

УДК 621.436 : 662.758

## УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЕЙ ПРИМЕНЕНИЕМ ВОДОТОПЛИВНЫХ ЭМУЛЬСИЙ

<sup>1</sup>Кульчицкий А.Р., <sup>2</sup>Аattia А.М.А., <sup>3</sup>Гоц А.Н.

<sup>1</sup>ООО «Завод инновационных продуктов» КТЗ, Владимир, e-mail: ark6975@mail.ru;

<sup>2</sup>Бинхайский университет, Бинха, e-mail: ali\_maattia@yahoo.com;

<sup>3</sup>ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых», Владимир, e-mail: hotz@mail.ru

Цель работы: исследование влияния структуры водотопливной эмульсии (ВТЭ) на экологические характеристики дизельного двигателя. Структура ВТЭ характеризуется средним размером капель воды и их распределением по размерам (степенью однородности). Испытания проведены на трехцилиндровом дизеле с турбонаддувом. В качестве топлива применялись дизельное и два варианта ВТЭ одинакового состава (17% воды по объему). ВТЭ получены методом мембранного эмульгирования с использованием двух различных мембран, отличающихся диаметром пор: 0,20 и 0,45 мкм. Средний размер капель в ВТЭ составил 0,53 и 5,5 мкм, а степень однородности – 0,6 и 0,9 соответственно (чем меньше этот показатель, тем однороднее эмульсия). Результаты исследования: эмульсия с более крупными каплями воды оказывает большее влияние на оксиды азота (снижая их концентрацию до 25%), в то время как использование эмульсии с мелкими каплями обеспечивает лучшие результаты по снижению уровня сажеобразования (более 80%), концентрации несгоревших углеводородов (более 35%) и эмиссии дисперсных частиц (до 30%) по сравнению с соответствующими значениями при использовании дизельного топлива.

**Ключевые слова:** дизель, выбросы вредных веществ с отработавшими газами, водотопливные эмульсии (ВТЭ), структура эмульсии, мембранное эмульгирование

## IMPROVE ENVIRONMENTAL PERFORMANCE DIESEL ENGINE USING WATER-FUEL EMULSIONS

<sup>1</sup>Kulchitskiy A.R., <sup>2</sup>Attia A.M.A., <sup>3</sup>Gotz A.N.

<sup>1</sup>ООО «The Factory of innovative products» КТЗ, Владимир, e-mail: ark6975@mail.ru;

<sup>2</sup>Benha University, Benha, Egypt (13512 Benha, Egypt), e-mail: ali\_maattia@yahoo.com;

<sup>3</sup>Vladimir State University n.a. A.G. and N.G. Stoletov, Vladimir, e-mail: hotz@mail.ru

Purpose is the investigation of the influence of the structure of water-fuel emulsion (WFE) on the ecological characteristics of diesel engine. The structure of WFE is characterized by the average size of water droplets and their size distribution (degree of homogeneity or uniformity expressed with the dispersion coefficient). Tests were carried out on 3-cylinders turbocharging diesel engine. The normal diesel fuel and two mixtures of WFE of identical water contents (17% of water on volume), but having different structure, were supplied to diesel engine. The structure of WFE was changed by use of membrane emulsification with the help of two different membranes; one of pore size 0,20 microns and the other of 0,45 microns. The corresponding average size of water droplets in WFE was 0,53 and 5,5 microns, and dispersion coefficient – 0,6 and 0,9 respectively (the lower the value of this indicator, the better the degree of emulsion uniformity). Results of study indicate that, the emulsion with larger drops of water has a greater impact on nitrogen oxides (reducing their concentration up to 25%) while emulsion with small droplets provides the best results on reduction of smoke level (more than 80%), concentration of hydrocarbons (more than 35%) and issues of particulate matter (up to 30%) in comparison with the corresponding values when using of diesel fuel.

**Keywords:** diesel engine, exhaust gas harmful emissions, water-in-fuel emulsion (WFE), emulsion structure, membrane emulsification

Воздействие на состав отработавших газов (ОГ) дизелей посредством применения нейтрализаторов вредных веществ (ВВ) и фильтров дисперсных частиц (РМ) малоэффективно в силу особенностей процесса диффузионного горения топлив, характерного для этого типа двигателей. Такой тип горения предопределяет как повышенное (по сравнению с двигателями с внешним смесеобразованием) сажеобразование, так и более высокую концентрацию серы в дизельном топливе (по сравнению с бензинами), приводящее к увеличенному содержанию в ОГ дизелей соединений серы (серного ангидрида, серной кислоты и твердых сульфатов). Оба этих обстоятельства обуславливают ускоренное загрязнение поверхно-

сти активных элементов нейтрализаторов и фильтров. В результате эффективность средств нейтрализации ОГ резко снижается. Поэтому представляется целесообразным разработка мероприятий по улучшению экологических характеристик дизелей за счет воздействия на рабочий процесс. При этом воздействующими факторами могут быть не только конструктивные и регулировочные параметры двигателя, но и параметры топлива: его физические и химические характеристики (цетановое число, вязкость, плотность, углеводородный состав и т.д.).

Изменение физико-химических характеристик топлив возможно за счет применения альтернативных топлив: или в чистом виде, или в смеси с традиционным

дизельным. Одними из таких топлив являются водотопливные эмульсии (ВТЭ). Свойства ВТЭ зависят от их состава – долевого содержания воды в ВТЭ ( $C_v$ ) и структуры – среднего размера  $d_{cp}$  и характера распределения капель воды в эмульсии по размеру (т.е. степени однородности  $\delta$  – чем меньше эта величина, тем выше однородность). Регулирование значений указанных параметров на стадии приготовления ВТЭ позволяет управлять характером сгорания эмульсии, т.е. воздействовать на характер протекания рабочего процесса и, таким образом, на экологические показатели двигателя [ 2, 4, 5 ].

**Цель** проведенного данного исследования: выявить наличие влияния структуры ВТЭ на экологические показатели дизеля.

**Объект** испытаний: трёхцилиндровый дизель ЗЧН 10,5/12 с турбонаддувом эксплуатационной мощностью 35,0 кВт при 2000 об/мин. Основные средства измерения: расходомер топлива 730 (AVL, Австрия), расходомер воздуха РГ-400 (Россия), газоанализатор DiCom-4000/NOx (AVL, Австрия) и дымомер 415S (AVL, Австрия). Ис-

пытания проводились на режимах согласно требованиям ГОСТ Р 41.96–2011 (Правила ЕЭК ООН № 96-01). В качестве топлива применено дизельное топливо (ДТ) и ВТЭ. В случае перевода на работу с дизельного топлива на ВТЭ мощность двигателя снижалась. Для обеспечения постоянства мощностных показателей двигателя производилась перерегулировка ТПА, обеспечивающая увеличение цикловой подачи топлива. Эмульсия приготавливалась методом мембранного эмульгирования с использованием мембран с различным диаметром пор  $d_m$ : 0,20 и 0,45 мкм. Определение структуры эмульсии оценивалось по двум параметрам: средний размер капель дисперсной фазы и их распределение по размерам. Эти параметры измерены визуально с помощью оптического микроскопа МИКРОМЕД 3 Вар 3–20 с видеоокулярном ДСМ-510 и оборудования с динамическим рассеиванием лазерного света – анализатора размеров частиц Horiba LB-550 [1].

Полученные два образца ВТЭ отличались по своим характеристикам (рис. 1).

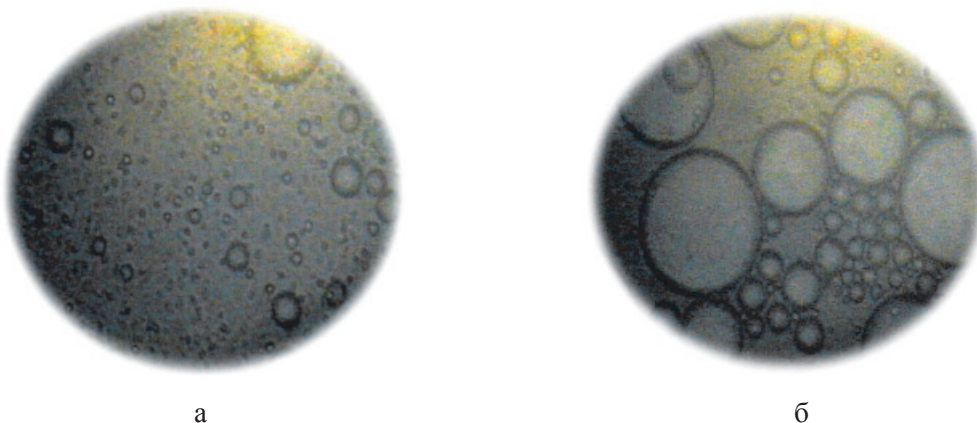


Рис. 1. Характер структуры водотопливной эмульсии при доленом содержании воды  $C_v = 17\%$  в зависимости от диаметра  $d_m$ , мкм пор мембраны и степени однородности  $\delta$ :  
а –  $d_m = 0,20$ ;  $d_{cp} = 0,53$ ;  $\delta = 0,6$ ; б –  $d_m = 0,45$ ,  $d_{cp} = 5,50$ ,  $\delta = 0,9$

Результаты исследований показали (рис. 2):

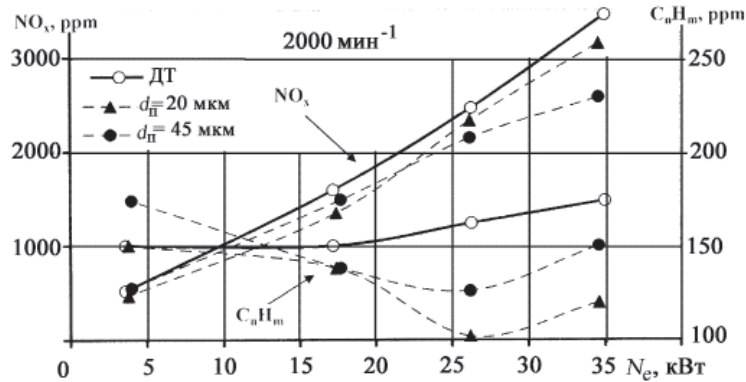
- применение ВТЭ по сравнению с ДТ обеспечивает снижение концентрации оксидов азота  $NO_x$  и суммарных углеводородов  $C_nH_m$  почти во всем диапазоне нагрузок, причём степень снижения в основном пропорциональна величине нагрузки;

- ВТЭ с меньшим размером капель воды обеспечивает большее снижение концентрации  $C_nH_m$  в ОГ;

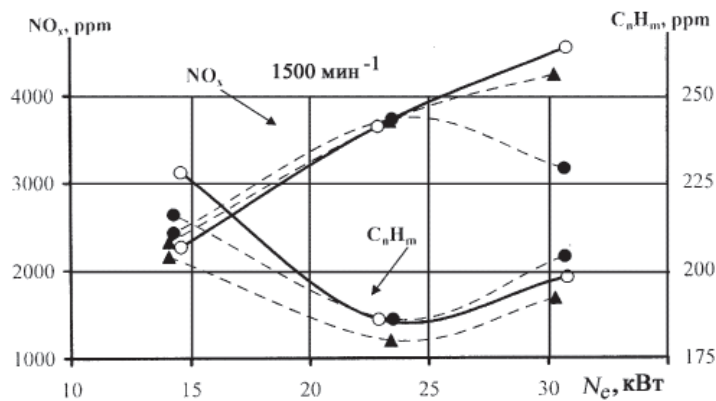
Подобный характер влияния структуры ВТЭ на состав и содержание в ОГ дизеля оксидов азота объясняется, вероятно, тем, что чем крупнее капли воды, тем в большей

степени снижается полнота сгорания и соответственно температура в зоне продуктов сгорания (зоне, где происходит образование термических  $NO_x$ ). Влияние на эмиссию суммарных углеводородов предположительно обусловлено влиянием на процесс вторичного смесеобразования микровзрывов большего количества капель воды (т.е. более мелких капель).

Что касается состава дисперсных частиц (PM), находящихся в потоке ОГ дизеля, то чем меньше средний диаметр капель воды, тем выше склонность к образованию твердых сульфатов  $MSO_4$ , но меньше склонность к сажеобразованию С (рис. 3).



а



б

Рис. 2. Изменение концентрации оксидов азота  $NO_x$  и углеводородов  $C_nH_m$  в зависимости от мощности двигателя на разных скоростных режимах: а –  $2000 \text{ мин}^{-1}$ ; б –  $1500 \text{ мин}^{-1}$

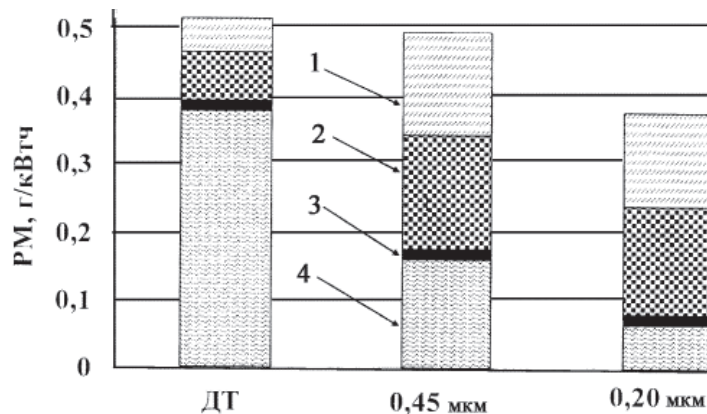


Рис. 3. Влияние структуры ВТЭ (долевое содержание воды  $C_v = 17$ ) на состав дисперсных частиц (РМ) в ОГ дизеля: 1 –  $MSO_4$  (твёрдые сульфаты); 2 и 3 –  $CH_{fuel}$  и  $CH_{oil}$  (высокомолекулярные углеводороды, источником которых являются топливо и смазочное масло соответственно); 4 – С (углерод – сажа); 0,45 и 0,20 мкм – ВТЭ, полученная с помощью мембран с порами диаметром указанного размера

Так, долевое содержание сажи в дисперсных частицах (оценка проводилась по методике, приведенной в работе [3]) при переходе дизеля с ДТ на ВТЭ, полученную с помощью мембран с диаметром

пор  $d_n = 0,45 \text{ мкм}$ , снизилось почти в два с лишним раза, а при  $d_n = 0,20 \text{ мкм}$  – в четыре раза. При этом общая концентрация дисперсных частиц РМ снизилась на 6% в первом случае и на 29% – во втором.

Таким образом, структура ВТЭ влияет на склонность ВТЭ к сажеобразованию (соответственно – на уровень дымности ОГ), и чем мельче капли, тем эта склонность выше. Кроме того, переход на работу с ВТЭ привел к увеличению содержания в РМ высокомолекулярных углеводородов, источником которых является топливо  $\text{C}_n\text{H}_m^{\text{fuel}}$ . Влияния на высокомолекулярные углеводороды, источником которых является смазочное масло  $\text{C}_n\text{H}_m^{\text{oil}}$ , не отмечено.

Проведенные испытания также позволили получить косвенное подтверждение того факта, что прохождение ВТЭ по системе топливоподачи дизеля (в условиях воздействия высоких давлений и прецизионных размеров ТПА) не привело к деформации структуры ВТЭ. Иначе не было бы отмечено влияние структуры ВТЭ на содержание ВВ в ОГ и экономические показатели.

### Выводы

1. При переводе дизеля на работу с дизельного топлива на водотопливную эмульсию отмечено влияние структуры эмульсии на экологические показатели двигателя. В частности, выявлено:

- снижение концентрации  $\text{NO}_x$  и  $\text{C}_n\text{H}_m$  в отработавших газах, а также уровня дымности отработавших газов;

- большее положительное влияние водотопливной эмульсии с крупным размером капель воды на эмиссию  $\text{NO}_x$ , а с меньшим размером – на уровень дымности ОГ и эмиссию  $\text{C}_n\text{H}_m$ ;

- снижение эмиссии дисперсных частиц за счет уменьшения сажеобразования, которое превалирует над увеличением концентрации высокомолекулярных углеводородов, источников которых является топливо, и твердых сульфатов.

2. Воздействие высоких давлений и прецизионных размеров топливоподающей аппаратуры не приводит к деформации структуры водотопливной эмульсии.

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

### Список литературы

1. Аття А.М.А. Управление структурой водотопливной эмульсии / А.М.А. Аття, А.Р. Кульчицкий // *Research papers of Lithuanian University of Agriculture*. – 2012. – Vol. 46, № 2–3. – P. 112–126.

2. Кульчицкий А.Р. Водотопливные эмульсии для дизелей / А.Р. Кульчицкий, Б.Ю. Голев, А.М.А. Аття // *Мир транспорта*. – 2011. – № 3 (36). – С. 50–55.

3. Кульчицкий А.Р. Расчетно-экспериментальное определение выброса дисперсных частиц с отработавшими газами дизелей // *Двигателестроение*. – 2005. – № 4. – С. 39–44.

4. Kumar M.S. Effect of water and methanol fractions on the performance of a CI engine using animal fat emulsions as fuel / M.S. Kumar, A. Kerihuel, J. Bellettre, M. Tazerout // *Proceedings of the institution of Mechanical Engineers (IMEchE) Part A: J. Power and Energy*. – 2005. – Vol. 219. – P. 583–592.

5. Subramanian K.A. A comparison of water–diesel emulsion and timed injection of water into the intake manifold of a diesel engine for simultaneous control of NO and smoke emissions // *Energy Conversion and Management*. – 2011. – Vol. 52. – P. 849–857.

### References

1. Attia A.M.A., Kulchitskiy A.R. *Research papers of Lithuanian University of Agriculture*, 2012, Vol. 46, no. 2 3, pp. 112–126, ISBN 1392-1134.

2. Kulchitskiy A.R., Golev B.Y., Attia A.M.A. *Mir Transporta*, 2011, no. 3(36), pp. 50–55, ISSN 1992-3252.

3. Kulchitskiy, A.R.. *Dvigatellestroenie*, 2005, no. 4, pp. 39–44, ISSN 0202-1633.

4. Kumar M.S., Kerihuel A., Bellettre J., Tazerout M. *Proceedings of the institution of Mechanical Engineers (IMEchE) Part A: J. Power and Energy*, 2005, vol. 219, pp. 583–592.

5. Subramanian K.A. *Energy Conversion and Management*, 2011, vol. 52, pp. 849–857.

### Рецензенты:

Гусаков С.В., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Теплотехника и тепловые двигатели», ФГБОУ ВПО «Российский университет дружбы народов» (РУДН) Министерства образования и науки РФ, г. Москва;

Гаврилов А.С., д.т.н., профессор кафедры «Тепловые двигатели и энергетические установки», ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет им. А.Г. и Н.Г. Столетовых» Министерства образования и науки РФ, г. Владимир.

Работа поступила в редакцию 26.09.2013.