

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПЫЛЕННОГО ПОТОКА БИОДИЗЕЛЯ,  
ПРИГОТОВЛЕННОГО С ПОМОЩЬЮ МЕМБРАН ИЗ ПОЛИТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА**  
**Верходанов Д.А.**

Научный руководитель доцент М.В. Пискунов

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Биодизель представляет смесь моноалкильных эфиров жирных кислот. Такое топливо обладает характеристиками сравнимыми с коммерческим дизельным топливом. В свою очередь биодизель в отличие от дизельного топлива является возобновляемым, биоразлагаемым и более экологичным, что делает его перспективным альтернативным топливом. Прямое применение биодизеля в традиционных дизельных двигателях подтверждается обширными исследованиями [2, 3]. Исследование микроскопической и макроскопической структуры биотоплива в процессе распыления важно для достижения стабильного пламени, снижения выбросов выхлопных газов и более высокой эффективности сгорания [1]. Вдобавок на структуру распыления влияют такие факторы как физические свойства топлива, внешние условия окружающей среды, давление впрыска и геометрическая конструкция форсунки.

Целью данной работы является измерение характеристик (средний диаметр капли по Заутеру  $d_{32}$ , количество частиц  $N$ ) распыленного потока метиловых эфиров жирных кислот (МЭЖК) рапсового масла и биодизельного топлива на их основе, фильтрация которых проводилась с помощью мембран из политетрафторэтилена (ПТФЭ) и поливинилиденфторида (ПВДФ) посредством метода цифровой обработки изображений – фильтра Калмана. При апробации мембранного фильтра из ПТФЭ (пористость 75 %) анализировались такие характеристики МЭЖК как динамическая вязкость, температура вспышки в закрытом тигле, цетановое число и поверхностное натяжение; показаны сходства и отличия от аналогичных характеристик МЭЖК, профильтрованного с помощью коммерческого фильтра из ПВДФ (размер пор 0,45 мкм), предназначенного для тонкой очистки от коллоидных соединений, механических и микробиологических примесей. В качестве исследуемых жидкостей используются МЭЖК рапсового масла (В100), полученный с использованием обоих фильтров, и соответствующие смеси дизеля с МЭЖК (В6, т. е. примесь МЭЖК составляет 6 % от массы дизеля). В таблице представлены значения динамической вязкости и коэффициента поверхностного натяжения исследуемых образцов. Значения довольно близки; различия физических свойств топлив, отфильтрованных с помощью различных мембран, являются скорее несущественными.

*Таблица*

*Физические свойства исследуемых образцов*

Наименование жидкости	Динамическая вязкость, мПа·с		Коэффициент поверхностного натяжения, мН/м	
	ПВДФ	ПТФЭ	ПВДФ	ПТФЭ
В6	2,76	2,75	27,9	28,1
В100	5,89	5,94	26,4	30,3

Исследование характеристик распыления выполнялось методом теневой видеосъемки. Для осуществления данного метода использовались высокоскоростная видеокамера (скорость записи – 35000 кадров/с, разрешение – 320 × 240 пикселей, масштабный коэффициент – 0,05 мм/пиксель) и прожектор. Распыление топлива осуществлялось с использованием дизельной форсунки с углом раскрытия 60°, при варьировании давления на впрыске от 0,6 МПа до 1,2 МПа. Регулирование давления впрыска осуществлялось с помощью редуктора газового баллона, газовый баллон подключался непосредственно к резервуару с топливом.

Постобработка полученного изображения проводилась в программном комплексе Matlab при помощи кода, реализующего метод фильтра Калмана. Данный фильтр позволяет отслеживать отдельные частицы в потоке, при этом определяя их количество, размеры и скорости движения. Также фильтр Калмана позволяет прогнозировать будущее местоположение объекта на основе уравнения движения. Для осуществления постобработки с помощью фильтра Калмана исходная видеозапись загружается в Matlab. В каждом видеокadre происходит обнаружение частиц и присвоение им индивидуального трек-номера, который позволяет отслеживать обнаруженные частицы на последующих видеокadрах. У каждой обнаруженной частицы рассчитывается площадь идеальной сферической частицы  $S$  в пикселях, далее рассчитывается диаметр сферы при помощи следующей формулы:  $d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$ . После этого происходит пересчет диаметра из пиксельного значения в миллиметровое путем умножения полученного значения на масштабный коэффициент. Рассчитав диаметры частиц на всех видеокadрах, происходит расчет  $d_{32}$ .

На рисунке 1 представлена зависимость массового расхода жидкости от давления на впрыске форсункой. Результаты показывают, что для исследуемых образцов с увеличением давления на впрыске происходит рост массового расхода жидкости. Различия в массовых расходах у образцов В6(ПТФЭ) и В6(ПВДФ) составляет около 10 %, при этом у образцов В100(ПТФЭ) и В100(ПВДФ) менее 11 %.

Результаты постобработки, полученные с помощью фильтра Калмана представлены на рисунке 2. Для всех образцов с увеличением давления на впрыске происходит равномерный рост значений  $N$  в потоке. Отличие значений  $N$  для биотоплив В6(ПТФЭ) и В6(ПВДФ) составляет менее 12 %, для образцов В100(ПТФЭ) и В100(ПВДФ) значения отличаются существенно, но не более чем на 22 % (рис. 2а). Изменение давления на впрыске также влияет на значения  $d_{32}$ . Для топлив В6(ПТФЭ) и В6(ПВДФ) отличие значений  $d_{32}$  не превышает 11 %, при этом для В100(ПТФЭ) и В100(ПВДФ) расхождение составляет менее 7 % (рис. 2б). Можно заключить, что в целом различия

в определяемых характеристиках топлив, полученных при использовании различных фильтров (включая самостоятельно изготовленный из ПТФЭ), скорее незначительные.

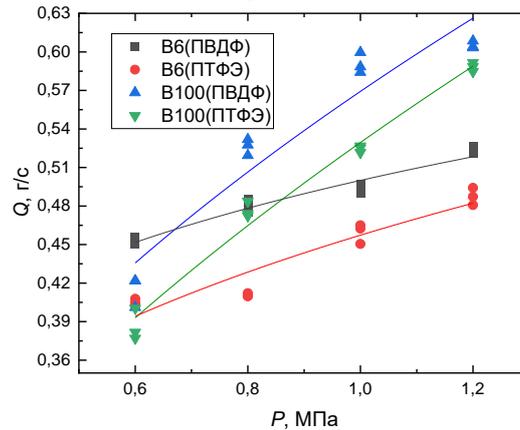


Рис. 1. Зависимость массового расхода жидкости  $Q$  от давления на впрыске форсункой  $P$

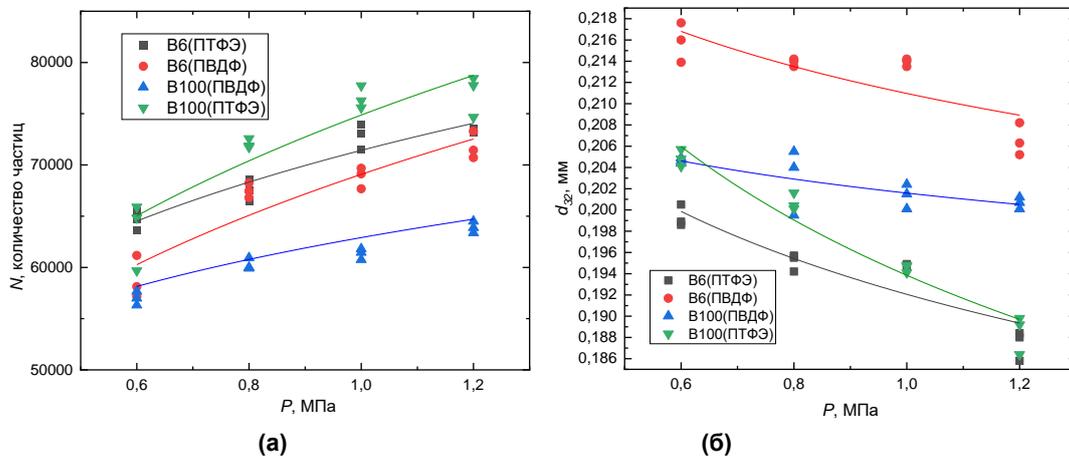


Рис. 2. Зависимость количества частиц  $N$  от давления на впрыске  $P$  (а); зависимость среднего диаметра по Заутеру  $d_{32}$  от давления на впрыске  $P$  (б)

В работе основное внимание уделено измерению характеристик ( $d_{32}$ ,  $N$ ) распыленного потока МЭЖК и биодизельного топлива на их основе, отфильтрованных с помощью самостоятельно изготовленного мембранного фильтра из ПТФЭ и коммерческого фильтра из ПВДФ. Анализ характеристик распыленного потока и физических свойств топлив, отфильтрованных с помощью различных мембран, демонстрирует схожесть результатов. Это позволяет заключить, что изготовленный мембранный фильтр из ПТФЭ не уступает коммерческому аналогу и может быть использован при фильтрации МЭЖК.

Работа выполнена при поддержке программы развития Томского политехнического университета «Приоритет 2030» (Приоритет-2030-НИП/ЭБ-038-1308-2022).

#### Литература

- Gad H. M. et al. Experimental study of diesel fuel atomization performance of air blast atomizer // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2018. – Т. 99. – С. 211-218.
- Najafi G. Diesel engine combustion characteristics using nano-particles in biodiesel-diesel blends // *Fuel*. – 2018. – Т. 212. – С. 668-678.
- Rajpoot A. S. et al. Performance analysis of a CI engine powered by different generations of biodiesel; Palm oil, Jatropha, and microalgae // *Materials Today: Proceedings*. – 2023.