанное в третьей главе. В эксперименте проводилось исследование топливных распылителей 6А1, в виду их широкого применения в большом количестве