

ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОДОМАЗУТНОЙ ЭМУЛЬСИИ, ПОЛУЧЕННОЙ В РОТОРНОМ ИМПУЛЬСНОМ АППАРАТЕ

М. А. Промтов, В. Г. Желудков, Н. Ц. Гагапова, А. Ю. Степанов

Кафедра «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность», promptov.ma@mail.tstu.ru; ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия

Ключевые слова: водомазутная эмульсия; вязкость эмульсии; концентрация ванадия; плотность эмульсии; размер частиц эмульсии; роторный импульсный аппарат; содержание серы.

Аннотация: Рассмотрено влияние концентрации воды в водомазутной эмульсии (ВМЭ), полученной в роторном импульсном аппарате, на ее физико-химические характеристики. Установлено, что средний диаметр частиц эмульсии увеличивается при увеличении доли воды в мазуте. С увеличением содержания воды в мазуте растет плотность ВМЭ, так как плотность воды больше плотности мазута. Увеличение содержания диспергированной воды в мазуте также приводит к увеличению вязкости. Вязкость ВМЭ, содержащей 30 % воды, в два раза выше вязкости исходного необработанного судового мазута. Температура вспышки ВМЭ повышается по мере увеличения концентрации воды в топливе. При концентрации воды в эмульсии более 10 % вспышка отсутствует. Концентрация серы уменьшается в 1,7 раза, содержание ванадия снижается более чем в 2,7 раза при увеличении доли воды в ВМЭ до 30 %

Введение

Водотопливные эмульсии (ВТЭ) многие десятки лет рассматриваются как альтернативный вид топлива для двигателей внутреннего сгорания (ДВС), работающих на дизельном топливе или мазуте, котлов для получения горячей воды или пара и других нагревательных устройств [1, 2]. Интерес к применению ВТЭ возрастает в последнее время, так как их использование позволяет улучшить не только энергетические, но и экологические характеристики ДВС и котлоагрегатов: увеличить полноту сгорания топлива, снизить образование вредных веществ при их сжигании [3 – 5], повысить пожаробезопасные свойства топлива, утилизировать загрязненные воды, улучшить товарные свойства обводненных топлив, снизить нагарообразование в двигателях и топках котлоагрегатов [6], а также уменьшить расход топлива [7 – 10]. Несмотря на положительные свойства ВТЭ пока не получили широкого применения из-за их существенных недостатков: расслоения при хранении, необходимости в дополнительных поверхностно-активных веществах (ПАВ) для стабилизации и повышения дисперсности топливной эмульсии, необходимости в модернизации и усложнения систем подачи топлива двигателей и котлоагрегатов, коррозии металлических деталей.

Среди ВТЭ наиболее перспективны водомазутные эмульсии (ВМЭ), так как мазуты в своем составе содержат природные ПАВ, которые хорошо стабилизируют ВМЭ, что позволяет хранить эмульсию длительное время [11]. Обводненные

мазуты, которые часто разогревают «острым паром», можно в дальнейшем использовать как товарное топливо без дополнительных операций по удалению воды, приготовив из них ВМЭ. Кроме того, загрязненную нефтепродуктами воду можно диспергировать в мазуте и получить стабильную ВМЭ.

Теоретическая часть

Важными характеристиками мазутных топлив считаются вязкость и плотность. Вязкость ВМЭ не является аддитивным свойством, то есть не равна сумме вязкостей мазута и воды [12, 13]. Для ВМЭ с концентрацией воды менее 50 % с для расчета динамической вязкости часто применяют формулу Эйнштейна [13]

$$\mu_э = (1 + 2,5В)\mu_м, \quad (1)$$

где $\mu_м$ – динамическая вязкость мазута при заданной температуре, Па·с; В – массовая доля воды в эмульсии.

Существуют также другие расчетные методики для определения вязкости нефтяной эмульсии [12], но с увеличением доли воды их точность снижается.

Для расчета плотности ВМЭ применяют формулу в соответствии с правилом аддитивности [13]

$$\rho_э = \rho_м(1 - В) + \rho_вВ, \quad (2)$$

где $\rho_э$, $\rho_м$, $\rho_в$ – плотности эмульсии, мазута и воды соответственно, кг/м³.

Важной характеристикой ВМЭ является дисперсность – степень раздробленности дисперсной фазы в дисперсионной среде. От дисперсности зависят многие другие свойства эмульсий. Мерой дисперсности является удельная площадь межфазной поверхности капель воды – отношение суммарной площади поверхности капель к их общему объему, м²/м³:

$$S_{уд} = S/V.$$

В первом приближении дисперсность считают приблизительно равной обратной величине среднеарифметического диаметра капель $S_{уд} = 1/d_{ср}$.

Вязкость возрастает с повышением дисперсности эмульсии, но до определенного уровня (0,1 – 0,8 мкм), то есть до состояния микроэмульсии. Таким образом, вязкость ВМЭ также зависит от технологии ее получения [13].

Повышение сернистости мазута выше 0,3 % приводит к усиленной низкотемпературной коррозии поверхностей нагрева ДВС и котлоагрегатов. Содержание серы в мазуте выше 1 – 1,5 % мало сказывается на коррозионной активности продуктов сгорания [13]. Присутствие серы в мазуте ухудшает работу линий подачи мазута, мазутных насосов и подогревателей. Более серьезные проблемы при сжигании сернистого мазута возникают в окружающей среде при выбросе соединений SO_x.

Содержание ванадия в мазуте, как правило, не превышает 0,03 %. При сжигании мазута ванадий переходит в соответствующие оксиды, которые в свою очередь взаимодействуют с оксидами других элементов. В этом процессе образуются сложные соединения, формирующие агрессивные отложения на поверхностях нагрева ДВС и котлоагрегатов, под слоем которых проходит коррозия металла [13].

Экспериментальная часть

Для получения ВМЭ использовали мазут, близкий по фактическим параметрам к судовому топливу IFO-180. Судовые топлива IFO (*англ.* Intermediate Fuel Oil) производятся из остаточных и среднестиллятных нефтепродуктов. Показатели судовых топлив регламентируются ГОСТ Р 54299–2010.

Роторные импульсные аппараты (РИА) широко применяются для приготовления тонкодисперсных эмульсий. Они обеспечивают высокоэффективное перемешивание компонентов эмульсий в непрерывном потоке при небольшом эффективном объеме. Одним из достоинств данного типа оборудования является возможность разрушения межмолекулярных и агрегатных связей в сложных структурных единицах и парафиновой сетке мазута из высокопарафинистой нефти за счет механического, гидродинамического и акустического видов воздействия [14].

Приготовление ВМЭ на основе судового мазута с добавлением воды осуществляли методом циклического перемешивания. Технологическая схема установки на базе РИА представлена на рис. 1. Установка включает в себя РИА-150, шестеренчатый насос, емкость для эмульсии, приборы для измерения расхода, давления и температуры. Вращение валов насоса, РИА регулировалось частотными преобразователями. Обработка осуществлялась перекачиванием эмульсии из емкости насосом под давлением в РИА и обратно в емкость.

Для получения ВМЭ использовалась следующая методика. Подогретое до температуры 60 °С судовое мазутное топливо заливалось в емкость установки. Мазутное топливо прокачивалось через гидравлическую систему установки под давлением

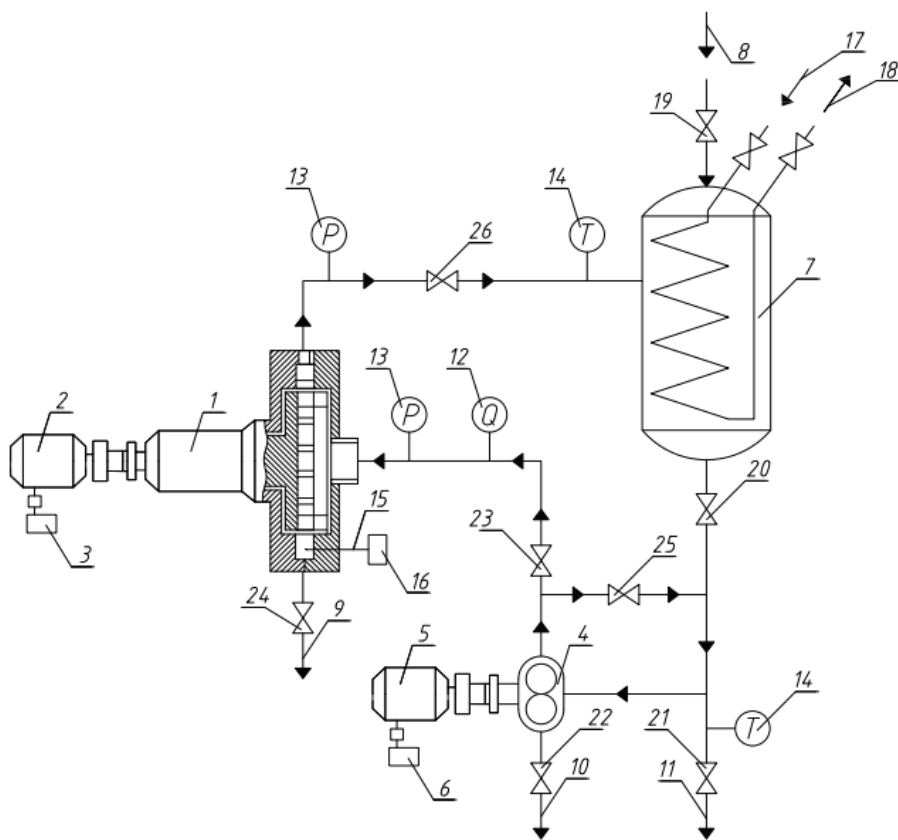


Рис. 1. Технологическая схема установки РИА-150:

- 1 – РИА; 2 – электродвигатель РИА; 3, 6 – частотные преобразователи;
 4 – шестеренчатый насос; 5 – электродвигатель насоса; 7 – емкость для нефти;
 8, 9 – патрубки залива жидкости и отбора проб соответственно; 10, 11 – сливные патрубки;
 12 – счетчик жидкости; 13 – манометры; 14 – датчики температуры; 15 – гидрофон;
 16 – кавитометр; 17, 18 – патрубки подвода и отвода теплоносителя соответственно;
 19 – 26 – шаровые краны

около 0,1 МПа и нагревало гидравлическую систему агрегата до 70 °С. После прогрева установки разогретый мазут выгружался из нее и загружалась новая порция судового мазута, предварительно нагретого до 60 °С, которая также прокачивалась по замкнутому гидравлическому контуру. Затем заданное количество воды медленно заливалось в емкость, чтобы равномерно распределить ее по объему мазута при работающем шестеренчатом насосе с малой подачей и работающим на частоте вращения около 60 об/мин роторе РИА.

Гидравлические параметры определялись при заданной частоте вращения вала электродвигателя насоса, чтобы обеспечить контролируемую подачу жидкости. Основные контролируемые параметры – давление, измеренное на входном патрубке РИА, температура, измеренная на выходном патрубке РИА. Поскольку используемая гидравлическая система закольцована и жидкость перекачивалась по замкнутому контуру, на выходном патрубке РИА давление отсутствовало.

Чтобы обеспечить равномерное распределение грубодисперсной ВМЭ по гидравлической системе, проводили пятикратное циклическое перемешивание в гидравлической системе установки. При обработке эмульсии ротор РИА вращался с частотой 3300 об/мин. Скорость сдвига в зазоре между ротором и статором составляла $26 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ при средней величине зазора между ротором и статором ~0,1 мм. Расход через РИА – 2,2 м³/ч, давление на входе в аппарат – 0,9 МПа. Эмульсия обрабатывалась при 10 циклах прохождения через РИА. Средняя температура мазута и воды до обработки в РИА составляла 60 °С, средняя температура ВМЭ после 10 кратного прохождения через РИА – 66..70 °С.

Для исследований приготовили пять образцов ВМЭ в соотношении вода: судового мазут, кг/кг:

- 1) 5 % ВМЭ – 0,5 : 9,5;
- 2) 10 % ВМЭ – 1,0 : 9,0;
- 3) 15 % ВМЭ – 1,5 : 8,5;
- 4) 20 % ВМЭ – 2,0 : 8,0;
- 5) 30 % ВМЭ – 3,0 : 7,0.

После обработки определяли основные характеристики образцов полученной ВМЭ с разными концентрациями воды, а также характеристики исходного мазута. Параметры плотности и вязкости мазута и ВМЭ представлены в табл. 1. Параметры воды принимались по ГОСТ 21727–76 для температуры 20 °С. При других температурах вязкость и плотность воды определялись по справочным таблицам; плотность мазута при температурах более 15 °С – по рекомендациям МИ 2092-90. Масса мазута в цистернах железнодорожного маршрута. Методика выполнения измерений объемно-массовым методом. Плотность ВМЭ определялась в соответствии с правилом аддитивности (2).

Динамическая вязкость мазута и ВМЭ определялась расчетным методом на основании данных по измерению кинематической вязкости и плотности; расчетная динамическая вязкость ВМЭ – по формуле Эйнштейна (1).

Важным параметром, характеризующим ВМЭ, является размер частиц [15]. После обработки в установке каплю ВМЭ наносили на предметное стекло и затем фотографировали с помощью микроскопа МБ-30 и цифрового фотоаппарата. Определение размеров частиц эмульсии осуществляли с помощью объект-микрометра ОМ-П. Для получения достоверных данных в каждой пробе оценивался диаметр не менее 1000 частиц.

В качестве величины, характеризующей размер частиц ВМЭ, использовали среднеарифметический диаметр сферических частиц воды в мазуте

$$d_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1} d_i n_i}{\sum_{i=1} n_i},$$

где d_i – диаметр i -й частицы в пробе, мкм; n_i – число частиц во фракции с диаметром d_i .

Таблица 1

Измеренные и расчетные параметры исходного макута, воды и ВМЭ

Физические параметры	Мазут		Вода		Водомазутная эмульсия с содержанием воды, %												
	измер.	табл.	измер.	табл.	5		10		15		20		30				
					расч.	Δ, %	измер.	расч.	Δ, %	измер.	расч.	Δ, %	измер.	расч.	Δ, %		
Массовая доля воды, %	0,25	100	5,1	5	2	8,7	10	13	8,7	15	42	15,3	20	23	20,6	30	31
Температура вспышки в закрытом тигле, °С	95		104			отс.			отс.			отс.			отс.		
Среднеарифметический диаметр частиц, мкм	–	–	1	–	–	3	–	–	4	–	–	5	–	–	7	–	–
<i>Вязкость кинематическая, мл/с</i>																	
50 °С	100,2	0,658	104,5			97,4			115,3			111,4			276,2		
80 °С	28,4	0,365	29,3			27,8			31,5			30,7			60,3		
100 °С	15,3	0,294	15,7			15			16,7			16,3			28,7		
<i>Плотность, кг/мл</i>																	
15 °С	964,9	999,1	967,9	966,7	0,1	969,9	968,3	0	969,5	970,0	0	975,0	971,7	0,2	976,2	983,8	
50 °С	946,8	988,0	946,1	948,9		948,1	950,9	0,1	947,1	950,6		953,1	955,0	0,1	954,1	965,3	0,2
80 °С	926,6	971,8	928,0	928,2	0	930,0	931,1	0	929,0	933,4	0,1	935,1	935,8	0	936,1	926,6	
100 °С	913,1	958,36	915,3	915,4		918,3	917,6	0	917,3	919,9		923,3	922,2	0	924,3	928,0	
<i>Вязкость динамическая, мПа·с</i>																	
50 °С	94,87	0,547	98,94	111,3	11	92,35	115,44	20	109,2	150,15	27	106,18	152,3	30	263,52	461,2	
80 °С	26,315	0,355	27,19	30,56	11	25,854	32,3	20	29,264	40,76	28	28,708	43,07	33	56,446	98,8	43
100 °С	13,97	0,282	14,37	16,17	12	13,775	17,2	21	15,319	21,07	27	14,994	22,5	33	26,527	46,43	

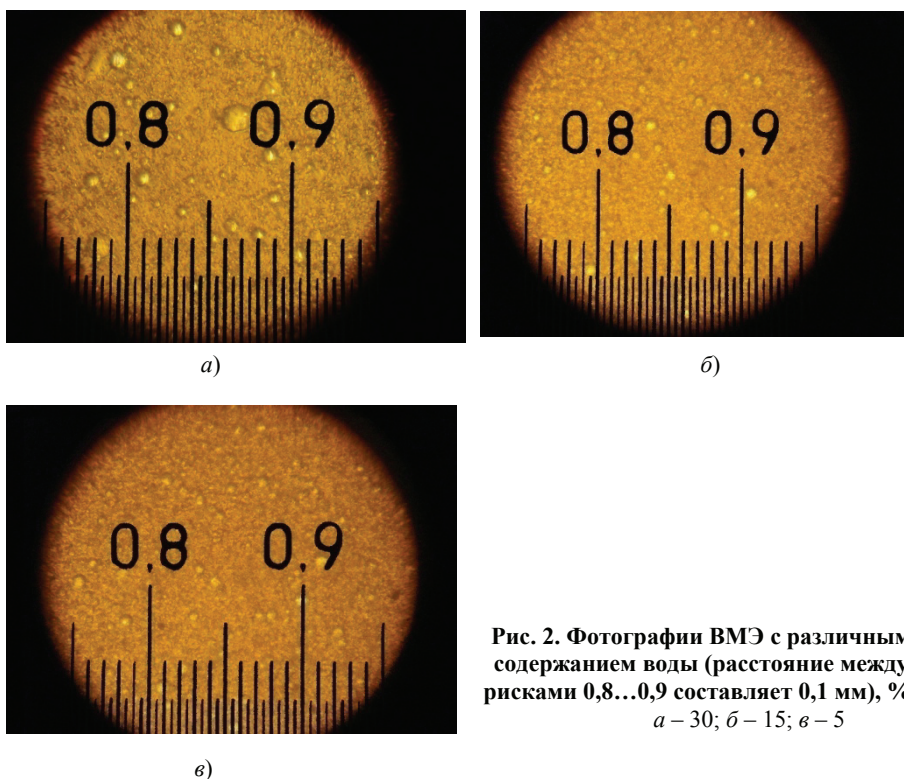


Рис. 2. Фотографии ВМЭ с различным содержанием воды (расстояние между рисками 0,8...0,9 составляет 0,1 мм), %:
a – 30; *б* – 15; *в* – 5

Типичные фотографии образцов ВМЭ показаны на рис. 2. С повышением концентрации воды в эмульсии средний размер частиц увеличивался. Средний размер частиц воды после 10-кратного прохождения через РИА составил: для 5%-й ВМЭ – 1,2 мкм, 15%-й ВМЭ – 4,4 мкм, 30%-й ВМЭ – 7,3 мкм,.

Обсуждение результатов и выводы

Измеренные и расчетные параметры исходного мазута, воды и ВМЭ представлены в табл. 1.

Средний размер частиц эмульсии увеличивается при увеличении концентрации воды в мазуте. Увеличение размеров частиц воды способствует их коагуляции и снижает стабильность ВМЭ. Увеличение среднего размера частиц воды с 1,2 мкм в 5 % ВМЭ до 7,3 мкм в 30 % ВМЭ не является критичным, так как эмульсии со средним размером частиц до 10 мкм достаточно стабильны. Размер капель воды в эмульсии по разному влияет на содержание вредных выбросов при сжигании ВМЭ. Так, эффективность снижения выбросов NO_x растет с увеличением размера капель, а выбросы SO_x и CO_x снижаются при уменьшении размера частиц воды в ВМЭ [9, 11, 15, 16].

С увеличением доли воды в мазуте растет плотность ВМЭ, так как плотность воды больше плотности мазута. Расчетные и измеренные значения плотности практически совпадают, их разность лежит в пределах погрешности измерения. Плотность эмульсии увеличивается с возрастанием доли воды в ВМЭ, что согласуется с данными в работе [5].

Увеличение доли диспергированной воды в мазуте также приводит к увеличению расчетной динамической вязкости в соответствии с формулой Эйнштейна (1). Необходимо отметить, что разница между полученными на основе измерений и расчетными по формуле (1) значениями динамической вязкости ВМЭ увеличивается при увеличении доли воды (до 43 %).

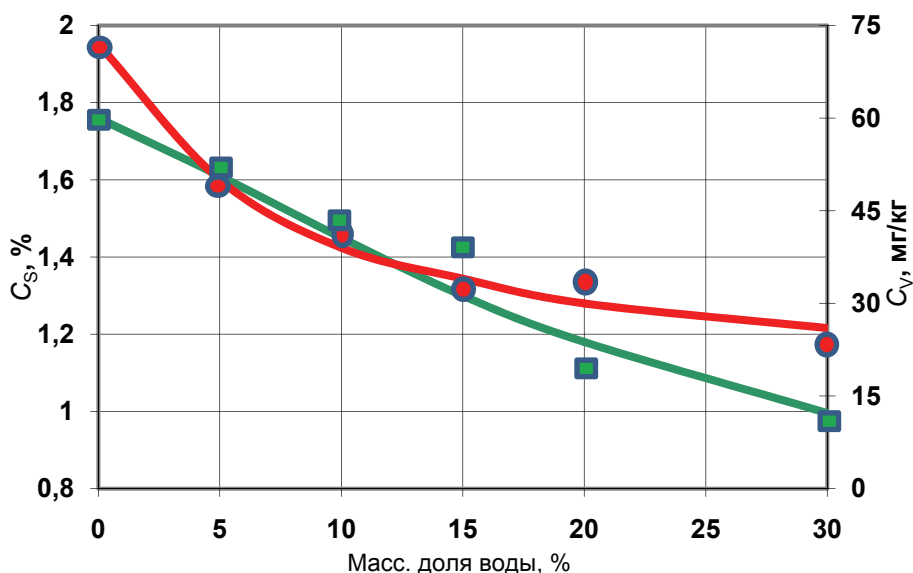


Рис. 3. Зависимости концентрации серы и ванадия от массовой доли воды ВМЭ:
■ – серы, %; ● – ванадия, мг/кг

Исследования по подбору методик расчета вязкости нефтяных эмульсий пока не определили однозначный подход для расчета их вязкости [12].

Одним из показателей пожароопасных свойств топлива является температура вспышки – температура разогрева топлива, при которой пары воспламеняются при приближении к ним источника открытого пламени. Она определяется фракционным составом и зависит от температур кипения и испарения топлива.

Анализ образцов показал, что температура вспышки ВМЭ повышается по мере увеличения доли воды в мазуте. При содержании воды в ВМЭ более 10 % вспышка отсутствует. Это закономерное явление, так как при нагревании в закрытом тигле вода переходит в пар и выше 100 °С пары воды препятствуют образованию горючей смеси паров углеводородных веществ с воздухом. Вероятно, 10 % воды в ВМЭ дает достаточную массу водяного пара в закрытом тигле при нагреве выше 100 °С, чтобы создать негорючую смесь паров.

Концентрации серы и ванадия снизились при увеличении доли воды в ВМЭ (рис. 3). Концентрация ванадия уменьшилась более чем в 2,7 раза, серы – более чем в 1,7 раза. Возможно, эти химические элементы образовывали соединения, которые не определяли при анализе. Водомазутная эмульсия с низким содержанием серы при сжигании обеспечит низкие выбросы SO_x. Также коррозионные свойства ВМЭ становятся более слабыми при уменьшении содержания в топливе серы и ванадия. Температурная коррозия при низком содержании ванадия в топливе также должна быть снижена [5, 13].

Список литературы

1. Корницкий, С. Я. О сжигании обводненных мазутов / С. Я. Корницкий // Известия ВТИ им. Дзержинского. – М., 1935. – № 10. – С. 172 – 176.
2. Иванов, В. М. Топливные эмульсии / В. М. Иванов. – М. : Изд-во АН СССР, 1962. – 216 с.

3. Патров, Ф. В. Снижение концентраций оксидов азота в отработавших газах судовых дизелей при использовании водотопливных эмульсий / Ф. В. Патров, О. С. Вахромеев // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2010. – № 1. – С. 141 – 146.
4. Корниенко, Д. А. Анализ методов снижения содержания вредных веществ в отработанных газах судовых дизелей / Д. А. Корниенко, В. А. Туркин // Вестник гос. морского ун-та имени адмирала Ф. Ф. Ушакова. – 2016. – № 3. – С. 55 – 58.
5. The Potential of a Water-in-Diesel Emulsion for Increased Engine Performance / N. H. Abdurahman, Y. M. Rosli, N. H. Azhari, A. Abdul Adam // MATEC Web of Conferences. – 2016, 70.01003. – 5 p. doi : 10.1051/mateconf/20167001003.
6. Secondary Atomization of Fuel Oil and Fuel Oil / Water Collisions and Impingement on a Solid Wall / A. Islamova, P. Tkachenko, N. Shlegel, G. Kuznetsov // Energies. – 2023. – No. 16. – P. 1008. – URL : <https://doi.org/10.3390/en16021008>
7. Current Trends in Water-in-Diesel Emulsion as a Fuel / M. Y. Khan, Z. A. Abdul Karim, F. Y. Hagos, A. Rashid A. Aziz, I. M. Tan // The Scientific World Journal. – 2014, Article ID 527472. – 15 p. – URL : <http://dx.doi.org/10.1155/2014/527472>
8. Water-In-Oil Emulsion as Boiler Fuel for Reduced NO_x Emissions and Improved Energy Saving / C. Y. Hsuan, S. S. Hou, Y. L. Wang, T. H. Lin // Energies. – 2019. – No. 12. – P. 1002. doi :10.3390/en12061002
9. Water is an Effective Additive to Fuel Oil to Reduce the Concentration of Soot in the Gas Phase / D. Sambaeva, M. Moldobaev, K. Kemelov, Z. Maimekov // MANAS Journal of Engineering. – 2022. – Vol. 10(2). – P. 145 – 150. doi : 10.51354/mjen.1142079
10. Hussany, F. L. Study of a Feeding System for Electric Power Plants Using Alternative Fuels (Energy Emulsions) / F. L. Hussany, D. J. Jasim // Journal of Engineering Research. – 2023. – No. 11. – P. 219 – 226. – URL : <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.100069>
11. Water/Heavy Fuel Oil Emulsion Production, Characterization and Combustion / M. Alaa, S. Soulayman, T. Abdelkarim, Z. Walid // Int. Journal of Renewable Energy Development. – 2021. – Vol. 10, No. 3. – P. 597 – 605. doi : 10.14710/ijred.2021.34873
12. Шестаков, Р. А. Анализ реологических свойств водонефтяных-эмульсий / Р. А. Шестаков, А. А. Дульченко // Neftegaz.RU. – 2022. – № 12, декабрь. – URL : <https://magazine.neftgaz.ru/articles/transportirovka/764898-analiz-reologicheskikh-svoystv-vodoneftyanykh-emulsiy/>
13. Белосельский, Б. С. Подготовка и сжигание высокоподогретых мазутов на электростанциях и в промышленных котельных / Б. С. Белосельский, Б. Ф. Глухов. – М. : Изд-во МЭИ, 1993. – 72 с.
14. Промтов, М. А. Методы расчета характеристик роторного импульсного аппарата / М. А. Промтов, А. Ю. Степанов, А. В. Алешин. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2015. – 148 с.
15. Niszczota, P. Study of the Droplet Size of the Discrete Phase of a Fuel-Water Emulsion / P. Niszczota, M. Gieras // Journal of KONBiN. – 2023. – Vol. 53, No. 4. doi : 10.5604/01.3001.0054.1751
16. Samoilenko, D. Improving the Performance of Diesel Engines Fueled with Water-Fuel Emulsion / D. Samoilenko, A. Savchenko, S. Kravchenko // Combustion Engines. – 2023. – Vol. 194, No. 3. – P. 116 – 122. – URL : <https://doi.org/10.19206/CE-169139>

Characteristics of a Water-Oil Emulsion Obtained in a Rotor-Stator Device

M. A. Promtov, V. G. Zheludkov, N. Ts. Gatapova, A. Yu. Stepanov

*Department of Technological Processes, Devices and Technosphere Safety,
promtov.ma@mail.tstu.ru; TSTU, Tambov, Russia*

Keywords: water-oil emulsion; emulsion viscosity; vanadium concentration; emulsion density; emulsion particle size; rotor-stator device; sulfur content.

Abstract: The paper considers the influence of water concentration in a water-oil emulsion (WOE) prepared in a rotor-stator device on its physicochemical characteristics. It has been established that the average particle diameter of the emulsion increases with increasing proportion of water in the fuel oil. With increasing water content in oil, the density of WOE increases, since the density of water is greater than the density of oil. An increase in the content of dispersed water in fuel oil also leads to an increase in viscosity. The viscosity of WOE containing 30 % water is two times higher than the viscosity of the original untreated marine fuel oil. The flash point of WOE increases as the concentration of water in the fuel increases. When the water concentration in the emulsion is more than 10 %, there is no flash. The sulfur concentration decreased by 1.7 times, the vanadium content decreased by more than 2.7 times with an increase in the proportion of water in the WOE up to 30 %.

References

1. Kornitskiy S.Ya. [On the burning of watered fuel oil], *O szhiganii obvodnennykh mazutov Izvestiya VTI im. Dzerzhinski* [News of VTI named after Dzerzhinsky], 1935, no. 10. pp. 172-176. (In Russ., abstract in Eng.)
2. Ivanov V.M. *Toplivnye Emulsii* [Fuel emulsions], Moscow: Izdatelstvo AN SSSR, 1962, 216 p. (In Russ.)
3. Patrov F.V., Vakhromeev O.S. [The reduction of nitrogen oxide concentration in exhaust gases of ship diesel engines applying oil-to-water emulsions], *Snizhenie koncentracij oksidov azota v otrabotavshih gazah sudovykh dizelej pri ispol'zovanii vodotoplivnykh emul'sij, Vestnik AGTU. Ser. Moorskaya tekhnika i tekhnologiya* [Bulletin of the ASTU. Ser.: Marine engineering and Technology], 2010, no. 1, pp. 141-146. (In Russ., abstract in Eng.)
4. Kornienko D.A., Turkin V.A. [Analysis of methods for reducing the content of harmful substances in the exhaust gases of marine diesel engines], *Ekspluatatsiya, bezopasnost i ekonomika vodnogo transporta* [Operation, safety and economics of water transport], 2016, no. 3, pp. 55-58. (In Russ., abstract in Eng.)
5. Abdurahman N.H., Rosli Y.M., Azhari N.H., A. Abdul Adam. The Potential of a Water-in-Diesel Emulsion for Increased Engine Performance. *MATEC Web of Conferences*. 2016, 70.01003, 5 p. doi: 10.1051/mateconf/20167001003. (In Russ.)
6. Islamova A., Tkachenko P., Shlegel N., Kuznetsov G. Secondary Atomization of Fuel Oil and Fuel Oil/Water Collisions and Impingement on a Solid Wall. *Energies*. 2023, 16, 1008. URL: <https://doi.org/10.3390/en16021008> (In Russ.)
7. Khan M.Y., Abdul Karim Z.A., Hagos F.Y., Rashid A., Aziz A., Tan I.M. Current Trends in Water-in-Diesel Emulsion as a Fuel. *The Scientific World Journal*. 2014, Article ID 527472, 15 p. URL: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/527472> (In Russ.)

8. Hsuan C. Y., Hou S. S., Wang Y.L., Lin T.H. Water-In-Oil Emulsion as Boiler Fuel for Reduced NO_x Emissions and Improved Energy Saving. *Energies*. 2019, 12, 1002. doi:10.3390/en12061002 (In Russ., abstract in Eng.)
9. Sambaeva D., Moldobaev M., Kemelov K., Maimekov Z. Water is an effective additive to fuel oil to reduce the concentration of soot in the gas phase. *MANAS Journal of Engineering*. 2022, vol. 10(2), pp. 145-150. doi: 10.51354/mjen.1142079 (In Russ., abstract in Eng.)
10. Hussany F. L., Hussany F. L., Jasim D. J. Study of a feeding system for electric power plants using alternative fuels (energy emulsions). *Journal of Engineering Research*. 2023, 11, pp. 219-226. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.100069> (In Russ., abstract in Eng.)
11. Alaa M., Soulayman S., Abdelkarim T., Walid Z. Water/heavy fuel oil emulsion production, characterization and combustion. *Int. Journal of Renewable Energy Development*. 2021, 10(3), pp. 597-605. doi: 10.14710/ijred.2021.34873 (In Russ., abstract in Eng.)
12. Shestakov R. A., Dulchenko A. A. Analysis of the rheological properties of water-oil emulsions. *Neftegaz.RU*, 2022, no. 12, Desember. URL: <https://magazine.neftgaz.ru/articles/transportirovka/764898-analiz-reologicheskikh-svoystv-vodoneftnyanykh-emulsiy/> (In Russ., abstract in Eng.)
13. Belosel'ski B.S., Gluhov B.F. *Podgotovka i szhiganie vysokopodogretykh mazutov na elektrostanciyakh i v promyshlennykh kotel'nykh* [Preparation and combustion of highly heated fuel oil in power plants and industrial boilers]. Moscow: Izdatel'stvo MEI, 1993, 72 p. (In Russ.)
14. Promptov M.A., Stepanov A.Yu., Aleshin A.V. *Metody rascheta kharakteristik rotornogo impul'snogo apparata* [Methods of calculating the characteristics of a rotor-stator device], Tambov: Izdatel'stvo TGTU, 2015, 148 p. (In Russ.)
15. Niszczota P., Gieras M. Study of the droplet size of the discrete phase of a fuel-water emulsion. *Journal of KONBiN*. 2023, vol. 53, no. 4. doi: 10.5604/01.3001.0054.1751 (In Russ., abstract in Eng.)
16. Samoilenko D., Savchenko A., Kravchenko S. Improving the performance of diesel engines fueled with water-fuel emulsion. *Combustion Engines*, 2023, vol. 194, no. 3, pp. 116-122. URL: <https://doi.org/10.19206/CE-169139> (In Russ., abstract in Eng.)

Eigenschaften der in einem rotierenden Impulsapparat hergestellten Wasser-Öl-Emulsion

Zusammenfassung: Es ist der Einfluss der Wasserkonzentration in einer Wasser-Heizöl-Emulsion (WME), die in einem Rotationsimpulsgerät erhalten wird, auf deren physikalisch-chemischen Eigenschaften betrachtet. Es ist festgestellt, dass die durchschnittliche Partikelgröße der Emulsionspartikel mit zunehmendem Wasseranteil im Heizöl zunimmt. Mit steigendem Wassergehalt im Heizöl nimmt die Dichte von VME zu, da die Dichte von Wasser größer ist als die Dichte von Heizöl. Die Erhöhung des Gehalts an dispergiertem Wasser im Heizöl führt auch zur Erhöhung der Viskosität. Die Viskosität von VME mit 30 % Wasser ist doppelt so hoch wie die Viskosität des ursprünglichen unbehandelten Schiffskraftstofföls. Der Flammpunkt von VME steigt mit zunehmender Wasserkonzentration im Kraftstoff. Wenn die Wasserkonzentration in der Emulsion mehr als 10 % beträgt, kommt es zu keinem Flash. Die Schwefelkonzentration nahm um das 1,7-fache ab, der Vanadiumgehalt sank um mehr als das 2,7-fache mit zunehmendem Wasseranteil im VME bis zu 30 %.

Caractéristiques de l'émulsion eau-mazout obtenue dans un appareil à impulsions rotatives

Résumé: Est examiné l'effet de la concentration d'eau dans l'émulsion de lubrifiant à base d'eau (ELE) obtenue dans un appareil à impulsions rotatives sur ses caractéristiques physico-chimiques. Est constaté que la diamètre moyenne des particules de l'émulsion augmente avec l'augmentation de la proportion d'eau dans le mazout. Avec l'augmentation de la teneur en eau dans le mazout, la densité de VM augmente, car la densité de l'eau est supérieure à celle du mazout. L'augmentation de la teneur en eau dispersée dans le mazout entraîne également une augmentation de la viscosité. La viscosité de l'ELE contenant 30 % d'eau est deux fois supérieure à celle du mazout marin brut d'origine. Le point d'éclair de l'ELE augmente à mesure que la concentration d'eau dans le carburant augmente. Lorsque la concentration d'eau dans l'émulsion est supérieure à 10 %, il n'y a pas d'éclair. La concentration de soufre a diminué de 1,7 fois, la teneur en vanadium a diminué de plus de 2,7 fois avec une augmentation de la proportion d'eau dans l'ELE jusqu'à 30 %.

Авторы: *Промтов Максим Александрович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»; *Желудков Владимир Геннадьевич* – аспирант кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность»; *Гатапова Наталья Цибиковна* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность», *Степанов Андрей Юрьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технологические процессы, аппараты и техносферная безопасность», ФГБОУ ВО «ТГТУ», Тамбов, Россия.