УДК 621.43.057.3

А. М. А. Аттия[1], А. Р. Кульчицкий[2]

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА И СТРУКТУРЫ ЭМУЛЬСИОННОГО ТОПЛИВА НА СОСТАВ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ*

[1]Бинхайский университет, Египет
(e-mail: ali_maattia@yahoo.com)
[2]Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
(e-mail: ark6975@mail.ru)

Приведены результаты исследования влияния состава и структуры водо-топливной эмульсии на состав дисперсных частиц, содержащихся в отработавших газах дизелей. Показано влияние метода мембранного эмульгирования на степень однородности эмульсии.

Ключевые слова: отработавшие газы, дисперсные частицы, водотопливные эмульсии, структура эмульсии.

Results of research of influence of structure and composition of a water-fuel emulsion on structure of the disperse particles containing in exhaust gases of diesels are given. Influence of a method of membrane emulsification on degree of uniformity of an emulsion is shown.

Keywords: the exhaust gases, disperse particles, water fuel emulsions, emulsion composition.

Одним из нормируемых параметров, характеризующих экологический уровень дизельных двигателей (а также транспортных средств с такими двигателями), является удельный выброс дисперсных частиц (РМ) с отработавшими газами (ОГ). Это регламентируется как международными стандартами (например Правилами ЕЭК ООН №49 и №96, областью распространения которых являются дорожные и внедорожные транспортные средства соответственно), так и Техническими регламентами Таможенного союза Белоруссии, Казахстана и России (например, «О безопасности колесных транспортных средств» и «О безопасности машин и оборудования»).

Согласно указанным нормативным документам оценка содержания в отработавших газах РМ производится гравиметрическим методом: определяется вес фильтров до и после пропускания через них смеси ОГ и воздуха (т. е. до и после испытаний двигателя). При этом температура смеси не должна превышать значение 52 °С (325 К), что имитирует процесс разбавления ОГ при их выбросе из выпускного трубопровода двигателя в атмосферу. Благодаря такой методике на фильтрах оседают все негазообразные вещества, содержащиеся в ОГ, соответственно дисперсные частицы – это твердые и жидкие вещества, находящиеся в смеси ОГ с воздухом при вышеуказанной температуре смеси.

Наличие жидких веществ в ОГ связано с конденсацией части несгоревших топлива и смазочного масла (углеводороды с углеродными группами от C_5 до C_{17}, т. е. от пентана и выше) вследствие понижения температуры ОГ при их разбавлении воздухом. Воду, находящуюся в ОГ, в состав РМ не включают (это обеспечивает посредством выдерживания фильтров в термостате до и после испытаний при постоянной влажности). Наличие твердых веществ определяется выбросом не только сажи C, но твердых сульфатов MSO_4, а также части несгоревших топлива и масла (углеводороды с углеродными группами от C_{18} и выше) вследствие их конденсации. Все указанные жидкие и твердые углеводороды носят название тяжелых (или высокомолекулярных) углеводородов C_aH_b.

Источники наличия в ОГ сажи и тяжелых углеводородов – не полностью сгоревшие топливо и смазочное масло, т. е. причина – несовершенство рабочего процесса дизеля и наличие масла на стенках цилиндра в зоне выше верхнего поршневого кольца, где оно подвергается воздействию высоких температур вследствие сгорания топлива. Что касается твердых сульфатов, то это результат взаимодействия продуктов сгорания серы, содержащейся в топливе, с барием и кальцием, входящих в состав моющих присадок к маслам. Кроме того, в ОГ присутствуют и другие твердые вещества: продукты износа деталей двигателя, зола и кокс топлива и масла; но их содержание по сравнению с перечисленными составляющими незначительно. Таким образом, дисперсные частицы – это смесь веществ, имеющих различную природу образования.

Снижение эмиссии РМ с ОГ дизелей обеспечивается двумя принципиально различными методами: воздействием на протекание рабоче-

* Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 11-08-01168а.

го процесса дизеля (т. е. за счет изменения характеристик систем газообмена, турбонаддува и топливоподачи, а также геометрии камеры сгорания) и применением фильтров дисперсных частиц (т. е. непосредственная обработка ОГ). К первому методу можно отнести и использование альтернативных топлив (поскольку оказывается влияние на выброс PM через рабочий процесс двигателя). Одним из видов альтернативных топлив являются смесевые топлива – смесь традиционного (например дизельного топлива или бензина) с каким-либо компонентом (как топливом, так и не являющимся таковым). В число смесевых топлив входят водотопливные эмульсии (ВТЭ).

Основным фактором, определяющим воздействие на рабочий процесс двигателя в случае применения ВТЭ, всегда считалось соотношение «вода / топливо» (состав ВТЭ). Однако невысокая воспроизводимость результатов влияния ВТЭ на мощностно-экономические и экологические характеристики двигателей указывает на наличие фактора (или факторов), которые имеют значительное воздействие на рабочий процесс двигателей. Ключом к пониманию подобных различий, по мнению авторов, является структура эмульсии, т. е. характер распределения среднего размера капель воды в топливе и степень однородности этого распределения по размерам. Первое определяет площадь контакта воды и топлива и обусловливает интенсивность испарения воды при нагреве, влияя на такие процессы в камере сгорания дизеля как макросмешение ВТЭ с окислителем и термохимические показатели процесса ее горения. А второе определяет степень однородности эмульсии и оказывает влияние на ее физические параметры. Так, например, при горении ВТЭ на базе тяжелых топлив, чем мельче размер капель воды, тем меньшее количества воды необходимо для получения одинакового эффекта по снижению эмиссии сажи [1].

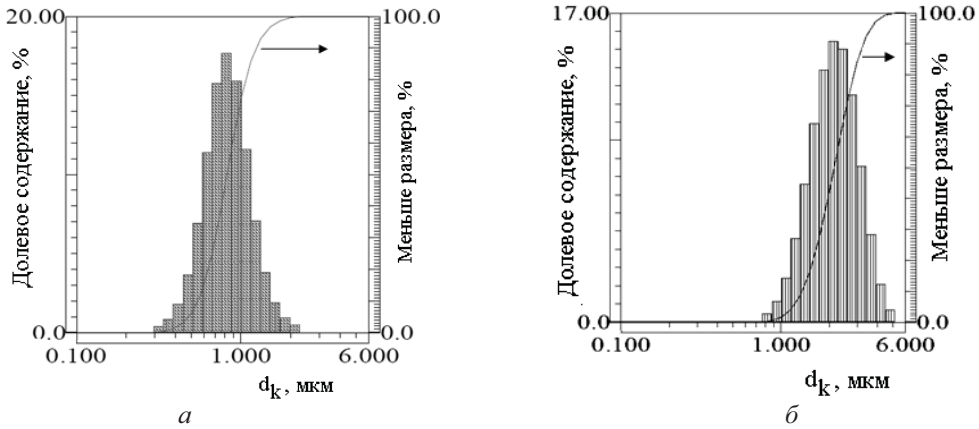
Управление структурой эмульсии позволит получать ВТЭ заранее заданного состава и, соответственно, обеспечивать стабильность и воспроизводимость результатов их применения. Это зависит, в первую очередь, от технологии приготовления эмульсии. В большинстве работ ВТЭ готовились с использованием гомогенизаторов, ультразвуковых устройств или других механических методов, которые не могут обеспечивать стабильность структуры эмульсий [2, 3].

В настоящей работе был применен метод мембранного эмульгирования [4]. Мембрана представляла собой керамический цилиндр длиной 22 см, внутренним диаметром 6 мм, внешним диаметром 10 мм, с диаметром пор 0,20 мкм (или 0,45 мкм) и пористостью 50 %. Структуры получаемых эмульсий определялись на оптическом микроскопе (МИКРОМЕД 3-20 с видеоокуляром DCM-510, производство КНР), распределение по размерам капель воды оценено с помощью анализатора размеров частиц с динамическим рассеиванием лазерного света (Horiba LB-550, производство Японии). Степень дисперсности эмульсии определена по коэффициенту дисперсности δ, который показывает степень однородности размеров образованных капель [5]:

$$\delta = (D_{90} - D_{10})/D_{50},$$

где D_{90}, D_{50} и D_{10} – диаметры капель, соответствующие 90, 50 и 10 объемным процентам на интегральной кривой распределения по размерам.

Чем меньше величина δ, тем меньше разброс по размерам; при этом если δ менее 0,5, то эмульсия считается монодисперсной. Примеры структур приготовленных ВТЭ приведены на рис. 1.



а *б*

Рис. 1. Распределение по размерам капель воды в ВТЭ через 10 дней после ее получения методом мембранного эмульгирования (размер пор 0,2 мкм):
а – содержание воды 21,4 об. %, D_{90} = 1,3 мкм, D_{50} = 0,8228 мкм, D_{10} = 0,547 мкм, δ ≈ 0,91;
б – содержание воды 34,8 об. %, D_{90} = 3,4 мкм, D_{50} = 2,1443 мкм, D_{10} = 1,414 мкм, δ ≈ 0,93

Оценка влияния структуры ВТЭ на характеристики двигателя проведена на трехцилиндровом дизеле воздушного охлаждения с турбонаддувом 3ЧН 10,5/12. Основные средства измерения: расходомер топлива 730 (AVL, Австрия), расходомер воздуха РГ-400 (Россия), газоанализатор DiCom-4000/NOx (AVL, Австрия), и дымомер 415S (AVL, Австрия). Испытания проводились на режимах согласно требованиям ГОСТ Р 41.96-2005 (Правила ЕЭК ООН № 96-01).

Результаты испытаний дизеля показали влияние структуры ВТЭ на экологические и экономические показатели двигателя [6].

Для разработки мероприятий по снижению, в частности, эмиссии РМ с ОГ был проведен расчетный анализ их состава [7]. В этом случае сравнивались результаты испытаний двигателя как на летнем дизельном топливе (ДТ), так и двух видах ВТЭ одинакового состава (с объемным содержанием воды 17 %), но с разной структурой (приготовленных с помощью мембран с порами 0,20 и 0,45 мкм). Выявлено, во-первых, что применение ВТЭ вместо дизельного топлива привело к общему уменьшению эмиссии РМ с ОГ. При этом чем меньше размер капель воды, тем больше эффект уменьшения содержания РМ в ОГ (на 6 и 29 % соответственно для указанных случаев). Во-вторых, общее снижение концентрации РМ в ОГ обусловлено уменьшением содержания сажи (углерода): для мембраны с порами 0,45 мкм снижение составило 60 %, а с порами 0,20 мкм – 80 %.

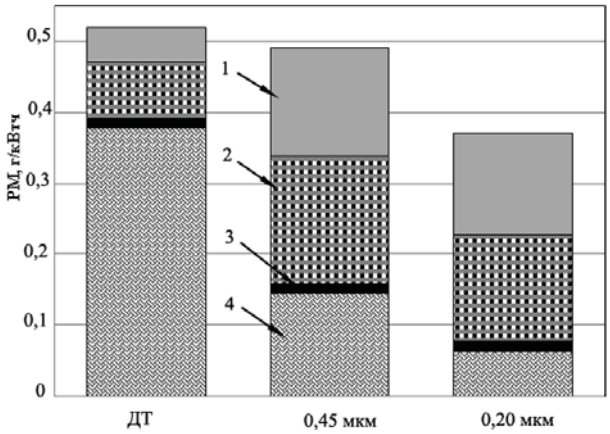


Рис. 2. Влияние структуры ВТЭ на состав дисперсных частиц (РМ) в ОГ дизеля:
1 – MSO_4 (твердые сульфаты); *2* и *3* – CH_{oil} и CH_{fuel} (углеводороды, содержащиеся в ОГ, источником которых является смазочное масло и топливо соответственно); *4* – С (углерод – сажа); содержание воды в эмульсии – 17 об. %

В-третьих, применение ВТЭ обусловило увеличение эмиссии как твердых сульфатов, так и углеводородов, источником которых является масло CH_{oil}: в обоих случаях увеличение составило практически 100% независимо от размера частиц воды (рис. 2).

Выводы

1. Метод мембранного эмульгирования обеспечивает получение водотопливных эмульсий с высокой степенью однородности.

2. Снижение эмиссии дисперсных частиц с отработавшими газами при переходе с дизельного топлива на водотопливную эмульсию обеспечивается за счет уменьшения содержания в них сажи (углерода); при этом содержание высокомолекулярных углеводородов, источником которых является смазочное масло, и твердых сульфатов увеличивается.

3. На содержание в дисперсных частицах сажи оказывает влияние структура эмульсии, а на высокомолекулярные углеводороды, источником которых является смазочное масло, и твердые сульфаты – состав эмульсии. Влияние состава или структуры эмульсии на высокомолекулярные углеводороды, источником которых является дизельное топливо, не выявлено.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Lif*, A., Holmberg, K. Water-in-diesel emulsions and related systems / A. Lif // Advances in Colloid and Interface Science. – 2006. – Vol. 123, No. 126. – P. 231–239.

2. *Strandell, P. A*. A Preview of water emulsified fuel investigations for shipboard applications / P. A. Strandell, H. W. Schab // Naval Engineers Journal. – 1986. – P. 53–69.

3. *Столярчук, Л. В*. Влияние способа подачи воды в цилиндр на экономичность и экологические показатели дизельного двигателя / Л. В. Столярчук, Е. Г. Черновец, А. Ю. Асанов // Двигателестроение. – 2008. – № 4. – С. 52–55. (ISSN 0202-1633).

4. *Аттия, А. М. А*. Влияние введения воды на склонность к сажеобразованию дизельного топлива / А. М. А. Аттия, А. Р. Кульчицкий // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4. (ISSN 1817-6321)

5. *Седышева, С. А*. Разработка технологии эмульгирования жидкостей с применением керамических мембран: автореф. дис. ... канд. техн. наук / С. А. Седышева. – Москва, 2011. – 18 с.

6. *Аттия, А. М. А*. Влияние структуры водотопливной эмульсии на экологические и экономические показатели дизеля / А. М. А. Аттия, А. Р. Кульчицкий // Двигателестроение. – 2012. – № 3. – С. 16–20. (ISSN 0202-1633).

7. *Кульчицкий, А. Р*. Метод оперативного контроля эмиссии дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей / А. Р. Кульчицкий // Research papers of Lithuanian University of Agriculture. – 2010. – Vol. 42, No. 2–3, P. 81–90. (ISBN 1392-1134).