

УДК 621.43:068.7

*И. П. Васильев, канд. техн. наук, А. Хайлиг, инж., М. Кайзер, инж.,
Ф. Динкелякер, д-р техн. наук*

ВЛИЯНИЕ СВОЙСТВ БИОТОПЛИВ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВПРЫСКИВАНИЯ В КАМЕРУ С ПОСТОЯННЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Постановка проблемы

Одной из предполагаемых причин глобального повышения температуры на планете является увеличение выбросов парниковых газов из-за сгорания не возобновляемых источников энергии (нефти, угля, газа). Альтернативой этим топливам являются возобновляемые источники энергии. Сейчас это топлива первого поколения из биомассы: биодизельное топливо (БТ), растительные масла, биогаз. За ними последуют топлива второго поколения – синтетические топлива.

При испытаниях биотоплив в дизелях [1] было отмечено, что биотоплива из-за более высокой плотности, вязкости и поверхностного натяжения по сравнению с дизельным топливом (ДТ) имеют большую дальность, меньший угол раскрытия струи, что должно ухудшить смесеобразование и снизить показатели двигателя. Но наблюдается обратная картина: КПД двигателя улучшается и значительно снижается дымность отработавших газов (ОГ) при росте выбросов NO_x [2]. Предполагается, что это происходит благодаря увеличенному содержанию кислорода в БТ, что требует дока-

зательств.

Возникает необходимость объяснения получаемых результатов путем изучения характеристик впрыскивания этих топлив в камеру с постоянным давлением. В перспективе это позволит разработать требования к характеристикам синтетических возобновляемых топлив.

Перспективы производства возобновляемых синтетических топлив

Использование возобновляемых топлив обосновывается необходимостью снижения выбросов парниковых газов, к которым относится CO_2 .

Биотоплива, сырьем для которых может быть любая биомасса, решают эту проблему. Из биомассы производят CO и H_2 и при дальнейшем их синтезе по реакции Фишера-Тропша получают синтетические топлива. При этом промежуточным продуктом является метанол.

Вначале биотоплива могут внедриться в энергетический комплекс, а в дальнейшем, по мере истощения ископаемых энергоносителей, и заменить их (рис. 1).

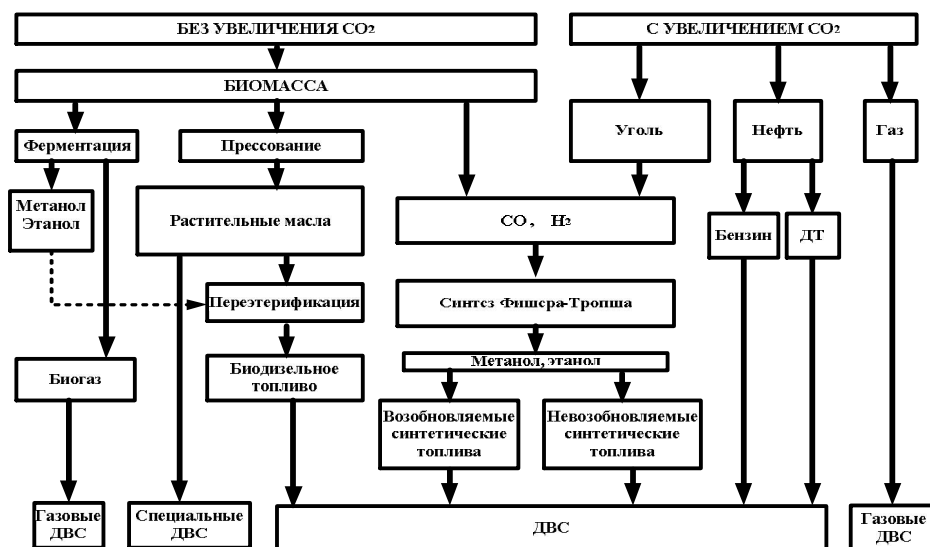


Рис. 1. Прогноз получения топлив до 2030 года

По мере совершенствования технологии возникнет вопрос о получении топлив с заданными

свойствами, отвечающими все более жестким экологическим требованиям. Имитировать получение

таких топлив возможно смешиванием различных компонентов биотоплив [3]. В частности, такими компонентами этих топлив могут быть спирты [4]. При этом открываются возможности по необходимому варьированию характеристик новых биотоплив, например, по мутагенному и канцерогенному воздействию. При этом выявлено, что синтетические топлива обладают значительно меньшим мутагенным воздействием, чем ДТ.

В связи с указанным анализ характеристик впрыскивания в камеру с постоянным давлением является важным первоначальным этапом изучения влияния свойств биотоплив на показатели двигателей.

Обоснование использования метанола как добавки в БТ

Выбор метанола, в качестве добавки, был продиктован следующими причинами:

- метанол (в перспективе биометанол) является промежуточным продуктом переработки биомассы;
- метанол является ингредиентом для получения БТ, который после протекания реакции удаляют. Предлагаемое повышенное содержание метанола ускоряет реакцию получения БТ и отпадает необходимость в такой энергоемкой технологической операции, как его удаление из БТ;

Известны исследования по изучению влияния добавки спиртов в БТ. В работе [5] исследовались смеси метанола 5, 10 и 15 % об. с БТ. Выявлено, что добавка метанола снижает температуру ОГ, содержание NO_x . Также уменьшаются ТЧ, и СН до содержания метанола 15 % об. Но при этом в ОГ растет уровень метанола, формальдегида, 1,3-бутадиена, на малых нагрузках наблюдается рост СО.

Установка для изучения впрыскивания топлив

Для исследования впрыскивания топлив использовалась установка (рис. 2), созданная в институте технического сгорания Ганноверского университета им. Лейбница (Германия). В этой работе использовался опыт оптических исследований этого института. Характеристики установки представлены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики установки

Параметры	Значение
Распылитель MTU CR2000	
Максимальное давление впрыскивания, МПа	200
Количество отверстий распылителя	8
Диаметр отверстия распылителя, мм	0,025
Давление в камере, МПа	до 5
Температура в камере, °С	25
Объем камеры, л	46
Высокоскоростная кинокамера	MotionPro X4
Скорость съемки, кадров/с	до 80000
Выдержка, мкс	10
Фокусное расстояние, мм	25

На рис. 2 представлена схема установки. Камера квадратной формы имеет шесть круглых отверстий, на которые могут устанавливаться окна с кварцевыми стеклами диаметром 170 мм и функциональные заглушки, на которых установлены штуцер для подачи сжатого воздуха и датчики. Это обеспечивает возможность изучения впрыскивания топлива в разных плоскостях.

Сигналы от кинокамеры фиксируются и обрабатываются в компьютерах с получением результатов изменения по времени: дальности, угла раскрытия струи, продольного сечения струй, периметра струй и центра тяжести струи. Данные результаты могут быть получены, как для всех струй, так и для каждой струи отдельно.

Изменение параметров впрыскивания в данных исследованиях представлено в табл. 2.

Таблица 2. Изменение параметров впрыскивания топлив

Параметры	Значения
Давление впрыскивания, МПа	100; 140; 160
Цикловая подача топлива, мг	181; 227; 256
Давление в камере, МПа	2; 3; 4

Характеристики топлив

В качестве объектов исследования были выбраны следующие топлива: ДТ, БТ (В100), и смеси 95 об. % БТ+5 об. % CH_3OH (В95), и 85 об. % БТ+15 об. % CH_3OH (В85).

Характеристики топлив представлены в табл. 3: ρ - плотность; ν - кинематическая вязкость; Q_n - низшая теплота сгорания, σ - коэффициент поверхностного натяжения, a - коэффициент сжимаемости.

Теплота парообразования метанола составля-
ет 1100 кДж/кг, для сравнения этанола - 900, ДТ –
230...250, БТ – 300 кДж/кг.

В работе [6] отмечено, что в течение первых
300...500 мкс происходит формирование струи и
стабилизируется механизм его взаимодействия со
средой.

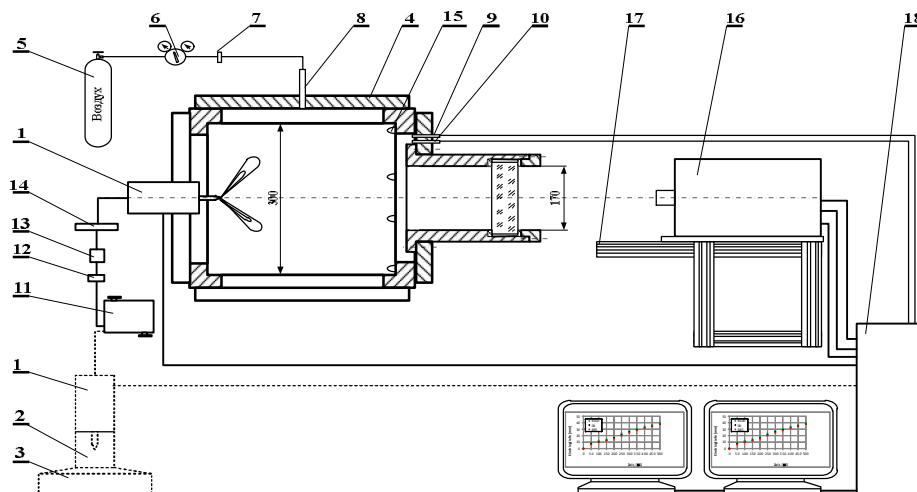


Рис. 2. Схема установки для изучения характеристик впрыскивания топлива
в камеру с постоянным давлением:

1-распылитель; 2-оправка; 3-весы; 4-камера; 5-баллон со сжатым воздухом; 6-редуктор; 7-кран; 8-штуцер; 9-датчик давления; 10-датчик температуры; 11-топливный бак; 12-топливподкачивающий насос; 13-насос высокого давления; 14-рампа; 15-светодиоды; 16-высокоскоростная камера; 17-направляющие; 18-компьютер

Таблица 3. Характеристики топлив

Характеристики	* ρ^{15}	* ν^{40}	* Q_H	σ^{20}	a^{20}	*Содержание метанола	
	г/см ³	мм ² /с	кДж/кг	мН/м	10 ¹¹ Па ⁻¹	масс. %	об. %
ДТ	0,835	2,667	42433	27	61,1		
В100 (EN 14214)	0,883	4,404	37437	30,6	57	0,01	0,011
В95	0,8793	3,919	36547			4,2	4,7
В85	0,8711	2,924	34894			13,2	14,5
Отличие В100 к ДТ, %	-5,7	-65,1	11,8	-13,3	6,7		
Отличие В95 к ДТ, %	-5,3	-46,9	13,9				
Отличие В85 к ДТ, %	-4,3	-9,6	17,8				
СН ₃ ОН	0,7915	0,754	19900	22,6			

*Анализы выполнены в ASG Analytik-Service Gesellschaft mbH (Германия).

В большинстве конструкций камер сгорания определяющим фактором являются процессы, проходящие до контакта струи со стенкой камеры сгорания (рис. 3).

Поэтому из зафиксированных 1800 мкс времени впрыскивания ограничили изучением начальных 500 мкс.

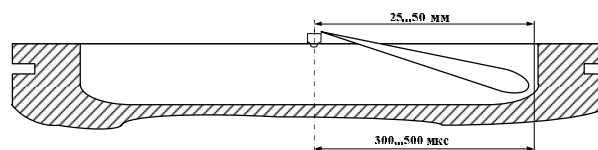


Рис. 3. Схема впрыскивания топлива в КС

Характеристики впрыскивания топлив

Зависимости дальности струй от времени впрыскивания для разных топлив представлены на рис. 4.

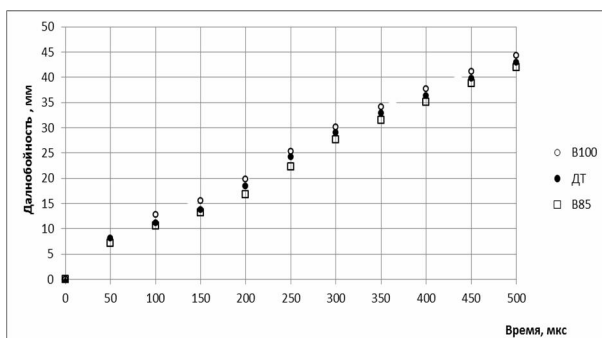


Рис. 4. Дальность струй при давлении впрыскивания 140 МПа в камеру с давлением 3 МПа

Дальностью БТ наибольшая, при этом угол струи у БТ уменьшается по сравнению с ДТ, но растет площадь поперечного сечения и периметр струи.

Был произведен расчет поверхности и объема струй при цикловой подаче топлива 227 мг. Выявлено, что комбинация этих параметров приводит к росту объема и поверхности струи БТ по сравнению с ДТ (рис. 5).

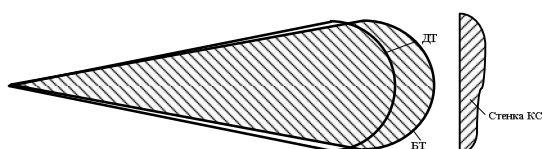


Рис. 5. Поперечные сечения струй ДТ и БТ

На рис. 6, 7 представлено изменение площади поверхности (S_{spray}) и объема (V_{spray}) струй различных топлив.

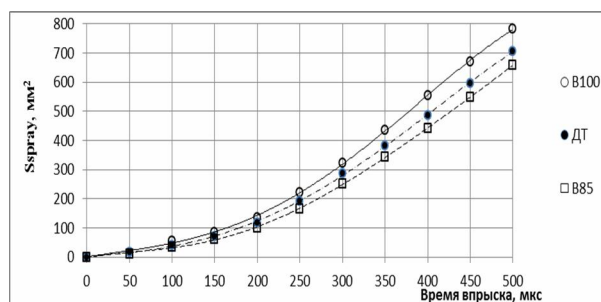


Рис. 6. Изменение площади поверхности S_{spray} струй

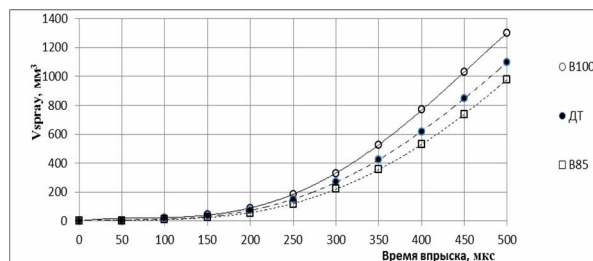


Рис. 7. Изменение объема V_{spray} струй

В реальном процессе объем впрыснутого БТ увеличивается до 257 мг, что увеличивает это отличие еще больше.

Определение поверхности и объема каплей струй по диаметру Заутера (d_{32})

Расчет выявил, что d_{32} БТ больше, чем ДТ [7]. Предположительно это должно привести к значительному увеличению общей поверхности каплей ДТ по сравнению с БТ. Но из-за увеличения впрыснутого объема БТ наблюдается несколько другая картина, которая упрощенно представлена на рис. 8.

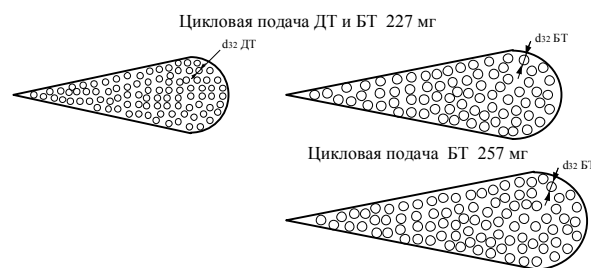


Рис. 8. Упрощенные схемы струй ДТ и БТ

Отличие БТ по отношению к ДТ при цикловой подаче топлива 227 мг при 500 мкс по объему каплей на 3% больше, но по площади каплей на 20% меньше. При увеличенной подаче БТ до 257 мг, это отличие улучшается в сторону БТ. Отличие БТ по отношению к ДТ по объему каплей на 9,8% больше, а по площади каплей на 16,1% меньше.

Испытания В85 в сравнении с В100 выявили снижение средней температуры в КС на 47°С и уменьшение NOx на 11,6%.

Заключение

Выявлено, что хотя дальность БТ по сравнению с ДТ увеличивается и уменьшается угол раскрытия струи, но это до контакта струи со стенкой камеры сгорания приводит к увеличению объема и поверхности струи, что улучшает подготовку топлива к сгоранию и обеспечивает повышение

КПД. Увеличение NOx возможно снизить добавкой метанола в БТ.

Список литературы:

1. Осетров О. О. Поліпшення техніко-економічних показників дизеля 4С12/14, що працює на біопаливах: автореф. дис. на здобуття ступеня канд. тех. наук: спец. 05.05.03 «Двигуни та енергетичні установки» / О. О. Осетров. – Харків, 2005. – 20 с. 2. Status and Development of Biodiesel Production and Projects in Europe / Werner Korbitz // SAE Techn. Pap. Ser. – 1995. – № 952768. – pp. 249–254. 3. Motorprozessverhalten und Abgasemissionen alternativer Kraftstoffe im Vergleich mit Dieselkraftstoff / H. Harndorf; U. Schümann, V. Wichmann, C. Fink // MTZ. – 2008. – No 07–08. – S. 640–646. 4. Alkoholische Biokraftstoffe als Beimischungskomponente für konventionelle und alternative Dieselmotoren / Y. Kaack, C. Weiskirch, P. Eilts // MTZ. – 2009. – No 07–08. – S. 588–595. 5. Cheung C. S. Regulated and unregulated emissions from a diesel engine fueled with biodiesel and biodiesel blended with methanol / C. S. Cheung, Lei Zhu, Zhen Huang // Atmospheric Environment. – 2009. – №43. – pp. 4865–4872. 6. Баев В. К. О кумулятивном механизме развития высоконапорной топливной струи / В. К. Баев., А. А. Бузук., А. Н. Бажайкин, Б. П. Тимошенко // Двигателестроение. – 1981. – №2. – С. 8–12. 7. Колодницька Р. В. Моделювання

розпилування біодизельного палива на основі конопляної олії / Р. В. Колодницька // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В.Дала. – 2010. – №6 (148) – С. 41–46.

Bibliography (transliterated):

1. Osetrov O. O. Polipshennja tehniko-ekonomichnih pokaznikov dizelja 4Ch12/14, wo pracuje na biopalivah: avtoref. dis. na zdobuttja stupenja kand. teh. nauk: spec. 05.05.03 «Dviguni ta energetichni ustanovki» / O. O. Osetrov. – Har'kiv, 2005. – 20 s. 2. Status and Development of Biodiesel Production and Projects in Europe / Werner Korbitz // SAE Techn. Pap. Ser. – 1995. – № 952768. – pp. 249–254. 3. Motorprozessverhalten und Abgasemissionen alternativer Kraftstoffe im Vergleich mit Dieselkraftstoff / H. Harndorf; U. Schümann, V. Wichmann, C. Fink // MTZ. – 2008. – No 07–08. – S. 640–646. 4. Alkoholische Biokraftstoffe als Beimischungskomponente für konventionelle und alternative Dieselmotoren / Y. Kaack, C. Weiskirch, P. Eilts // MTZ. – 2009. – No 07–08. – S. 588–595. 5. Cheung C. S. Regulated and unregulated emissions from a diesel engine fueled with biodiesel and biodiesel blended with methanol / C. S. Cheung, Lei Zhu, Zhen Huang // Atmospheric Environment. – 2009. – №43. – pp. 4865–4872. 6. Baev V. K. O kumuljativnom mehanizme razvitija vysokonapornoj toplivnoj strui / V. K. Baev., A. A. Buzukov., A. N. Bazhajkin, B. P. Timoshenko // Dvigatelistroenie. – 1981. – №2. – S. 8–12. 7. Kolodnic'ka R. V. Modeljuvannja rozpiljuvannja biodizel'nogo paliva na osnovi konopljanoi olii / R. V. Kolodnic'ka // Visnik Shidnoukrajn'skogo nacional'nogo universitetu im. V. Dalja. – 2010. – №6 (148) – S. 41–46.

УДК 621.43:662.6

А.В. Иващенко, асп., В.Н. Горячкин, канд. техн. наук

ДИСПЕРСНЫЙ СОСТАВ КАПЕЛЬ БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА НА ВЫХОДЕ ИЗ ФОРСУНКИ

Введение

Рост энергетических потребностей человечества, наблюдаемый в последние годы, влечет за собой увеличение загрязнения окружающей среды, истощение энергоресурсов и может привести к энергетическому кризису. Активные поиски альтернативных видов топлива, которые могли бы использоваться в двигателях внутреннего сгорания (ДВС) и соответствовали условиям полного сгорания с максимальным выделением теплоты, ведутся во многих странах мира [1].

Вместе с тем теплофизические и физико-химические свойства традиционных нефтяных и альтернативных топлив отличаются, что приводит к изменению рабочих характеристик оборудования. Так, например, согласно [2] параметры факела распыленного топлива (угол раскрытия, длина, дальность, размер образованных капель) зависят от плотности, вязкости, поверхностного натяжения топлива, на котором работает двигатель. Процесс воспламенения и сгорания топлива также зависит

от его состава, теплоты сгорания, скорости образования паров, определяемой давлением насыщения, теплопроводности, диффузии. Результаты исследования свойств смеси дизельного топлива и рапсового масла приведены в [3].

Данная работа посвящена исследованию влияния свойств биотопливной смеси (ТС), состоящей из рапсового масла (РМ) и дизельного топлива (ДТ), на дисперсный состав топливного факела, образующегося на выходе из форсунки дизельного двигателя.

Постановка задачи исследований

Проведение исследований по распыливанию топлива, а особенно, по определению размеров и количества капель, является сложной и трудоемкой задачей. Существуют различные методы для ее решения: микрокиносъемка капли в факеле [4], фотометрический метод [5], впрыскивание расплавленного парафина с последующим замораживанием капель и просеиванием их через сита [6], сидентометрический метод [7], улавливание капель