

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАСПЫЛИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СКОРОСТНОЙ СЪЕМКИ И ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ СТРУЙ

А.В. Еськов, А.Е. Свистула

Эффективным средством улучшения топливной экономичности и снижения токсичности отработавших газов автотракторных и транспортных дизелей является обеспечение оптимальных значений коэффициента избытка воздуха, определяемого цикловой подачей и влияющего на полноту сгорания топлива. Оптимизировать коэффициент избытка воздуха можно двумя путями: управлением подачей воздуха или цикловой подачей топлива. Наибольшей эффективностью при обеспечении высоких экологических показателей является управление топливоподачей, позволяющее обеспечить работу двигателя с приемлемым коэффициентом избытка воздуха и топливной экономичностью. Целесообразно при определенных условиях работы дизеля переводить его на указанные режимы работы путем реализации управления цикловой подачей топлива по определенному закону с помощью систем автоматического управления топливоподачей [1].

В условиях массового производства топливных и других распылителей небольшие отклонения от паспортных размеров составляющих деталей, узлов как следствие приводят к ухудшению качества распыливания. При визуальном наблюдении впрыскиваемое топливо должно быть туманообразным, без сплошных струек и легко различимых местных сгущений. Процесс распыливания-смесеобразования в камере сгорания двигателя занимает менее 6 мс и различить местные неоднородности в топливоздушном потоке без специальных приборов практически невозможно, что обуславливает создание быстродействующих систем контроля качества распыливания.

Создание метода и устройств контрольно-измерительной аппаратуры представляет научный и практический интерес, позволяющих при проведении эксперимента регистрировать с требуемым пространственно-временным разрешением в реальном масштабе времени геометрические характеристики нестационарного топливно-воздушного потока: корневые углы топливных факелов, их длину, наличие местных сгущений и струек. С развитием средств регистрации изо-

бражений на базе быстродействующих ПЗС-структур с передачей изображения в управляющую ЭВМ, позволяет разрабатывать комплексы контроля пространственно-временных параметров топливных струй из распыляющих форсунок. В ЭВМ возможно применение всего математического аппарата обработки изображений струй, включая линейную и нелинейную фильтрации на основе преобразований Фурье, Адамара и др., контрастирование изображения, выделение границ градиентными масками, выделение связанных контуров, числа градаций в изображении, например, методом Байеса и др., а так же измерение углов распыления струй, длины и оптических плотностей, образующихся в результате сгущения капель топлива вследствие работы устройства распыления.

Разработанная система контроля качества распылителей на основе скоростной съемки и обработки изображения топливных струй является приставкой к любому топливному стенду типа MOTOR PAL, MIRKEZ и ДД-1-03 и др. Топливный стенд 1 вращает вал топливного насоса 2, на котором укреплен оптический датчик вращения 3 (рис. 1). Начальный импульс вырабатывается либо тензотетрическим датчиком давления топлива в трубопроводе 4, подводящим топливо к форсунке 5, либо оптическим датчиком 3 вращения вала топливного насоса 2 по выбору оператора. От начального импульса начинается отсчет времени до запуска фото-камеры 6 и управления вспышкой света 7 в блоке синхронизации 8. Блок синхронизации призван обеспечивать выработку синхроимпульса старта съемки кадра развития топливных потоков от распылителя. По окончании процесса съемки изображения информация передается в управляющую ЭВМ 9 [1].

В управляющей ЭВМ 9 по специально разработанной программе определяются характеристики распыления топлива распылителем, по которым будут сортироваться распылители на классы соответствия эксплуатационным параметрам.

В результате проведенных исследований, на экспериментальном стенде был получен снимок распыления топлива (рис. 2).

Снимок сделан с использованием высокоскоростной системы регистрации и ввода изображения в ЭВМ фирмы «Видеоскан» VS-SST-285 [2]. Время экспозиции 39 мкс, время задержки синхроимпульса от датчика давления – 300 мкс, вспышка сработала одновременно с началом накопления.

Время задержки синхроимпульса можно выбрать исходя из времени задержки воспламенения. Подобные фотоснимки в дальнейшем планируется обрабатывать с целью сравнения распылителей между собой.

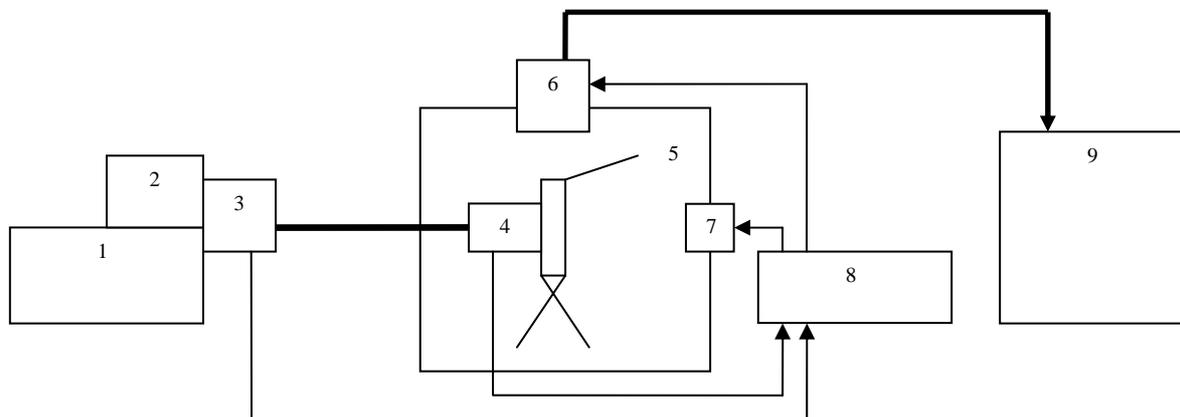


Рис. 1. Схема работы система контроля качества распылителей на основе скоростной съемки и обработки изображения топливных струй



Рис. 2. Экспериментальный кадр процесса распыления топлива, выполненный со временем экспозиции 39 мкс, время задержки синхроимпульса от датчика давления – 300 мкс

Блок синхронизации в процессе работы анализирует состояние входных сигналов, и при возникновении на каком либо из входов значимого события, на выходных сигналах формируются выходные импульсы, задержанные относительно момента детектирования выше указанного значимого события, выдающиеся на группу выходных разъемов. В конструкции блока (рис. 3) предусмотрено подключение оптического модуля регистрации появления светового излучения на срезе ствола детонационной установки, служащего сигналом значимого события на одном из входов, либо тензометрического модуля регистрации изменения давления в топливном трубопроводе, подводящим жидкое топливо к

распыляющей форсунке. Оптический модуль так же может применяться в качестве датчика частоты вращения коленчатого вала двигателя, либо вала топливного насоса. На лицевой панели блока имеются выходные контакты для подключения входов устройства сбора данных типа ЛА-1.5 производства ЗАО «Руднев-Шиляев» и ввода в ЭВМ сигналов от подключаемых модулей.



Рис. 3. Внешний вид блока управления синхронизацией с датчиком давления

В блоке управления синхронизацией оператором устанавливаются времена задержки синхроимпульсов камеры T_k , вспышки стробоскопа T_v , и T_z – времени задержки для

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАСПЫЛИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СКОРОСТНОЙ СЪЕМКИ И ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ СТРУЙ

зарядки конденсаторов стробоскопа. Импульс вспышки стробоскопа T_v может вырабатываться ранее синхроимпульса камеры T_k . Задание задержки сохраняется при отключении питания.

Разработанный блок управления синхронизацией работает на базе программируемого микроконтроллера ATmega 8535-16J1. Работа основного цикла с набором всех необходимых процедур и инициализации параметров происходит в ядре программы. Настройка работы программы пользователем с помощью девяти клавиш и отображение параметров установки на LCD – дисплее осуществляется в диалоговой процедуре. В следующей процедуре находится подпрограмма обработки прерываний по перепаду входного сигнала и работы счетчиков задержки и определения частоты входных синхроимпульсов. Здесь же проверяется корректность установки входных параметров пользователем. Последняя процедура поясняет работу обработчика системных прерываний по приходу внешнего синхроимпульса на установленный вход.

На рис. 4 приводится структурная схема блока синхронизации. Входной сигнал ТТЛ-уровня подается на вход IN1 и предназначен для использования устройства в составе комплексов контроля пространственных параметров быстропротекающих процессов, у которых предусмотрен выходной синхроимпульс. Вход сигналов от тензометрического IN2 и оптического IN3 модулей выполнены на разъеме типа DSUB-9. Сигналы от этих модулей обрабатываются в блоках тензодатчика и оптодатчика соответственно. Далее в компараторах уровень сигналов от модулей сравнивается с уровнем сигнала, задаваемым пользователем с помощью микроконтроллера CPU. От момента времени превышения сигнала от любого из модулей относительно сигнала, установленного пользователем, начинается отсчет времени задержки синхроимпульса камеры T_k . Предусмотрена возможность выдачи сигналов с оптического и тензометрического модулей, а так же опорного сигнала с компараторов на внешний разъем. В блоке осуществляется измерение и индикация частоты входных синхроимпульсов. Времена задержки синхроимпульсов камеры T_k , вспышки стробоскопа T_v , задержки для зарядки конденсаторов стробоскопа T_z , частота входных синхроимпульсов в Гц или в мин^{-1} отображается на экране LCD дисплея.

Изменение временной задержки синхроимпульсов камеры T_k – до 500 мс, дискрет-

ность изменения временной задержки T_k – 10 мкс; изменение задержки для зарядки конденсаторов стробоскопа T_z до 5 с с дискретностью 10 мс. Время задержки вспышки стробоскопа T_v изменяется в диапазоне от 0 до T_k дискретно по 10 мкс. Опорное напряжение на компараторах отображается на LCD и задается клавишами в диапазоне 0–5 В для оптического и тензометрического модулей с шагом 0,05 В. Тензометрический модуль состоит из тензорезистора и опорного резистора номиналами по 100 Ом. Выходной сигнал OUT1 устройства управления синхронизацией подается на выходной разъем, соответствующий ТТЛ-уровню с длительностью не менее 100 мкс. К выходному разъему OUT2 типа SR подключается лампа стробоскопа. Предусмотрена ручная подача синхроимпульса пользователем. Нажатие каждой клавиши индицируется подсветкой соответствующего светодиода. Устройство выполнено в корпусе габаритами 180*155*45 мм, имеет разъем для подключения питания (17) 220 В 50 Гц и предохранитель (18).

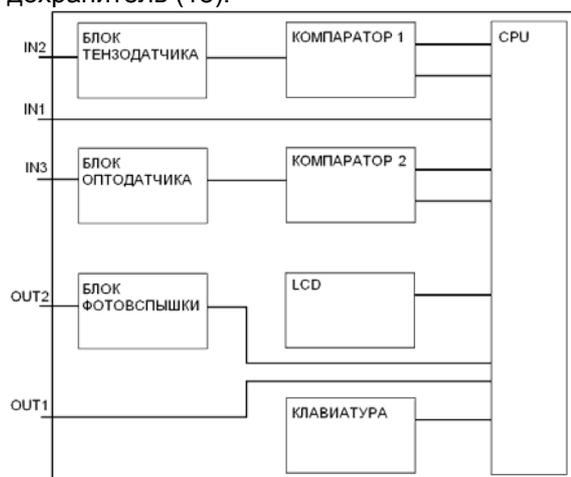


Рис. 4. Структурная схема блока синхронизации

На ЭВМ по специально разработанной программе происходит обработка изображения топливной струи. Программа выделяет на изображении из нескольких топливных струй одну отдельно взятую и производит ее обработку. На рис. 2 белой линией отмечена граница соседних топливных струй на изображении. По одному из вариантов работы программы, выделенная топливная струя обрабатывается отдельно от всего изображения, по второму варианту все струи обрабатываются одновременно. На рис. 5 приводится изображение, обработанное по первому варианту.

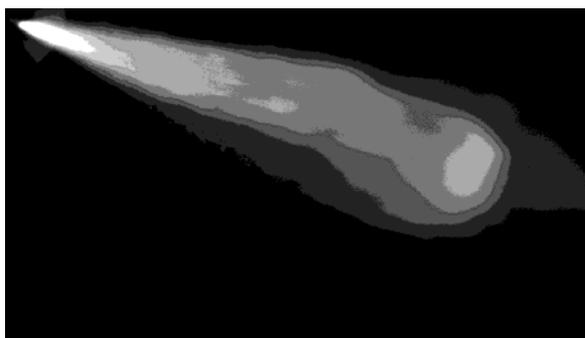


Рис. 5. Яркостные зоны, выделенные программой ЭВМ на изображении топливной струи

Изначально в ЭВМ поступает изображение топливной струи, в формате 8 разрядного сигнала, и после яркостной нормировки происходит дальнейшая обработка (рис. 4). Отраженный от топливной струи свет засвечивает ячейки ПЗС матрицы фотокамеры, определяя яркость каждого пиксела. Чем плотнее топливный поток, тем выше яркость засветки.



Рис. 6. Гистограмма яркостей начального изображения топливной струи, приведенного на рис. 2

На этом принципе построено определение яркостных зон, связанных с зонами повышенной концентрации топлива в струе. В зонах с пониженной концентрацией топлива больше окислителя и при горении топливо больше обеспечено окислителем, чем в зонах с высокой концентрацией.

На рис. 5 приводится пример изображения с выделением яркостных зон. Гистограмма яркостей приводится на рис. 7. В приведенном примере выделено 7 порогов яркости с шагом 40 градаций. При определении яркостных зон на изображении возможно применение и других методик, например, метода Байеса, энтропийного метода [3].

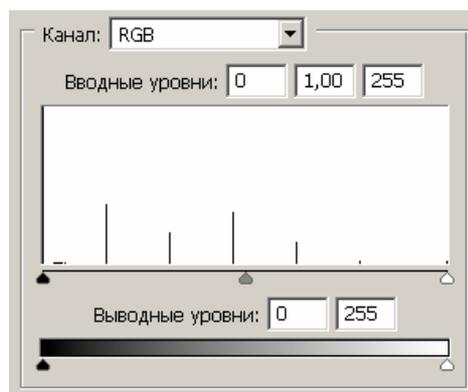


Рис. 7. Гистограмма яркостей обработанного изображения топливной струи, приведенного на рис. 5

Несколько зон на изображении может иметь одинаковую яркость, сумма их площадей составит общую площадь с одинаковой концентрацией. На рис. 8 приводится гистограмма площадей яркостных зон струи, площадь которых выражена в процентах от общей площади струи. Зоны с высокой концентрацией топлива (200 и 255 единиц) имеют по 2 % от общей площади, а зоны с низкой и средней концентрацией (40, 80 и 120 единиц) занимают 85 %. Из изображения топливной струи на рис. 5 видно, что максимальная концентрация топлива наблюдается у распылителя, в начальной зоне струи и во фронте, но во фронте концентрация меньше.

Сопоставляя гистограммы топливных струй от различных распылителей, возможно разбивать их на группы соответствия качеству изготовления, применяя критерий соотношения площадей яркостных зон, выражающийся в процентном соотношении каждой яркости для различных распылителей, определяемый экспериментально из моторных испытаний на стендах.

В настоящее время разработано несколько методов решения многокритериальных задач оптимизации, классифицирующиеся по особенностям задания критериев оптимальности и определения степени их значимости. К наиболее распространенным методам относятся: оптимизация иерархической последовательности частных критериев, решение на основе поиска компромисса, определение множества неуплываемых точек [1]. К первому из перечисленных относится метод свертки, где обобщенный критерий оптимальности J_0 формулируется в виде

$$J_0 = \sum_{i=1}^k a_i J_i,$$

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАСПЫЛИТЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ СКОРОСТНОЙ СЪЕМКИ И ОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ СТРУЙ

где J_i – частные критерии оптимальности,
 a_i – весовые коэффициенты.

Применительно к задаче соотношения площадей ярких зон изображения топливной струи, положим J_i равным площадям ярких зон на изображении. Выбор весовых коэффициентов a_i в данном случае предлагается определять в виде отношений действительных площадей для данного режима работы дизеля и данного распылителя к площадям ярких зон эталонного распылителя, предварительно прошедшего испытания на моторном стенде. Для эталонного распылителя при моторных испытаниях фиксируется расход топлива и эмиссия токсичных компонентов в отработавших газах NO_x ,

CO , CH_x . Площади ярких зон определяют коэффициент избытка воздуха для малых объемов топлива внутри топливной струи и позволяют контролировать процесс смесеобразования, прогнозируя уровень токсичных компонентов, что должно коррелировать с измерениями на моторном стенде для эталонного распылителя.

Разработанная система контроля качества распылителей на основе скоростной съемки и обработки изображения топливных струй позволит делить распылители по группам однотипных параметров, таких как расход топлива и эмиссия токсичных компонентов в отработавших газах.

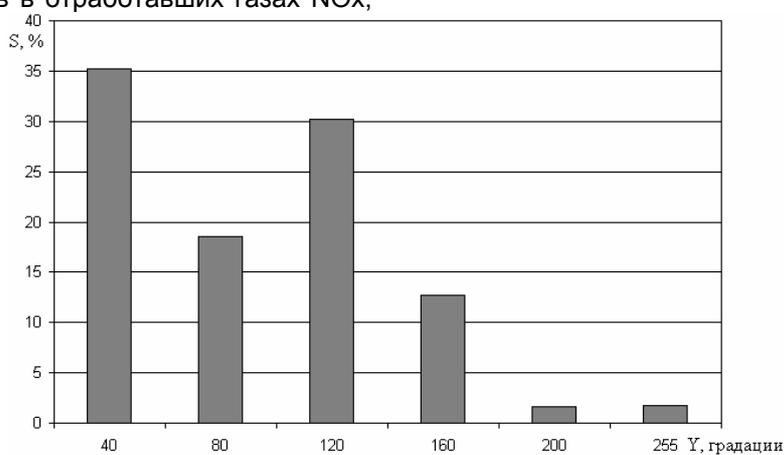


Рис. 6. Гистограмма площадей ярких зон струи

Практическое применение методики контроля в дальнейшем позволит формировать распылители одной и той же группы однотипных параметров комплектом к каждому двигателю, что приведет к более равномерной работе цилиндров.

Экономическое применение даст возможность осуществлять различную ценовую политику распылителей предприятию-изготовителю, а потребитель будет уверен в качестве приобретенных распылителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. – М.:

Изд-во МГТУ, 2002. – 376 с.

2. Евстигнеев В.В., Еськов А.В., Клочков А.В. Скоростная регистрация изображения процесса распыления жидкости // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-11-2005) : доклады 11-й межд. научно-практ. конф. Барнаул 26-28 сент. 2005г./Отв. ред. В.Н. Масленников. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2005.-С. 123-126.

3. Eskov A., Svistula A., Dolmatov A. Parameters of fuel jet extraction in video // Transport. Research Journal of Vilnius Gediminas Technical University and Lithuanian Academy of Sciences. – 2006. — Vol. XX. – №2. – P. 62-65.