



ИССЛЕДОВАНИЕ ВОДО-МАЗУТНОЙ ЭМУЛЬСИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ДИСПЕРГАТОРА ВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ

А.А. Баубек¹, А.М. Грибков², М.Г. Жумагулов¹, С.А. Глазырин¹, М.В. Долгов^{1*}

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва, г. Нур-Султан,
Республика Казахстан

²Казанский государственный энергетический университет, г. Казань, Россия

Резюме: ЦЕЛЬ. Разработать аппарат для волновой обработки обводненного мазута и подготовки водомазутной эмульсии к сжиганию. Представить схему инновационного вихревого горелочного устройства для сжигания водомазутной эмульсии. Провести обзор существующего оборудования для подготовки эмульсии высокого качества. Опровергнуть необходимость в принудительной дегидратации мазута для качественного сжигания в горелочных устройствах. Представить данные по выбору материала для изготовления корпуса диспергатора с учётом требований к коррозионностойкости, а также устойчивости к кавитации и износостойкости. Разработать экспериментальную установку для подготовки водомазутной эмульсии к сжиганию в вихревом горелочном устройстве. Провести анализ с целью выявления соотношений преобразования физико-химических свойств водомазутной эмульсии (седиментационная и агрегативная устойчивость, структурная вязкость) от температуры и объёма в них воды. МЕТОДЫ. При решении поставленной задачи использовались теоретические методы определения вязкости и плотности, а также экспериментально, посредством использования капиллярного вискозиметра, были получены результаты в разных диапазонах изменения температуры подготовки эмульгированного топлива. Применялся метод оценки осветления ВМЭ для оценки седиментационной устойчивости с обязательной выдержкой в стеклянных цилиндрах в статистическом состоянии. РЕЗУЛЬТАТЫ. Приготовление ВМЭ обусловлено нормированием содержания воды. Фактор частичной потери влаги на предприятии во время подготовки эмульсии можно рассматривать как положительное явление побочного обезвоживания. Получены данные по плотности водомазутной эмульсии в зависимости от концентрации воды при температуре 70 °С. Выполнен анализ зависимости стабильности эмульсии на основе мазута М-100 от времени отстоя при 20 °С. ВЫВОДЫ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Представленный волновой диспергатор экспериментально демонстрирует высокие качественные показатели подготовки ВМЭ. По результатам экспериментов доказано присутствие значительного численного увеличения части с размером 10 мкм, а также проявляется минимальное преобразование частиц дисперсной фазы размером 1,25 мкм в направлении размеров частиц 2,5 мкм. При использовании диспергатора волновой обработки получают стабильные водо-мазутные эмульсии, пригодные для применения в энергетике в качестве топлива.

Ключевые слова: мазут, водомазутная эмульсия, диспергатор, капиллярный вискозиметр.

Благодарности: Работа, по результатам которой выполнена статья, выполнена при финансовой поддержке гранта по теме «Разработка горелочного устройства для сжигания водо-мазутной эмульсии (ВМЭ)», № государственной регистрации 0112РК02283, РК

Для цитирования: Баубек А.А., Грибков А.М., Жумагулов М.Г., Глазырин С.А., Долгов М.В. Исследование водо-мазутной эмульсии при использовании диспергатора волновой обработки // Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2021. Т. 23. № 1. С. 68-79. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-1-68-79.

STUDE OF WATER-OIL EMULSION USING WAVE TREATMENT DISPERSANT

AA. Baubek¹, AM. Gribkov², MG. Zhumagulov¹, SA. Glazyrin¹, MV. Dolgov^{1*}

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan

²Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia

Abstract: *THE PURPOSE.* To develop an apparatus for wave treatment of water-fuel oil and preparation of water-fuel emulsion for combustion. To present a scheme of an innovative vortex burner device for water-oil emulsion combustion. To review existing equipment for preparation of high quality emulsion. Refute the necessity of forced dehydration of fuel oil for high-quality combustion in burners. To present data on the choice of material for manufacturing the dispersant body, taking into account the requirements for corrosion resistance, as well as resistance to cavitation and wear resistance. To develop an experimental setup for the preparation of water-oil emulsion for combustion in a vortex burner. To conduct an analysis to identify the relationship of transformation of physical and chemical properties of water-oil emulsion (sedimentation and aggregative stability, structural viscosity) from temperature and volume of water in them. *METHODS.* Theoretical methods of viscosity and density determination were used in solving the problem and results were obtained experimentally, by using a capillary viscometer, in different temperature ranges of emulsified fuel preparation. A method was used to assess the clarification of the WFE to evaluate the sedimentation stability, with compulsory conditioning in glass cylinders in a statistical state. *RESULTS.* The preparation of WOE is conditioned by the water content rationing. The factor of partial loss of moisture at the plant during emulsion preparation can be considered as a positive side effect of dewatering. Data on the density of water-oil emulsion depending on the concentration of water at 70 °C has been obtained. The analysis of dependence of stability of emulsion based on fuel oil M-100 from time of settling at 20 °C is made. *CONCLUSION.* The presented wave dispersant experimentally demonstrates a high quality of VME preparation. Experimental results prove the presence of a significant numerical increase of the 10 µm particle size, as well as a minimum conversion of 1.25 µm particles towards the 2.5 µm particle size. The use of wave treatment dispersant results in stable water-oil emulsions suitable for use as fuels in the power industry.

Keywords: fuel oil, water-oil emulsion, dispersant, capillary viscometer.

Acknowledgments: The work on which the article was based was supported by a grant on "Development of a heating device for burning water-oil emulsion (WFE)", state registration number 0112RK02283, RK.

For citation: Baubek AA., Gribkov AM., Zhumagulov MG., Glazyrin SA., Dolgov MV. Stude of water-oil emulsion using wave treatment dispersant. *Power engineering: research, equipment, technology.* 2021;23(1):68-79. doi:10.30724/1998-9903-2021-23-1-68-79.

Введение и литературный обзор

Задача о чистом сжигании углеводородных топлив решается не один десяток лет, в результате чего был накоплен огромный научный и экспериментальный опыт, однако научно-исследовательские работы в этом направлении не прекращаются. Немаловажным параметром остается стехиометрический состав горючей смеси. В результате завихрения потока подачи топлива и окислителя увеличивается длина свободного пробега, а также и их пребывание в канале горелки.

После отделения воды от нефти в осадочные резервуары, часть нефти сбрасывается вместе с водой в виде эмульсии и загрязняет сточные воды. При использовании остатков топлива высокой вязкости в котельных в виде жидкого топлива возникают трудности при приготовлении их к сжиганию. В большинстве эксплуатируемых, проектируемых, промышленных и отопительных котельных подогрев остатков горюче-смазочных материалов, доставляемых в железнодорожных цистернах, обеспечивается с помощью водяного пара, который приводит к содержанию воды в топливе к широкому диапазону изменений (от 5 до 20%). Сжигание вызывает нарушение процесса горения (вплоть до угасание пламени) и уменьшает экономическую эффективность топливных установок. Создание водомазутной эмульсии со стабильной степенью однородности позволяет добиться эффективного сжигания смеси без разделения топлива и воды при увеличении экологических показателей [1].

Вихрь дает возможность прореагировать практически всему топливу. Более того, в результате смешивания топлива и окислителя, с учетом правильной стехиометрии, образуется равномерная горючая смесь, которая будет практически полностью сгорать в канале горелки. Рис. 1 иллюстрирует горелочное устройство, спроектированное для сжигания водомазутной эмульсии (ВМЭ) с переменным содержанием влаги до 30% [2].



Рис. 1. Горелочное устройство для сжигания ВМЭ
Fig.1. Burner device for VME combustion

При организации подготовки топлива для сжигания в мазутных котельных основное значение приобретает обеспечение эффективности и надёжности работы горелочных устройств. Возникает острая проблема с подготовкой топливной смеси к сжиганию, обусловленная многими факторами, наряду с экономическими, которые не удовлетворяют в достаточной мере все необходимые показатели топлива перед непосредственным сжиганием [3].

Для подготовки водо-мазутной эмульсии к сжиганию в вихревой горелке, обеспечивающей устойчивый вихрь на стадии смешения и предварительного возгорания, требуется определение конструкции диспергатора. Основной задачей в работе является исследование реологических и седиментационных свойств водо-мазутной эмульсии.

Данное исследование направлено на изучение свойств ВМЭ, подготовленной посредством использования диспергатора волновой обработки. При подготовке водотопливных эмульсий огромное значение приобретает качественный выбор устройств для приготовления ВМЭ. Существует несколько критериев для определения качества эмульсий. Одним из самых значимых является дисперсность, которая оказывает прямое воздействие на электропроводность, вязкость и устойчивость эмульсии. В массе топлива вода распределяется равномерно и с увеличением количества капель воды в топливе и уменьшением её размеров возрастает дисперсность, что напрямую влияет на качество получаемой эмульсии.

Основываясь на неправильных представлениях о стабильности эмульсий, многие исследователи, как выяснилось, используют термин "смешивание", несмотря на то, что используемая ими технология - это эмульгирование. Хотя смешивание топлива удобно для топлива, имеющего относительно схожую температуру кипения, для топливных смесей с различной температурой кипения следует применять метод эмульгирования, чтобы выгода от микроразрыва могла быть отражена в распылении топлива. Вторичное распыление в результате микро-взрыва эмульгированного топлива и оксигенация топлива отвечают за улучшение процесса сгорания, характеристик и выбросов CO. Скрытая теплота испарения, как выяснилось, отвечает за сокращение выбросов NOx. Скорость уменьшения NOx пропорциональна процентному соотношению количества воды в эмульсии. [4].

Экспериментальные исследования влияния эмульсионных топлив на сгорание, производительность и эмиссию уже проводились ранее. Характеристики эмульсии определялись с помощью оптического электронного микроскопа, проводились испытания на стабильность эмульгирования [5].

Наблюдалось изменение температуры и диаметра капель во времени. Сжигание капель эмульсии было разделено на четыре стадии, при этом характеристики каждой стадии мало варьировались в зависимости от соотношения объема воды [6].

Проблемы образования эмульсии в воде и стабильности эмульгированной нефти во время хранения решались с помощью лазерного дифракционного анализатора размера частиц, анализа изображений и определения объема нефтяной эмульсии [7].

Проведены исследования по установлению влияния параметров неоднородной системы на интенсивность эмульгирования при комплексном воздействии механических

перемешивающих и ультразвуковых колебаний. Использовались методы аналитического обзора результатов ультразвуковой эмульсификации неоднородных систем, аналитическое исследование распространения колебаний ультразвукового диапазона через слой двухкомпонентной эмульсии, экспериментальное исследование эмульсификации несмешивающихся жидкостей при механическом перемешивании в поле действия ультразвуковых колебаний [8].

Принцип работы оборудования для получения эмульсии с высокой степенью качества основывается на явлении кавитации. Одним из возможных вариантов подготовки обводнённого мазута с содержанием влаги до 20% является применение гидродинамических кавитаторов, которые зарекомендовали себя при применении с размером частиц не более 10 мкм в аспекте значительного увеличения скорости горения. Эффект кавитационной обработки является перспективным с точки зрения использования ВМЭ микронного размера. Согласно экспериментальным исследованиям, в небольших частицах эмульсии осуществляется вскипание воды с образованием более мелких элементов за счёт дробления частиц. При сгорании образуется значительно меньшее количество промежуточных продуктов. Анализ технологии выявляет одним из недостатков энергоёмкость осуществления процесса измельчения при подготовки обводнённого мазута [9].

Содержащий твёрдые компоненты обводнённый мазут обладает повышенной температурой вспышки, а также имеет иные отклонения от стандартов, влияет на загрязнение поверхности нагрева, дестабилизирует процесс горения, нарушает полноту сгорания топлива, образует обрывы факела вплоть до аварийной остановки оборудования. Традиционные методы хранения и перекачки подразумевают получение потребителем мазута с превышенным содержанием влаги [10].

В механических аппаратах получают однородные растворы. Также применяются коллоидные мельницы, роторные аппараты, использующие за основу центробежные насосы. Ультразвуковые аппараты используются для измельчения частиц посредством разрушения связи между частицами молекул [11-13].

Главной отличительной особенностью всех вышеперечисленных устройств является сложность конструкции, вследствие чего появляется необходимость дополнительного сервисного обслуживания и в отдельных случаях подключения к постоянным источникам питания.

Недостатки вышеперечисленных диспергаторов ВМЭ устраняются при использовании диспергатора волновой обработки ВМЭ, который подробно описан ниже. Принцип работы диспергатора волновой обработки основан также на эффекте кавитации.

Материалы и методы

Плотность ВМЭ. ВМЭ является композиционной смесью из двух жидкостей различных плотности, поэтому плотность определяется по формуле

$$\rho_{\text{ВМЭ}} = \rho_{\text{м}} \cdot T_{\text{м}} + \rho_{\text{в}} \cdot T_{\text{в}} \quad (1)$$

где $\rho_{\text{ВМЭ}}$ - плотность ВМЭ, кг/м³; $\rho_{\text{м}}, \rho_{\text{в}}$ - соответственно плотность мазута и воды; кг/м³; $T_{\text{м}}, T_{\text{в}}$ - доля в водомазутной эмульсии мазута и воды соответственно.

Определили плотность мазута марки М-100 и воды при температуре 70 °С. При 70 °С $\rho_{\text{м}} = 935,5$ кг/м³; $\rho_{\text{в}} = 971,6$ кг/м³.

Уравнение гидродинамики с вязкостью η через капилляр вискозиметра для определения стационарного течения жидкости (формула Пуазейля):

$$Q = \frac{\pi R^4 p}{8\eta L} \Rightarrow \eta = \frac{\pi R^4 p}{8QL} \quad (2)$$

где Q – протекающее через капилляр капиллярного вискозиметра количество жидкости в единицу времени, м³/с; R – радиус капилляра вискозиметра, м; L – длина капилляра вискозиметра, м; p - разность давлений на концах капилляра капиллярного вискозиметра, Па; η – вязкость жидкости, Па·с;

В приведённом конкретном случае обосновывается использование формулы Пуазейля для ламинарного потока жидкости, когда на границе стенка капилляра

вискозиметра – граница жидкости отсутствует скольжение. При помощи данного уравнения определяется вязкость.

Применялся метод оценки осветления ВМЭ для оценки седиментационной устойчивости с обязательной выдержкой в стеклянных цилиндрах в статистическом состоянии.

Процесс сгорания С в СО и в последствии СО в СО₂ характерен для ВМЭ в силу содержания в нём водяных паров в большом количестве. Возможность использования стоков мазутных резервуаров обусловлена эмульгированием обводнённых жидких углеводородов. Наблюдается стабильное горение ВМЭ при объёмном содержании воды до 50% [14].

На рис. 2 изображены детали диспергатора, на рис. 3 корпус диспергатора и сегнерово колесо, на рис 4. диспергатор в сборе. Конструкция диспергатора представляет аппарат для волновой обработки обводненного мазута, сделанного на заводе в Казахстане.



Рис. 2. Детали диспергатора
Fig.2. Dispersant Details



Рис. 3. Корпус диспергатора и сегнерово колесо
Fig.3. Dispersant housing and Segner wheel



Рис. 4. Диспергатор в сборе
Fig.4. Dispersant assembly

В диспергаторе волновой обработки водомазутная эмульсия гомогенизируется за счет процесса кавитации, поэтому при изготовлении диспергатора необходимо выбрать материал, соответствующий ряду требований:

- корпус и рабочие органы диспергатора должны быть коррозионностойкими;
- устойчивость к кавитации и износостойкость.

Нержавеющие стали хорошо подходят к этим требованиям. На рис. 5 изображены составы для изготовления корпуса диспергатора - сталь марки 03X16H15M3, для сегментового колеса – сталь марки 12X13.

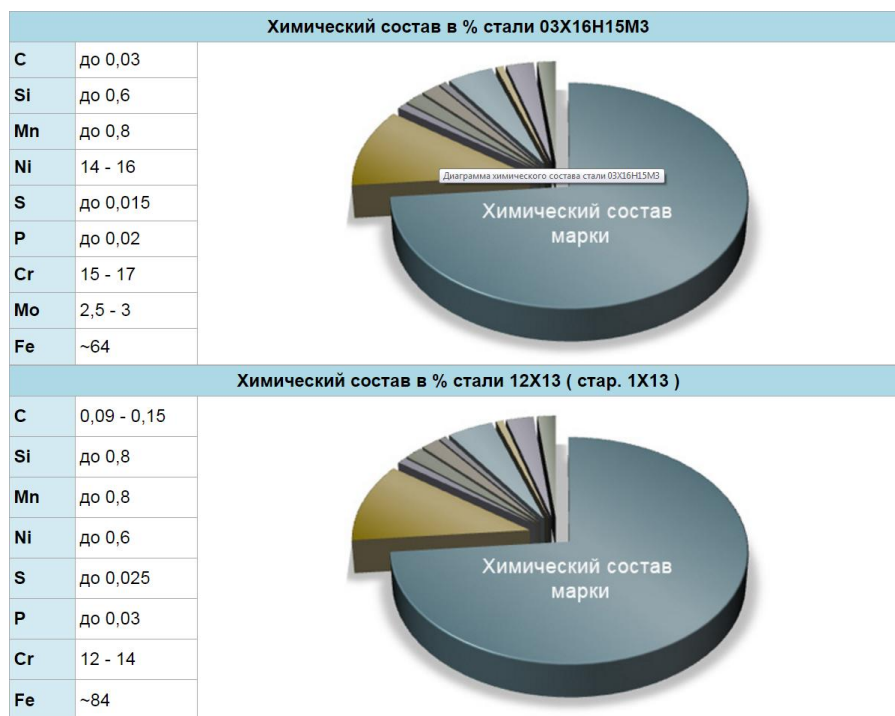


Рис. 5. Составы выбранных сталей
Fig.5. Compositions of selected steels

Стадии сжигания предшествует гомогенизация водотопливной смеси при помощи диспергатора.

Процесс подготовки топлива. Мазут и вода добавляются (соответственно 80 % и 20 %) в бак с топливом. В баке водомазутная смесь нагревается электрическим нагревателем расположенным внутри бака в соответствии с рис. 6.



Рис.6. Бак с топливом и электрическим нагревателем
Fig.6. Fuel tank with electric heater

Для подготовки ВМЭ вентили 1 и 2 переводятся в открытое положение. Запускается насос 4 подачи смеси в диспергатор 3 как показано на рис. 7. Смесь воды и

мазута, проходя через диспергатор, гомогенизируется и получается готовая водомазутная эмульсия. Давление этого цикла отображается на манометре 5 и составляет 2 атм. При циркуляции по циклу ВМЭ прогревается и гомогенизируется. Продолжительность процесса диспергации 10-15 минут. После подготовки и подогрева эмульсии прогревается труба для подачи топлива в горелку. Для этого отключается насос 4 и перекрывается вентиль 1.

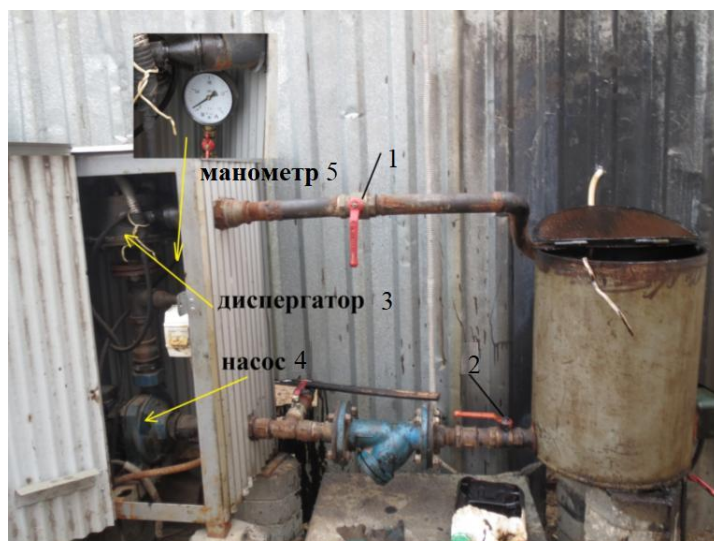


Рис. 7. Подготовка ВМЭ

1, 2 – вентили; 3 – насос; 4 – диспергатор; 5 – манометр

Fig.7. VME preparation: 1, 2- valves, 3- pump, 4- dispersant, 5- pressure gauge

Далее при открытии вентилей 1, 2 и включении насоса 3, прогревается труба подачи топлива приблизительно 3 минуты в соответствии с рис. 8.

После подогрева топлива до нужной температуры и прогрева трубопровода, отключается насос подачи ВМЭ 10, перекрывается вентиль 6.



Рис. 8. Прогрев топливопровода

1, 2 – вентили; 3 – насос

Fig.8. Heating of the fuel line

1, 2—valves, 3- pump

Проведённый анализ выявил ряд изменений зависимостей физико-химических свойств водомазутной эмульсии, к которым относятся агрегативная и седиментационная устойчивость, структурная вязкость, и их зависимость от температуры и содержания воды. Полученные показатели имеют огромное значение для организации эффективного распыла и стабильного горения топлива, а также для оценки эффективности работы непосредственно самого диспергатора.

Результаты и обсуждение

Эксперимент проводился при температуре 80°C для мазута марки М-100. Процентное содержание воды в ВМЭ принималось в диапазоне от 5 до 30 мас.%(5, 10, 15, 20, 30). Мазут для исследований был произведён ТОО «Атырауский нефтеперерабатывающий завод» при использовании запасов месторождения Тенгиз.

Мазут марки М-100 имеет следующие физико-химические показатели, отображённые в таблице 1.

Таблица 1

Наименование показателей	Величина
Массовая доля механических примесей %, не более	1,0
Массовая доля серы, не более	3,5
Зольность, % не более, для мазута малозольного	0,05
Температура застывания, °С, не выше	25
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	110
Теплота сгорания Мазута М-100 (низшая в пересчете на сухое топливо (небраковочная)) кДж/кг, не менее	39900

Опыт проводили с различными концентрациями воды от 5% до 30%. Результаты вычисления представлены в таблице 2 и диаграмме в соответствии с рис. 9.

Таблица 2

Зависимость плотности ВМЭ от концентрации воды при температуре 70 °С

Концентрация воды, %	5%	10%	15%	20%	30%
Плотность ВМЭ, кг/м ³	937,215	939,05	940,625	942,63	946,22

На рис. 9 наглядно видно что, при повышении концентрации воды в смеси плотность ВМЭ увеличивается. Это связано с тем что, плотность воды больше чем плотность мазута.

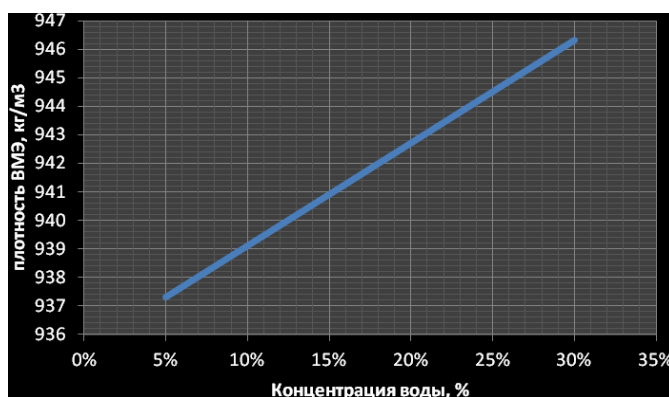


Рис. 9. Зависимость плотности ВМЭ от концентрации воды при температуре 70 °С

Fig.9. Dependence of the VME density on the water concentration at a temperature of 70 °C

На рис. 10 представлено схематическое изображение капиллярного вискозиметра для определения вязкости. В ходе лабораторных исследований применялся капиллярный вискозиметр марки ВПЖ-1. Погрешность измерений данного прибора колеблется в диапазоне 1,5-2,5%.

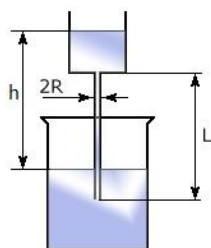


Рис. 10. Капиллярный вискозиметр

Fig.10. Capillary viscometer

Таблица 3

Вязкость ВМЭ в соотношении с концентрацией воды при температуре 70 °С					
Концентрация воды, %	5%	10%	15%	20%	30%
Плотность ВМЭ, кг/м ³	937,215	939,05	940,625	942,63	946,22
Расход ВМЭ, 10 ⁻⁶ м ³ /кг	17,64	16,6	12,72	10,65	8,61
Структурная вязкость ВМЭ, Па·с	0,183	0,193	0,254	0,306	0,371

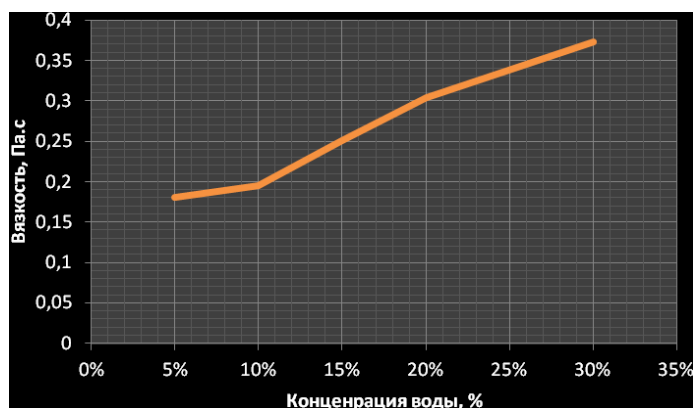


Рис. 11. Вязкости ВМЭ в зависимости от концентрации воды при температуре 70 °С

Fig.11. VME viscosity depending on the water concentration at a temperature of 70 °C

Анализ данных рис. 11 и таблицы 3 отображает возрастание структурной вязкости ВМЭ с увеличением процентного содержания воды и указывает на преобладание над вязкостью исходного мазута. Наблюдается рост вязкости эмульсии от 0,167 Па·с (исходный мазут) до 0,371 Па·с.

Увеличение процентного содержания воды в ВМЭ (выше 30%) вызывает негативные последствия процесса горения [15].

Результаты экспериментального определения структурной вязкости при приготовлении ВМЭ с учётом вариативного процентного содержания воды и при различных значениях температуры приведены в таблице 4.

Таблица 4

Зависимость вязкости ВМЭ на основе мазута М-100 от температуры при различном содержании в них воды

Эмульсия	Структурная вязкость, Па·с при температуре, °С				
	20	40	50	70	80
ВМЭ с 5% H ₂ O	3,04	0,86	0,34	0,19	0,162
ВМЭ с 10% H ₂ O	12,3	1,54	0,76	0,255	0,159
ВМЭ с 20% H ₂ O	12,92	1,98	1,27	0,312	0,211
ВМЭ с 30% H ₂ O	16,74	3,73	1,91	0,377	0,278
ВМЭ с 40% H ₂ O	20,83	6,05	2,49	0,932	0,447

Анализ данных указывает на значительное уменьшение вязкости дисперсной системы в диапазоне температур от 20 до 70 °С. При нагреве воды в диапазоне от 70 до 80 °С величина вязкости снижается незначительно. В качестве примера, вязкость ВМЭ с содержанием воды 30% уменьшается с 0,376 Па·с (при 70 °С) до 0,276 Па·с (при 80 °С). Необходимость дальнейшего увеличения температуры нагрева ВМЭ в диапазоне 90-100 °С обусловлена предотвращением вскипания воды из ВМЭ. Приготовление ВМЭ обусловлено нормированием содержания воды. Фактор частичной потери влаги на предприятии во время подготовки эмульсии можно рассматривать как положительное явление побочного обезвоживания.

Полученные результаты оценки седиментационной устойчивости отображены в таблице 5.

Таблица 5

Отношение стабильности ВМЭ на основе мазута М-100 от времени отстоя при 20°C

Исходное содержание воды в ВМЭ, % мас.	Концентрация воды в ВМЭ в верхнем слое, % мас.				
	1 час	2 часа	5 часов	8 часов	сутки
5	3,2	3,2	3,43	3,99	4,5
10	4,3	4,41	5,0	5,23	6
15	5,13	5,25	5,5	6,09	6,7
20	5,22	5,21	5,67	6,4	8
30	8,9	11	15,02	19	28,3

Заключение

Наиболее оптимальным процентным содержанием является соотношение мазута – 80% и воды – 20% с точки зрения термического расщепления воды Н и ОН и частичного последующего горения атомарного водорода с выделением теплоты.

Волновой диспергатор экспериментально демонстрирует высокие качественные показатели подготовки ВМЭ. Полученная ВМЭ, с содержанием воды в диапазоне 5-30%, стабильна в течении суток в интервале температур. При помощи диспергатора волновой обработки получают стабильные ВМЭ, при стандартных условиях подготовленное топливо хранится в расходном резервуаре не более суток, поэтому получаемая по представленной технологии ВМЭ применима для нужд энергетики в обширном диапазоне применения. ВМЭ выступает в качестве дисперсной системы с высокой агрегативной устойчивостью. Присутствует значительное численное увеличение части с размером 10 мкм, а также проявляется минимальное преобразование частиц дисперсной фазы размером 1,25 мкм в направлении размеров частиц 2,5 мкм.

Литература

1. Baubek A.A., Zhumagulov M.G., Kartjanov N.R. et al. Experimental test of Water-Oil Emulsion Combustion // High Speed Turbomachines and Electrical Drives Conference 2020. E3S Web of Conferences 178, 01012. 2020.
2. Baubek A.A., Baubek N. Device for burning fuel [Electronic resource], European Patent no. 2864700. 2016. Available at: <https://data.epo.org/gpi/EP2864700B1-DEVICE-FOR-BURNING-FUEL>.
3. Баубек А.А., Жумагулов М.Г., Картджанов Н.Р. Экспериментальные исследования вредных выбросов при сжигании водо-мазутной эмульсии в инновационной вихревой горелке // IV Международная научно – практическая конференция на тему: «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения»; 17 марта 2016г. Астана, 2007. С.73-80.
4. Hagos F.Y., Ali O.M., Mamat R. et al. Effect of emulsification and blending on the oxygenation and substitution of diesel fuel for compression ignition engine // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017. V. 75. N5 pp. 1281-1294.
5. Tan Y.H., Abdullah M.O., Nolasco-Hipolito C. et al. Engine performance and emissions characteristics of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol emulsions // Energy Conversion and Management, 2017. V. 132, N2. pp. 54-64.
6. Kim H., Baek, S.W. Combustion of a single emulsion fuel droplet in a rapid compression machine // Energy, 2016. V. 106. N3 pp. 422-430.
7. Laitinen O., Ojala J., Sirviö, J.A., et al. Sustainable stabilization of oil in water emulsions by cellulose nanocrystals synthesized from deep eutectic solvents // Cellulose, 2017. V.24.N4. pp. 1679-1689.
8. Afanasenko V.G., Kulakov P.A., Boev E.V., et al. Optimization of ultrasound emulsion under mechanical mixing // Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering, 2020. V. 331.N4. pp. 148-155.
9. Таймаров М.А., Ахметова Р.В., Маргулис С.М., Касимова Л.И. ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ НА ВЫГОРАНИЕ ЧАСТИЦ МАЗУТА В ТОПКАХ КОТЛОВ. Известия высших учебных заведений. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 2018;20(9-10):52-59.
10. Кормилицын В.И., Лысков М.Г., Румынский АА. Влияние добавки влаги в топку на интенсивность лучистого теплообмена // Теплоэнергетика. 1992. № 1. С. 41–44.
11. Корягин В.А. Сжигание водотопливных эмульсий и снижение вредных выбросов. С-Пб.: Недра, 1995. 367 с.

12. Шерман Ф. Эмульсии. Перевод с английского под ред. А.А. Абрамзона. Л.: Химия, 1972. 448 с.

13. Промтов М.А., Червяков В.М., Воробьев Ю.В. Приготовление эмульсии в роторном аппарате // Научно-технич. информ. сб. статей. М.:ВНИИСЭНТИ. 1991. №3. С. 47-50.

14. Геллер С.В. Приготовление водомазутных эмульсий посредством волновой диспергации. Патент РФ №2347153. 20.02.2009. №4. 16.

15. Зверева Э.Р., Фарахов Т.М. Энергоресурсосберегающие технологии и аппараты ТЭС при работе на мазутах. М.: «Теплотехник», 2012. 181 с.

Авторы публикации

Баубек Аскар Аношевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Организация перевозок, движения и эксплуатация транспорта», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва.

Грибков Александр Михайлович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Тепловые электрические станции», Казанский государственный энергетический университет.

Жумагулов Михаил Григорьевич – доктор, доцент кафедры «Теплоэнергетика», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва.

Глазырин Сергей Александрович – канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплоэнергетика», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва.

Долгов Максим Викторович – докторант кафедры «Теплоэнергетика», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилёва.

References

1. Baubek AA, Zhumagulov MG, Kartjanov NR. et al. *Experimental test of Water-Oil Emulsion Combustion*. High Speed Turbomachines and Electrical Drives Conference 2020. E3S Web of Conferences 178, 01012. 2020. doi.org/10.1051/e3sconf/202017801012

2. Baubek AA, Baubek N. *Device for burning fuel* [Electronic resource], European Patent no. 2864700. 2016. Available at: <https://data.epo.org/gpi/EP2864700B1-DEVICE-FOR-BURNING-FUEL>.

3. Baubek AA, Zhumagulov MG, Kartjanov NR. Eksperimentalnye issledovaniya vrednyh vybrosov pri chhuganii vodo-mazutnoi emulsii v innovacionnoi vihvovoi gorelke. IV Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya na temu: «Aktualnye problem transporta i energetiki: puti ih innovacionnogo resheniya»; 17 March 2016. Astana, 2007. pp.73-80.

4. Hagos FY, Ali OM, Mamat R et al. Effect of emulsification and blending on the oxygenation and substitution of diesel fuel for compression ignition engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017;75(5):1281-1294. doi:10.1016/j.rser.2016.11.113.

5. Tan YH, Abdullah MO, Nolasco-Hipolito C et al. Engine performance and emissions characteristics of a diesel engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol emulsions. *Energy Conversion and Management*, 2017;132(2):54-64. doi:10.1016/j.enconman.2016.11.013.

6. Kim H, Baek SW. Combustion of a single emulsion fuel droplet in a rapid compression machine. *Energy*. 2016;106(3):422-430. doi:10.1016/j.energy.2016.03.006.

7. Laitinen O, Ojala J, Sirviö JA, et al. Sustainable stabilization of oil in water emulsions by cellulose nanocrystals synthesized from deep eutectic solvents. *Cellulose*, 2017;24(4):1679-1689. doi:10.1007/s10570-017-1226-9.

8. Afanasenko VG, Kulakov PA, Boev EV, et al. Optimization of ultrasound emulsion under mechanical mixing. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University, Geo Assets Engineering*, 2020; 331(4):148-155. doi:10.18799/24131830/2020/4/2602.

9. Taymarov MA, Akhmetova RV, Margulis SM, et al. The effect of cavitation treatment on the extinguishing of particles of oils in fuel boilers. *Power engineering: research, equipment, technology*. 2018;20(9-10):52-59. <https://doi.org/10.30724/1998-9903-2018-20-9-10-52-59>.

10. Kormilicyn VI, Lyskov MG, Rumynskiy AA. Vliyanie dobavki vlagi v topku na intensivnost luchistogo teploobmena. *Teploenergetika*. 1992;(1):41-44.

11. Koryagin VA. *Szhiganie vodotoplivnyh emulsii i snizhenie vrednyh vybrosov*. Saint Petersburg: Nedra; 1995.

12. Sherman F. *Emul'sii. Perevod s angliyskogo god red. A.A. Abramzona*. L.: Khimiya; 1972.
13. Promptov MA, Chervyakov VM, Vorobyev VM. Prigotovlenie emulsii v rotnom apparate. *Nauchno-tehnicheskii informacionnyi sbornik statei*. Moscow.: VNIISNTI. 1991;(3):47-50.
14. Geller SV. Prigotovlenie vodomazutnyh emulsii posredstvom volnovoi dispergacii. Patent RUS №2347153. 20.02.2009. №4. 16.
15. Zvereva ER, Farahov TM. *Energoresursoberegayushie tehnologii i apparaty TES pri rabote na mazutah*. Moscow: «Teplotekhnika»; 2012.

Authors of the publication

Askar A. Baubek – L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan.

Aleksandr M. Gribkov – Kazan State Power Engineering University, Kazan, Russia.

Michael G. Zhumagulov – L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan.

Sergei A. Glazyrin – L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan.

Maxim V. Dolgov – L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Republic of Kazakhstan. Email: maxwellhousebest@yandex.ru.

Получено

02 февраля 2021г.

Отредактировано

03 марта 2021 г.

Принято

04 марта 2021г.