

## ВЛИЯНИЕ ВВЕДЕНИЯ ВОДЫ НА СКЛОННОСТЬ К САЖЕОБРАЗОВАНИЮ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Аттиз А.М.А., Кульчицкий А.Р.

<sup>1</sup> ГОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых», 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, e-mail: [ali\\_maattia@yahoo.com](mailto:ali_maattia@yahoo.com), [ark6975@mail.ru](mailto:ark6975@mail.ru)

Выбросы продуктов сгорания топлив с отработавшими газами тепловых двигателей – актуальная проблема, связанная с сохранением здоровья человека и состоянием окружающей среды. Одним из способов решения этой проблемы является применение метода регулирования физико-химических свойств топлив за счет либо применения альтернативных топлив (выделяющих меньше токсичных веществ), либо добавлением к традиционным топливам кислородсодержащих добавок (эфиров, спиртов, биотоплив, воды). Применение водотопливных эмульсий (ВТЭ) обеспечивает, в первую очередь, одновременное снижение оксидов азота ( $\text{NO}_x$ ) и сажи (хотя для большинства мероприятий, направленных на улучшение экологических характеристик двигателей, это невозможно). Фундаментальной перспективной задачей является определение воздействия воды на склонность к сажеобразованию при диффузионном горении многокомпонентного жидкого топлива. Стандартизованным методом оценки склонности топлив к сажеобразованию является измерение максимальной высоты некоптящего пламени (МВНП) при диффузионном горении топлива. При выполнении настоящей работы ВТЭ была приготовлена способом мембранного эмульгирования. В этой работе представлены экспериментальные результаты о влиянии введения воды в виде эмульсии в дизельное топливо на МВНП.

Ключевые слова: склонность к сажеобразованию, максимальная высота некоптящего пламени, водотопливная эмульсия, фитильная лампа, мембранное эмульгирование.

## THE EFFECT OF WATER INTRODUCTION INTO THE DIESEL FUEL ON THE PROPENSITY FOR SOOTING

Attiz A.M.A., Kulchitskiy A.R.

Vladimir State University named after Aleksandr Grigorevich and Nikolay Grigorevich Stoletov, 600000 Vladimir, Str. Gorky, No. 87, e-mail [ali\\_maattia@yahoo.com](mailto:ali_maattia@yahoo.com), [ark6975@mail.ru](mailto:ark6975@mail.ru)

Emissions from fuel combustion from engine exhaust gaseous are considered topical problems associated with preservation of human health and the environment. One of the methods solving these problems is the regulation of the fuel physicochemical properties either by using clean fuels (emitting lower toxic emissions) or by using fuel additives (such as ethers, alcohol, biofuels, and water). The use of fuel emulsion provides, first of all, the simultaneous reduction of nitrogen oxides and soot (even for engines it's not easy to attain this environmental advantage using traditional techniques). The fundamental promising task is the determination of water influence on sooting propensity of multicomponent liquid fuel during diffusion combustion. The standard method for sooting tendency evaluation is the measurement of the diffusion flame smoke point. For performing the current work, the fuel emulsion was prepared using membrane emulsification. In this work experimental results about the effect of water introduction into diesel fuel in the form of emulsion on the smoke point have been introduced.

Key words: Propensity for sooting, smoke point, fuel emulsion, cotton wick lamp, membrane emulsification.

### Введение

Процесс горения в дизелях является гетерогенным (часть компонентов находится в жидкой фазе, а другая в газообразной фазе) диффузионным горением. При этом скорость сгорания в основном определяется скоростью диффузии горючего и окислителя в зону горения (фронт пламени), местоположение которой определяется соотношением между скоростью реакции (скоростью горения) и скоростью диффузионного смешения, причем

реагенты находятся в стехиометрическом соотношении. В зоне топлива вследствие теплопередачи из зоны горения и недостатка окислителя происходит процесс дегидрогенизации с образованием сажи (углерода – твёрдых частиц), оказывающей отрицательное влияние на окружающую среду и здоровье человека. Образование сажи в процессе диффузионного горения в результате пиролиза (термического распада) и окислительного крекинга углеводородных молекул в условиях высоких температур при недостатке кислорода – явление, характерное для диффузионного горения любого топлива [1].

Стандартизованным методом оценки склонности топлив к сажеобразованию в процессе диффузионного горения является измерение высоты диффузионного пламени до появления копоти – или так называемая максимальная высота некоптящего пламени (МВНП). В соответствии с ГОСТ Р 53718-2009 [2] для измерения МВНП жидкого топлива используется фитильная лампа. Чем больше МВНП, тем меньше склонность топлива к сажеобразованию.

### **Цель исследования**

1. Приготовление ВТЭ методом мембранного эмульгирования.
2. Определение влияния содержания воды в топливе на МВНП.

### **Материалы и методы исследования**

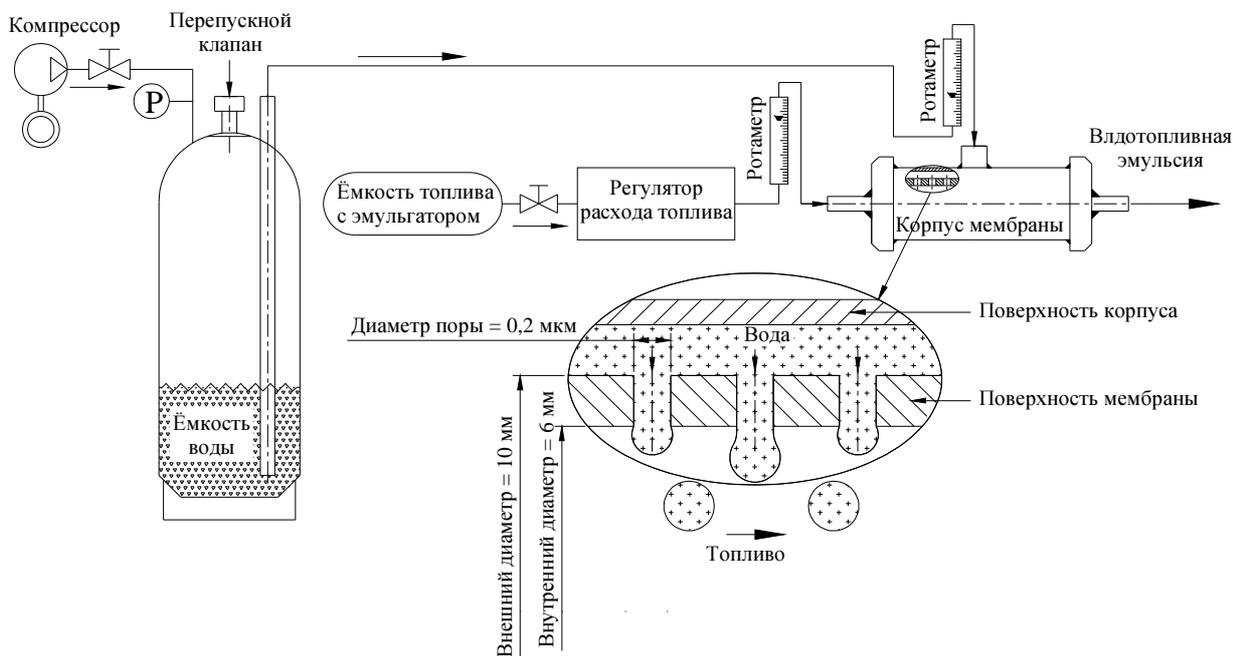
Водотопливная эмульсия была приготовлена с помощью экспериментальной установки, созданной на фирме «Владисарт» (г. Владимир), основанной на принципе мембранного эмульгирования (подробная информация о мембранном эмульгировании приведена в работе [3]). Мембрана представляла собой керамический цилиндр длиной 22 см, с внутренним диаметром 6 мм, внешним диаметром 10 мм, с диаметром пор 0,2 мкм и пористостью 50%. Все эксперименты проводились при ламинарном течении топлива (число Рейнольдса не превышало 500) и протекании воды через поры мембраны (рис. 1).

Эмульсия была стабилизирована против расслоения смесовым эмульгатором (спан-60 и твин-60). Структура эмульсии, средний размер капель воды и их распределение по размерам измерены с помощью анализатора размеров частиц Horiba LB-550 (производство Японии) на основе динамического рассеяния лазерного света.

Степень дисперсности эмульсии определена по коэффициенту дисперсности  $\delta$ , который показывает степень однородности размеров образованных капель:

$$\delta = \frac{D_{90} - D_{10}}{D_{50}},$$

где  $D_{90}$ ,  $D_{50}$  и  $D_{10}$  – диаметры капель, соответствующие 90, 50 и 10 об.% на интегральной кривой распределения по размерам. Чем меньше величина  $\delta$ , тем лучше распределения по размерам (если  $\delta$  меньше 0,5, то эмульсия считается монодисперсной).



**Рис. 1. Экспериментальная установка приготовления ВТЭ.**

Для измерения высоты пламени использована традиционная керосиновая фитильная лампа (прямоугольный фитиль с длиной 20 мм и толщиной 2 мм). Высота пламени измерена визуально с помощью цифровой видеокамеры. Методика определения МВНП – в соответствии с ГОСТ Р 53718-2009. После зажигания лампы в спокойном воздухе, и ожидания не менее 15 мин до стабилизации фитиль медленно поднимается до появления дыма (рис. 2).

Структура получаемого языка пламени содержит три зоны (разные по высоте), из которых только одна определяет МВНП:

- 1 – пламя с удлинённым острым концом и вогнутыми сторонами (А),
- 2 – острый конец исчезает, язык пламени становится слегка закругленным (В),
- 3 – пламя с сильно закругленным концом (С).

### **Результаты исследования и их обсуждение**

Структура одной из ВТЭ характеризуется следующими величинами: симметричное (нормальное) распределение капель воды с величиной  $\delta \approx 0,9$  ( $D_{90} = 1,3$ ,  $D_{50} = 0,82$  и  $D_{10} = 0,55$  мкм) (рис. 3).

Течение топлива внутри цилиндрической мембраны было ламинарным (во всех экспериментах число Рейнолдса не превышает 500), но распределение по размерам не показало несимметричность относительно средней величины. Это означает, что при улучшении динамики течения топлива до высокой турбулентности эмульсия будет монодисперсной с малым размером капель воды [4].

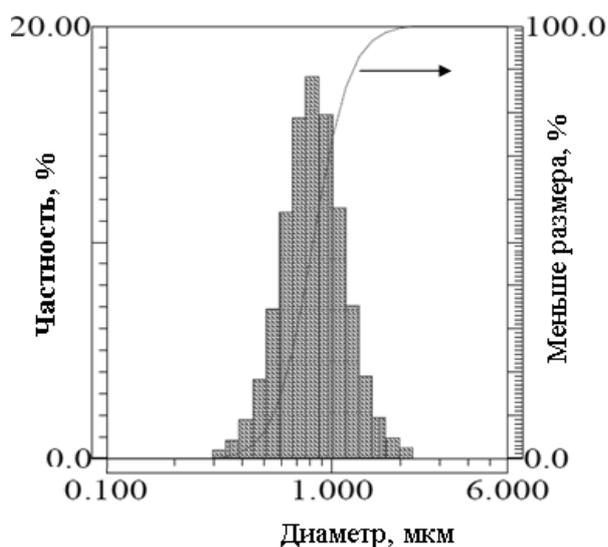
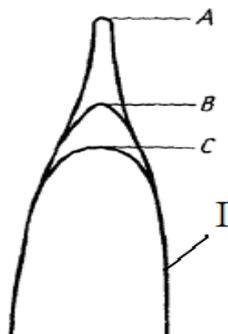


Рис. 2. Структура языка пламени: а) – фотография, б) – схема: А – слишком высокое пламя; В – нормальное; С – слишком низкое; I – основание пламени (пламя ВТЭ при содержании воды 18,6% и эмульгатора 0,5% (ГЛБ=9,6) применением мембраны 0,2 мкм, расхода воды 0,16 л/м и общего расхода эмульсии 0,86 л/м).

Рис. 3. Анализ распределения по размерам капель воды в ВТЭ через 10 дней после ее получения: расход ВТЭ 0,46 л/м, расход воды 0,16 л/м (объемное содержание воды 34,8%; 1% смесового эмульгатора).

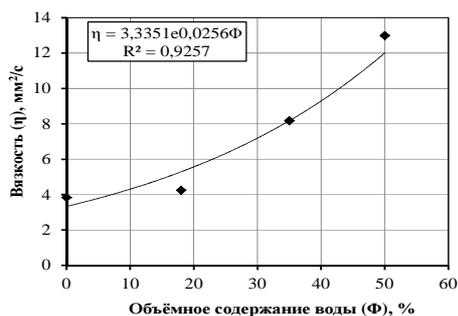
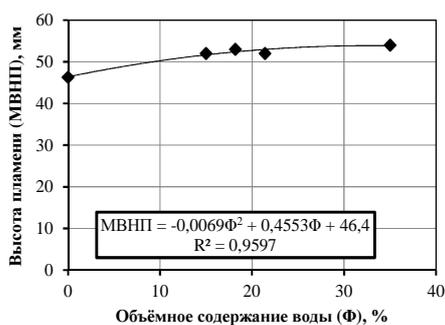


Рис. 4. Изменение вязкости ВТЭ в зависимости от объёмного содержания воды: измерение выполнено при температуре 18 °С с помощью капиллярного стеклянного вискозиметра ВПЖ-2.

Оценка вязкости ВТЭ (параметра, оказывающего большое влияние на процесс распыливания топлива в камере сгорания двигателя) показала, что увеличение содержания воды в эмульсии приводит к значительному повышению вязкости из-за значительного влияния гидродинамического взаимодействия между каплями воды в топливе, повышая коэффициент внутреннего трения и изменяя структуру ВТЭ (рис. 4 – где показаны уравнение и величина достоверности аппроксимации  $R^2$ ).

Величина МВНП измерена визуально как среднее 5 измерений. Введение воды в дизельное топливо в виде эмульсии приводит к возрастанию МВНП при объёмном содержании воды до 25–30%, что указывает на уменьшении склонности к сажеобразованию, но при дальнейшем содержании воды в ВТЭ значение МВНП уменьшается, что свидетельствует об увеличении склонности к сажеобразованию. Следует отметить и возрастание прозрачности пламени по мере увеличения значения МВНП (это совпадает с предыдущим результатом [5]), что также свидетельствует о снижении сажеобразования (рис. 5 – где показаны уравнение и величина достоверности аппроксимации  $R^2$ ).

При диффузионном горении топлив в тепловых двигателях на процессы сажеобразования оказывают дополнительное влияние время процесса, а также значения локальных температуры и турбулентности. Соответственно, оценить влияние каждого из этих факторов в условиях двигателя невозможно, что и отражается в небольшом количестве публикаций по данному вопросу.



**Рис. 5. Изменение высоты некоптящего пламени ВТЭ в зависимости от содержания воды.**

сажеобразование зависит от баланса между необходимым и действительным кислородом – чем больше действительного кислорода в диффузионном пламени, тем меньше вытекающей сажи, т.е. больше МВНП. Таким образом, присутствие кислорода в составе топлива или добавленного кислорода в обогащённой стороне пламени приводит к окислению образованной сажи, соответственно – к снижению сажеобразования.

Таким образом, наличие воды при ламинарном диффузионном горении жидкого топлива имеет следующие главные эффекты:

- снижение локальной температуры в зоне подогрева реагирующих веществ, из-за скрытой теплоты парообразования воды, что приводит к увеличению максимальной высоты некоптящего пламени;

- в зоне подогрева вода термически диссоциирует на активные радикалы (особенно OH и H<sub>2</sub>), что ускоряет окисление образованной сажи. Но поскольку температура снижается, образование активных радикалов тоже экспоненциально снижается. Более того, в зоне пламени протекают реакции водяного пара с углеводородным топливом ( $C_m H_n + m H_2 O \rightarrow m CO + (m + 0,5n) H_2$ ) и реакции газификации несгоревших частиц сажи с водой ( $C + 2 H_2 O \rightarrow CO_2 + 2 H_2$ ). Присутствие водорода из предыдущих реакций оказывает положительное воздействие на протекание процесса сгорания в целом [6].

## Выводы

1. Создана установка приготовления эмульсии воды в дизельном топливе на основе мембранного эмульгирования; получены ВТЭ стабилизированные смесовым эмульгатором из спан-60 и твин-60 со средним размером капель воды от 0,5 до 2,5 мкм и коэффициентом дисперсности от 0,9 до 1,5 с симметричным (нормальным) распределением капель по размерам.
2. С увеличением содержания воды вязкость ВТЭ экспоненциально повышается.
3. С увеличением содержания воды максимальная высота некоптящего пламени повышается за счёт увеличения количества активных радикалов в зоне пламени, приводя к окислению образованных ароматических углеводородов, поэтому суммарный выход сажи снижается (т.е. понижается склонность к сажеобразованию).

## Список литературы

1. Воинов А.Н. Сгорание в быстроходных поршневых двигателях. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1977. – 277 с.
2. ГОСТ Р 53718-2009. Топлива авиационные: метод определения высоты некоптящего пламени / ФГУП Стандартиформ. – М., 2011.
3. Charcosset C., Limayem I., Fessi H. The membrane emulsification process - a review // Society of chemical industry, Journal of Chemical Technology and Biotechnology. – 2004. – Vol. 79. – P. 209-218.
4. Седышева С.А. Разработка технологии эмульгирования жидкостей с применением керамических мембран : автореф. дис. канд. тех. наук. – М., 2011. – 18 с.
5. Toncu D.C., Cignoli F., De Iuliis S., Zizak G., Maffi S., Donde R. Comparative studies of kerosene and water/kerosene combustion // Proceeding of the European Combustion Meeting. – 2011.

б. Горячкин А.В. Влияние содержания влаги в зоне горения на эмиссию оксидов азота и серы  
// Наукові праці Техногенна безпека. – 2004. – Вип. 18. – Т. 31. – С. 27-37.

**Рецензенты:**

Гоц А.Н., д.т.н., профессор кафедры тепловых двигателей и энергетических установок Владимирского государственного университета Министерства образования и науки, г. Владимир.

Гаврилов А.А., д.т.н., профессор кафедры тепловых двигателей и энергетических установок Владимирского государственного университета Министерства образования и науки, г. Владимир.