лентности, а затем и первичного распада струи в сопловом канале дизельной форсунки.

Литература:

- 1. Трусов В.И., Дмитриенко В.П., Масляный Г.Д. Форсунки автотракторных дизелей. М.: Машиностроение, 1977. 167с.
- 2. Копьев В. Ф., Чернышев С. А., Колебания вихревого кольца, возникновение в нем турбулентности и генерация звука, Усп. Физ. наук, 2000 (170), 7, 713-742
- 3. Русаков Ю.С. Вихревое кольцо как прообраз свободных турбулентных течений и когерентных структур// Труды международной конференции "Трансформация волн, когерентные структуры и турбулентность", 23 25 ноября, 2004 г. М.: Институт космических исследований РАН (<u>http://sodar.obninsk.org</u>; <u>http://www.iki.rssi.ru/mss04/con2.htm</u>)
- 4. Белоцерковский С.М., Гиневский А.С. Моделирование турбулентных струй и следов на основе метода дискретных вихрей. М.: Физматгиз, 1995. 368 с.
- Семидетнов Н.В., Скоморовский С.А. Применение лазерного доплеровского измерителя скорости для исследования процесса смесеобразования в дизелях// Материалы краткосрочного семинара «Применение лазеров в промышленности в свете решений XXVII съезда КПСС», 11-12 декабря 1987 г. Л.: Ротапринт ЛДНТП, 1987. с.39-44.
- 6. Астахов А.Н., Гаврилов В.В., Красильников В.В., Салин М.Ю. Исследование процесса распыливания тяжелого топлива насос-форсункой форсированного среднеоборотного дизеля. //Тр. ЛКИ. 1987, с. 116-126.
- 7. Турбулентность: принципы и применение// Под ред. У. Фроста, Т. Моулдена. Пер. с англ. М.: Мир, 1980.-526 с.
- 8. Гольдштик М.А. Вихревые потоки. Новосибирск: Наука, 1981. 336с.

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА РАСПЫЛИТЕЛЕЙ ПО ИЗОБРАЖЕНИЮ ТОПЛИВНЫХ СТРУЙ

Еськов А.В., Матиевский Д.Д. (АлтГТУ им. И.И. Ползунова); Дробышев О.В. (ООО «СКБ АЗПИ»)

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. Наибольшей эффективностью при обеспечении высоких экологических показателей является управление топливоподачей, позволяющее обеспечить работу двигателя с приемлемым коэффициентом избытка воздуха и топливной экономичностью [1]. Однако, как показывает практика, качество топливных распылителей с распыляющими отверстиями, изготовленными электроискровым способом, оказывает значительное влияние на процесс смесеобразования.

Развитие средств регистрации изображений на базе быстродействующих цифровых ССD камер 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 для выявления оптических неоднородностей, включая линейную и нелинейную фильтрации на основе преобразований Фурье, Адамара и др., контрастирование изображения, выделение границ градиентными масками, выделение контуров, числа градаций в изображении, например, методом Байеса и др. Измерение углов распыления, длины струй возможно производить в масштабе реального времени и сравнительно не больших материальных затратах [2].

Разработанный в АлтГТУ стенд контроля качества распылителей на основе скоростной съемки и обработки изображения топливных струй является приставкой к любому стенду настройки топливной аппаратуры, например MOTOR PAL,



Рис. 1. Функциональная схема стенда контроля качества распылителей на основе скоростной съемки и обработки изображения топливных струй.

МІККЕZ и ДД-1-03 и др. Топливный стенд 1 вращает вал ТНВД 2, на котором укреплен оптический датчик вращения 3 (рис. 1). Синхроимпульс вырабатывается либо тензометрическим датчиком давления топлива 4 в трубопроводе 5, подводящим топливо к форсунке 6, либо оптическим датчиком 3 вращения вала топливного насоса 2 по выбору оператора. От синхроимпульса начинается отсчет времени до запуска фотокамеры 7 и управления вспышкой света 8 в блоке синхронизации 9 СИНХРО-М [3].

Блок синхронизации вырабатывает синхроимпульс съемки развития топливных струй от распылителя 6. По

окончании процесса съемки изображения информация передается в управляющую ЭВМ 10. В ЭВМ по специально разработанной программе Jet Analyzer определяются характеристики распыления топлива распылителем, по которым будут сортироваться распылители на классы соответствия эксплуатационным параметрам. Камера стенда контроля качества распылителей на основе скоростной съемки и обработки изображения топливных струй, изображена на рис. 2.



Рис. 2. Внешний вид стенда контроля качества распылителей на основе скоростной съемки и обработки изображения топливных струй.

Устройство управления синхроимпульсом 9 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 предусмотрено подключение оптического модуля регистрации светового излучения, модулируемого вращением вала ТНВД, служащего сигналом значимого события на одном из входов, либо тензометрического модуля регистрации изменения

давления в трубопроводе. На лицевой панели блока имеются выходные контакты для подключения входов устройства сбора данных типа ЛА-1,5 PCI, производства ООО «Центр АЦП», г Москва, и ввода в ЭВМ сигналов от подключаемых модулей.

В блоке управления синхронизацией оператором устанавливаются времена задержки синхроимпульсов камеры T_k , вспышки стробоскопа T_v , и T_z – времени задержки для зарядки конденсаторов стробоскопа. Импульс вспышки стробоскопа T_v может вырабатываться ранее синхроимпульса камеры T_k . Разработанный блок управления синхронизацией СИНХРО-М работает на базе программируемого микроконтроллера ATmega 8535-16JI.

В результате проведенных исследований, на экспериментальном стенде были получены изображения струй распыления топлива форсункой 6A1 производства ООО АЗПИ, г. Барнаул. Снимок сделан с использованием высокоскоростной системы регистрации и ввода изображения в ЭВМ VS-CTT-285, производства ЗАО НПК «Видеоскан», г. Москва. На ЭВМ по разработанной программе Jet Analyzer, проводилась обработка изображения топливной струи, интерфейс которой приведен на рис. 3 с примером расчета корневых углов и углов между струями.



Рис. 3. Интерфейс программы обработки изображений топливных струй Jet Analyzer с примером расчета корневых углов и углов между струями для распылителя 6А1.



Рис. 4. Гистограммы площадей яркостных зон струи для среднего значения каждой зоны 4 струй.

Экспериментальный кадр процесса распыления топлива выполнен при времени экспозиции 35,5 мкс, время задержки синхроимпульса от датчика давления– 0,3 мс.

Каждая из 4 струй вытекает из своего отверстия в распылителе, канал которого в процессе производства на ООО АЗПИ прожигается электроискровым методом, что приводит к искажению и искривлению формы канала от правильной геометрической, соответствующей конструкторской документации.

Различие в площадях яркостных зон топливных струй объясняется точностью изготовления деталей и узлов распылителя, что подтверждает возможность применения разработанного метода контроля площадей яркостных зон, соответствующих распределениям концентрации топлива в струе, как метода качества контроля изготовления распылителей.

На рис. 4 изображена гистограмма для суммы значений каждой зоны всех 4 струй. Значения яркостей физически можно интерпретировать как распределение по яркостям для одной «эффективной» струи, соответствующей количеству топлива, впрыснутого в КС двигателя. Площади яркостных зон для «эффективной» струи рассчитываются как сумма площадей яркостных зон 4 струй.

Исходя из конфигурации камеры сгорания двигателя A-01, которая представляет собой вырезанный в поршне тор, определяя общую площадь всех струй как S₀, получаем безразмерный параметр заполняемости распыленным топливом пространства камеры сгорания

$$Z = \frac{S_0}{S},\tag{1}$$

где _s –площадь камеры сгорания. Чем ближе к единице значение параметра Z, тем большую площадь охватывают струи в камере сгорания. Однако слишком большие значения приводят к недостатку окислителя и не полному догоранию топлива.

Проведя расчет параметров углов и площадей яркостных зон, сопоставляя с характеристиками гидроплотности (г.п.), длиной иглы, неравномерности по сопловым отверстиям θ , измеренным гидродинамическими методами на ОАО АЗПИ, были отобраны 10 распылителей (табл. 1), соответствующих техническим требованиям.

По выражению (1) были рассчитаны параметры заполняемости распыленным топливом пространства камеры сгорания z_i по i – номеру яркостной зоны (рис. 5). Минимальное значение номера яркостной зоны соответствует внешней области топливной струи, а максимальное значение – области с высокой концентрацией топлива (центральной части у носика распылителя). В разработанном подходе рассматривается «эффективная» топливная струя, представляющая собой некоторую сумму из четырех струй, распыляемых в камеру экспериментального комплекса. Сумма концентраций по зонам, J₀ рассчитывалась по методике, опубликованной в работе [4]. Р_{тор} – показания нагрузочного устройства, в качестве которого используется балансирный электротормоз постоянного тока типа M2821-4 производства ЧССР, позволяющий производить запуск двигателя, прокрутку, с целью определения механических потерь и торможение с поглощением вырабатываемой двигателем энергии.

							Расход топлива,	
	uf	Гп			OTHORNE	I.	КІ	/ч
	μι,	1 .11.,			Относит.	J 0	$P_{\text{ron}}=9$	$P_{\text{TOP}}=15$
N⁰	MM^2	сек	$\theta, \%$	Z	угол		I Top	1 100 10
5	0,228	17	13,1	0,31	0,72	0,169	2,52	3,85
9	0,231	14	7,2	0,28	0,53	0,192	2,49	3,85
29	0,25	16	8,94	0,27	0,64	0,191	2,48	3,75
38	0,241	12	4,56	0,29	0,58	0,163	2,5	3,85
42	0,23	9	4,61	0,31	0,67	0,181	2,52	3,83
57	0,232	15	10,3	0,26	0,51	0,141	2,49	3,96
63	0,247	19	4,17	0,31	0,59	0,167	2,51	3,76
76	0,231	18	4,37	0,24	0,5	0,189	2,47	3,71
81	0,251	19	4,10	0,28	0,57	0,189	2,52	3,8
92	0,231	48	9,25	0,24	0,5	0,156	2,49	3,88

Табл. 1. Характеристики распылителей 6А1.

На кафедре ДВС АлтГТУ на одноцилиндровой установке УК-2 проводились испытания отобранных распылителей по количеству СО в отработавших газах. При проведении экспериментов по регистрации изображений топливных струй количество топлива на один цикл калибровано по эталонной форсунке, постоянно для всех распылителей и составляет 63,3 см³ за 600 циклов (0,089 г/цикл).

Количество оборотов коленчатого вала двигателя установки УК-2 составляло 1700 мин⁻¹. Используя общеизвестные формулы рассчитывались индикаторные характеристики (рис. 6). При максимальных нагрузках на двигатель при среднем индикаторном давлении P_i >0,8 МПа, распылители № 5, 42, 38, 63, 9 показывают количество СО в отработавших газах менее 800 мг/м³, в то время как у остальных распылителей этот показатель более 800 мг/м³, а у распылителей № 57 и № 92 свыше 1500 мг/м³.

Площади яркостной зоны № 3 на рис. 5, соответствующие концентрации топлива в области между центром и границами струй, перераспределены таким образом, что для распылителей № 5, 42, 38, 63, 9, 57, 92 значения относительной площади более 0,16, но у распылителей 57 и 92 минимальное значение площади для пятой яркостной зоны, менее 0,05 единиц, что объясняется малым µf=0,231 (табл. 1), большей дальнобойностью и попаданием топлива на стенки камеры сгорания.

Струи, генерируемые последними распылителями имеют не высокую яркость для 5 зоны, что объясняется разреженностью сердцевины струи и большей предрасположенностью к полному сгоранию, однако попадание топлива на стенки камеры сгорания приводит к росту показателя СО.

Таким образом, значения площадей для яркостной зоны № 3 с поправкой на зону № 5, может использоваться в качестве показателей контроля распылителей по



Рис. 5. Распределение площадей яркостных зон для 10 распылителей 6А1.



нагрузки на двигатель для 10 распылителей 6A1.

параметру СО в отработавших газах двигателя, что подтверждается экспериментом (рис. 6).

В табл. 2 приведены коэффициенты корреляции параметров, рассчитанных по формуле (1), по результатам обработки изображений топливных струй и расходом топлива для распылителей 6А1 ЗАО Алтайский завод прецизионных изделий, прошедших испытания на одноцилиндровом стенде УК-2 на кафедре Двигателей сгорания внутреннего АлтГТУ. Испытания проводились по 10 распылителям, предварительно прошедших проверку на соответствие техническим требованиям на ОАО АЗПИ. Продолжительность подъема иглы регистрировалась на установке УК-2 с помощью индукционного датчика и обработкой сигнала комплексом H-2000 в комплекте с усилителями LE-41.

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.

Табл. 2. Корреляционные взаимосвязи параметров изображения	
с расхолом топлива.	

	расход топлива
сумма концентраций по зонам, Ј ₀	0,73 (Р _{тор} =15)
отношение площадей струй и цилиндра, Z	0,76 (P _{тор} =9)
продолжительность подъема иглы	0,82 (P _{тор} =9)

Литература:

- 1. Лиханов В.А., Сайкин А.М. Снижение токсичности автотракторных дизелей. – М.: Агропромиздат, 1991. - 208 с., ил.
- 2. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. М.: Мир, 1981. 84 с.
- 3. Еськов А.В., Добряк А.Б. Многофункциональное устройство управления регистрацией изображений быстропротекающих процессов // Приборы и техника эксперимента, 2007. - №3. - С. 160-161.
- 4. Еськов А.В., Свистула А.Е. Система контроля качества распылителей на основе скоростной съемки и обработки изображений топливных струй // Ползуновский вестник, 2006. № 4. С. 73-77.

РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИ РАЗГРУЖЕННОГО КЛАПАНА ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Грехов Л.В., Борисенко Н.Е., Меднов А.А. (МГТУ им. Н.Э. Баумана) Фурман В.В. (ООО "ППП Дизельавтоматика")

Подобные клапаны становятся основными управляющими элементами в топливоподающей аппаратуре (ТПА) с клапанным управлением (в насосфорсунках, распределительных, индивидуальных ТНВД), а также в части аккумуляторных систем (например, Delphy) [1].

Как показала практика, для проектирования таких клапанов и в целом ТПА, оказываются необходимыми новые знания и опыт. Ниже рассмотрен один из частных актуальных вопросов – математическая модель гидродинамики такого клапана (рис.1), являющаяся частью уравнений граничных условий в гидродинамическом расчете процесса подачи [1].



Рис. 1. Схема и конструкция разгруженного клапана ООО "ППП Дизельавтоматика"

Уравнение движения нормально закрытого или открытого клапана: