

ПРОБЛЕМЫ НЕФТЕДОБЫЧИ, НЕФТЕХИМИИ, НЕФТЕПЕРЕРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

УДК 62-634.8

А. Г. Забродин, С. Я. Алибеков, А. В. Маряшев,
Р. С. Сальманов, С. С. Филимонов

АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАЗУТА И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО ЭФФЕКТИВНОЙ ПОДГОТОВКИ И СЖИГАНИЯ

Ключевые слова: мазут, влагосодержание, условная вязкость, водотопливная эмульсия, диспергатор, центробежная форсунка.

Представлены методы определения условной вязкости и влагосодержания мазута. Приведены результаты испытаний мазута марки М100 по указанным методам, получена экспериментальная зависимость условной вязкости от температуры. Предложен способ решения проблемы повышенного содержания воды. Представлены схемы запатентованных авторами устройств диспергатора и центробежной форсунки с усовершенствованной конструкцией. Показаны результаты, которые достигаются при применении водотопливных эмульсий в качестве жидкого топлива для котлоагрегатов.

Keywords: mazut, moisture content, relative viscosity, water-fuel emulsion, dispersion machine, centrifugal nozzle.

Methods for determining the relative viscosity and moisture content of the mazut have been analyzed and presented. Using these methods there was obtained test results and the experimental dependence of the relative viscosity on temperature for mazut M100. Authors propose a way to deal with high water content. Schemes of patented by authors devices of dispersion machine and centrifugal nozzle with improved design have been given. The results that are achieved when using water-fuel emulsions as liquid fuel for boilers have been showed.

Мазут является наиболее распространенным жидким топливом для сжигания в промышленных и энергетических котлах. Мазуты характеризуются значительной вязкостью, плотностью, содержанием высокомолекулярных веществ и смол. Топочный мазут по своему элементарному составу мало отличается от сырой нефти. Мазут обычно содержит некоторое количество воды, которая попадает при хранении, транспортировке, а также при разогреве в цистернах острым паром с целью снижения его вязкости при разгрузке цистерны. Согласно ГОСТ 10585-99 мазут подразделялся на шесть марок: Ф5, Ф12, М40, М100, М200 и МП, из них в стационарных котельных установках обычно сжигают мазут трех марок — М40, М100 и М200 [1].

В рамках данного исследования были определены некоторые наиболее важные характеристики топочного мазута марки М100, полученного с МУП «Йошкар-олинская ТЭЦ-1».

Важнейшим показателем качества мазута является его условная вязкость, которая определяется с помощью прибора, называемого вискозиметром. Условная вязкость — отношение времени истечения из вискозиметра 200 см³ испытуемой жидкости при температуре испытания ко времени истечения 200 см³ дистиллированной воды при температуре 20 °С.

Для нормального транспорта по трубопроводам и тонкого распыливания мазута в механических форсунках необходимо поддерживать его вязкость на уровне 2...3,5 градусов ВУ. Вязкость мазута существенно зависит от температуры. С повышением температуры вязкость резко падает. Такой характер зависимости вязкости от

температуры обусловлен присутствием в мазуте углеводородов парафинового ряда [2].

Метод определения условной вязкости нефтепродуктов в вискозиметре типа ВУ устанавливается стандартом ГОСТ 6258-85. Данный способ определения условной вязкости применяется для нефтепродуктов, дающих непрерывную струю в течение всего испытания и вязкость которых нельзя определить по ГОСТ 33-2000.

Условную вязкость испытуемого нефтепродукта при температуре t (BV_t) в условных градусах вычисляют по формуле (1):

$$BV_t = \frac{\tau_t}{\tau_{20}^{H_2O}} \quad (1)$$

где τ_t — время истечения из вискозиметра 200 см³ испытуемого нефтепродукта при температуре испытания, с; $\tau_{20}^{H_2O}$ — водное число вискозиметра, с.

Нами была проведена серия экспериментов с испытуемым мазутом при температурах испытания 85, 86, 89, 92 и 95 °С, при которых время истечения 200 см³ данного мазута из вискозиметра типа ВУ составило соответственно 683, 620, 586, 478 и 421 секунд.

Водное число вискозиметра экспериментально определили, его значение для объема 200 см³ составило 52 с, что соответствует стандарту.

Ниже приведены полученные результаты вычислений условной вязкости.

$$\begin{aligned}
 BV_{85} &= \frac{683}{52} = 13,1; & BV_{86} &= \frac{620}{52} = 11,9; \\
 BV_{89} &= \frac{586}{52} = 11,3; & BV_{92} &= \frac{478}{52} = 9,2; \\
 BV_{95} &= \frac{421}{52} = 8,1.
 \end{aligned}$$

На основании полученных результатов была построена экспериментальная зависимость условной вязкости от температуры, приведенная на рис. 1 (показана пунктирной линией).

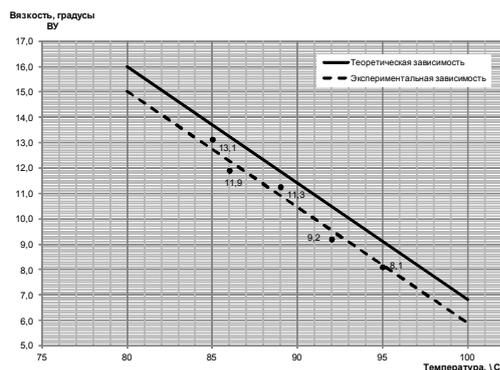


Рис. 1 – Зависимости условной вязкости мазута марки М100 от температуры

В результате анализа полученной зависимости были определены значения условной вязкости мазута при 80 и 100°C: 15 и 5,9 градусов ВУ соответственно. Теоретическая зависимость была построена на основе стандартных значений вязкости при 80 и 100°C, взятых из ГОСТ 10585-99.

Как видно из рис. 1, значения экспериментальной зависимости условной вязкости от температуры находятся ниже значений стандартной теоретической зависимости, отсюда можно предположить, что в испытуемом мазуте находятся дополнительные примеси (например, вода), снижающие его вязкость. Чтобы подтвердить или опровергнуть данное предположение был проведен эксперимент по определению содержания воды.

Содержание воды в испытуемом мазуте осуществлялось методом, установленным ГОСТ 2477-65. Сущность метода состоит в нагревании пробы нефтепродукта с нерастворимым в воде растворителем и измерении объема сконденсированной воды.

Устройство экспериментальной установки показано на рис. 2 и состоит из следующих элементов:

- металлический дистилляционный сосуд вместимостью 1000 см³;
- приемник-ловушка со шкалой 25 см³;
- электрическое нагревательное устройство;
- холодильник типа ХПТ с длиной кожуха не менее 300 мм по ГОСТ 25336;

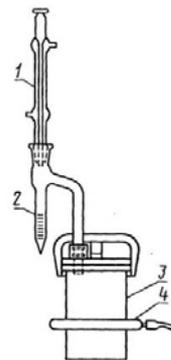


Рис. 2 – Устройство для количественного определения содержания воды в нефтяных, пищевых и других продуктах: 1 - холодильник водный; 2 - приемник-ловушка; 3 - сосуд дистилляционный; 4 - электрическое нагревательное устройство

При проведении испытания в дистилляционную колбу добавили 100 см³ мазута. Затем отмерили в колбу 100 см³ керосина. После чего включили нагреватель, содержимое колбы довели до кипения и далее нагревали так, чтобы скорость конденсации дистиллята в приемник была от 2 до 5 капель в 1 с.

Массовая (X) или объемная (X₁) доля воды в процентах вычисляется по формулам:

$$X = \frac{V_0}{m} \cdot 100; \quad (2)$$

$$X_1 = \frac{V_0}{V} \cdot 100 \quad (3)$$

где V₀ – объем воды в приемнике-ловушке, см³; m – масса пробы, г; V – объем пробы, см³.

В ходе проведения испытания объем воды в приемнике ловушке составил 2 см³. Вычислили объемную и массовую доли воды по формулам (3) и (2) для испытанной пробы мазута объемом 100 см³ и массой 98,65 г:

$$X_1 = \frac{2}{100} \cdot 100 = 2 \%$$

$$X = \frac{2}{98,65} \cdot 100 = 2,03 \%$$

Полученное значение массовой доли воды превышает стандартное, указанное в ГОСТ 10585-99, более чем в 2 раза.

Полученные результаты свидетельствуют о повышенном содержании воды в испытуемом мазуте, кроме этого, при использовании паромеханических центробежных форсунок мазут дополнительно обводняется, так как пар подается в камеру завихривания форсунки для снижения вязкости мазута перед его распыливанием в топочной камере. Повышенное содержание воды может привести к снижению теплоты сгорания топлива, неравномерности его горения в топочной камере. Также возможен рост опасности коррозионных процессов в мазутопроводах и конвективных поверхностях нагрева и увеличение потерь теплоты с уходящими из котла газами.

Можно предложить диспергацию имеющегося мазута до состояния тонкодисперсной водомазутной эмульсии как способ эффективного решения проблемы сжигания данного обводненного мазута.

Нами спроектирован комплекс устройств, предназначенный для подготовки к сжиганию различных видов обводненных жидких топлив. В разработанный комплекс устройств входит устройство подготовки обводненного жидкого топлива к сжиганию [3] и механическая центробежная форсунка [4] с усовершенствованной конструкцией. Данное техническое решение позволяет достичь нужной степени дисперсности за счет применения источника ультразвуковых колебаний и в то же время менее энергозатратно ввиду отсутствия крупных движущихся механических частей.

На разработанные устройства были получены патенты на полезные модели РФ: № 101781 «Устройство для подготовки водотопливной эмульсии в котельных установках» (кл. F23K5/12, 2010 г.) (рис. 4) и № 102245 «Форсунка жидкостная тангенциальная» (кл. F23D11/10, 2010 г.) (рис. 3).

В центробежной форсунке с усовершенствованной конструкцией осуществляется дополнительное диспергирование полученной водомазутной эмульсии. Достижение данного эффекта и улучшение характеристик работы форсунки было достигнуто за счет совершенствования конструкции камеры закручивания 12. Было увеличено число тангенциальных каналов подачи топлива 11 и изменен их угол наклона, что вызвало появление эффекта самоочистки форсунки.

Проблема загрязненности механических форсунок решается только путем остановки горелки, замены загрязненной форсунки и промывке в специальных стендах. Также существуют методы очистки форсунок с помощью специальных жидкостей без демонтажа, но данные способы малоэффективны. Проведенный нами анализ не выявил в производстве тангенциальных центробежных форсунок для горелок котельных, обладающих эффектом самоочистки.

Эффект самоочистки применяемой форсунки получен за счет совершенствования конструкции камеры закручивания 12. Форсунка работает следующим образом. В центральный канал корпуса 8 под давлением подается жидкость, далее она по двум радиальным отверстиям 10 распыляющей головки 3 через кольцевой канал 9 и тангенциальные отверстия 11 попадает в камеру закручивания 12, задняя стенка которой образована заглушкой 4, зафиксированной прижимным винтом 5. Кольцевой канал 9 образован цилиндром 2 и распыляющей головкой 3, в котором жидкость подвергается дополнительной диспергации. Распыляющая головка 3 выполнена цельнометаллической, что позволяет избежать погрешности сборки, в отличие от сборных форсунок, и нарушения герметичности рабочих полостей и каналов. В распыляющей головке

выполнено пять тангенциальных отверстий 11. Вследствие этого при истекании в камеру закручивания струя жидкости попадает не на стенку, а на соседнюю струю жидкости под острым углом. При этом, во-первых, соседняя струя получает дополнительный импульс, во-вторых, происходит дополнительное смешение в случае использования смеси жидкостей. Уменьшается угол падения струи жидкости на стенку камеры закручивания, и вследствие этого - загрязнение стенок частицами жидкости. Из камеры закручивания 12 жидкость истекает через сопло истечения 13.

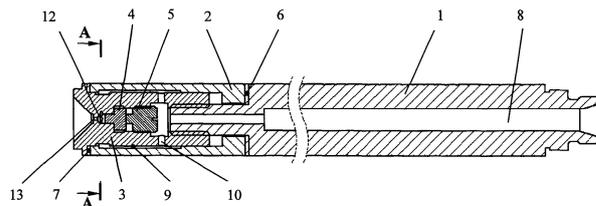


Рис. 3 – Форсунка жидкостная тангенциальная

Устройство подготовки обводненного жидкого топлива (рис 4) представляет собой диспергатор жидкого топлива, который является одновременно фильтром и устройством для подогрева топлива, что выгодно отличает его от аналогов. Диспергирование обводненного мазута осуществляется за счет перемешивания в струйном насосе 6, а также воздействия ультразвуковых волн, что повышает эффективность работы устройства, при этом в конструкции устройства отсутствуют движущиеся механические части, что положительно влияет на надежность его работы.

Устройство для подготовки водотопливной эмульсии основано на применении струйного насоса 6 и источника ультразвуковых колебаний 4. Технический результат достигается объединением фильтрующего элемента, нагревательного элемента и диспергатора в одном корпусе, при этом в конструкции устройства отсутствуют движущиеся механические части, что увеличивает надежность и долговечность работы. Устройство подготовки жидкого топлива к сжиганию представляет собой систему элементов, а именно, систему фильтрации, нагревательный элемент и диспергатор, представляющий собой гидроструйный насос 6, объединенных в одном корпусе.

Новизна устройства заключается в том, что система фильтрации выполнена в виде сетчатой обечайки, внутри которой соосно продольной оси расположен гидроструйный насос, в корпусе одновременно объединены фильтрующий элемент, нагревательный элемент и гидроструйный насос с источником ультразвуковых колебаний, являющийся диспергатором, что повышает компактность устройства, снижает его материалоемкость и повышает надежность.

Топливо подается в фильтрующее устройство через штуцер подачи топлива 14. Вода (если это необходимо для повышения содержания воды в ВТЭ), поступает через штуцер 9, а затем по

трубе подается в гидроструйный насос 6, где происходит смешение воды и топлива. Топливо перед поступлением в струйный насос проходит через фильтрующую сетку 3, являющуюся тонким фильтром (65 ÷ 400 отверстий на 1 см² сетки), а также через перфорированную обечайку 5. Перед попаданием в приемную камеру струйного насоса топливо проходит дополнительный подогрев с помощью кабеля обогрева 7. Образовавшаяся водотопливная эмульсия выходит по трубопроводу через штуцер выхода ВТЭ 11, откуда направляется к топливному насосу, а затем к форсунке. Во время очистки фильтра грязь и остатки топлива сливаются через штуцер слива грязи 8.

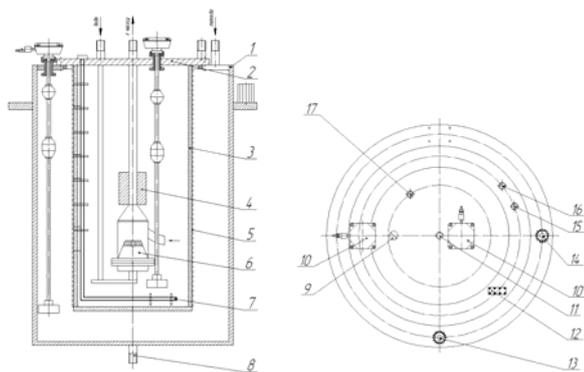


Рис. 4 – Устройство для подготовки водотопливной эмульсии

Использование гомогенизированной водно-мазутной смеси позволяет повысить коэффициент сжигания топлива, сэкономить мазут и уменьшить вредные выбросы NO_x и CO_x в атмосферу при их сжигании. Механизм этого эффекта объясняется следующим обстоятельством. Мазут, поступая в горелку, распыляется форсункой. Дисперсность (размер капель) мазута составляет порядка 0,1-1 мм. Если в такой капле топлива находятся включения более мелких капелек воды (с дисперсностью около 1 мкм), то при нагревании происходит вскипание таких капелек с образованием водяного пара. Водяной пар разрывает каплю мазута, увеличивая дисперсность подаваемого в горелку топлива. В результате увеличивается поверхность контакта топлива с воздухом, улучшается качество топливо-воздушной смеси.

В высокотемпературной зоне топочной камеры капля эмульсии взрывается и происходит вторичное диспергирование топлива. В результате таких микровзрывов в топке возникают очаги турбулентных пульсаций и увеличивается число элементарных капель топлива, благодаря чему факел увеличивается в объеме и более равномерно заполняет топочную камеру, что приводит к выравниванию температурного поля топки с уменьшением локальных максимальных температур и увеличением средней температуры в топке; повышению светимости факела благодаря увеличению поверхности излучения; существенному снижению недожога топлива;

позволяет снизить количество вдуваемого воздуха и уменьшить связанные с ним теплопотери.

Одновременно в факеле происходят каталитические реакции, ведущие к уменьшению вредных газовых выбросов. Возможность снижения количества вдуваемого воздуха при сжигании ВТЭ весьма важна, поскольку КПД котельного агрегата при уменьшении коэффициента избытка воздуха на 0,1% увеличивается на 1%. Время пребывания капель в реакционном объеме топки возрастает за счет удлинения их траектории в процессе турбулентного перемешивания, увеличивается удельная реакционная поверхность капель топлива. Скорость сгорания топлива в виде мелких капель увеличивается и сопровождается выделением меньшего количества твердых продуктов, чем у крупных капель мазута, разрушаются смолисто-асфальтеновые структуры.

Факел горящего эмульгированного топлива в топочном пространстве сокращается в объеме, становится прозрачным. Температура уходящих газов уменьшается по сравнению с обезвоженным мазутом на 30-35°С. Изменение параметров процесса горения и состава уходящих газов свидетельствуют о повышении эффективности использования топлива.

Находящаяся в составе ВТЭ водная фаза может быть частично диссоциирована в ходе окисления топлива в предпламенных процессах. Затем, по мере повышения температуры в фазе активного сгорания, реакция диссоциации воды ускоряется. Образующийся при диссоциации избыток атомов водорода быстро диффундирует в область с избытком кислорода, где их реакция компенсирует затраты энергии на диссоциацию воды. Участие в реакции горения дополнительного количества водорода приводит к увеличению количества продуктов сгорания. Молекулы воды ускоряют ход реакций в окислительных процессах и вследствие возникновения полярного эффекта, существенно улучшающего ориентацию частиц активных радикалов топлива [5].

Гомогенизированная водно-мазутная смесь имеет заметно меньшую вязкость чем чистый мазут, поэтому облегчается процесс перекачки топлива. При температурах выше 80°С вязкость водомазутной эмульсии влажностью 6% мало отличается от эмульсии с влажностью 40%.

Выводы

1) Результаты испытаний показали повышенное содержание воды в мазуте, что отрицательно повлияет на эффективность его сжигания. Для повышения эффективности сжигания обводненного мазута и снижения потерь теплоты предлагается метод диспергации имеющегося мазута до состояния тонкодисперсной водомазутной эмульсии.

2) Полученная с помощью установки гомогенизированной ВТЭ имеет заметно меньшую вязкость, что облегчает процесс перекачки и сжигания топлива, а также снижает расход энергии на предварительный подогрев. Факел,

образующийся при сжигании ВТЭ, более равномерно заполняет объем топочной камеры, снижается недожог топлив, что дает возможность снизить количество вдуваемого воздуха и уменьшить связанные с ним теплопотери. Снижается количества вдуваемого воздуха. КПД котельного агрегата при уменьшении коэффициента избытка воздуха на 0,1% увеличивается на 1%.

3) При сжигании ВТЭ температура уходящих газов уменьшается по сравнению с обезвоженным мазутом на 30-35°C, что свидетельствует о повышении эффективности использования топлива.

4) Повышается экологичность сжигания жидких топлив за счет снижения выбросов СО (в среднем на 50%), оксидов азота (до 50%) и других вредных веществ, образующихся в результате сжигания.

Литература

1) Адамов, В.А. Сжигание мазута в топках котлов / В.А. Адамов – Л.: Недра, 1989. – 304 с.: ил.

2) Григорьев К.А., Рундыгин Ю.А., Тринченко А.А. Технология сжигания органических топлив. Энергетические топлива: Учеб. пособие. / К.А. Григорьев, Ю.А. Рундыгин, А.А. Тринченко – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 92 с.

3) Пат. № 101781 РФ, МПК F23K 5/12. Устройство для подготовки водотопливной эмульсии в котельных установках / Забродин А.Г., Алибеков С.Я., Каширский В.Н., Натфуллин З., Бадыкова Е.А.; заявитель и патентообладатель Марийский гос. тех. университет. – № 2010120926/06; заявл. 23.07.2010; опубл. 27.01.2011. – Бюл. № 3. – 5 с.

4) Пат. № 102245 РФ, МПК F23B 11/10. Форсунка жидкостная тангенциальная / Каширский В.Н., Алибеков С.Я., Забродин А.Г., Натфуллин З.; заявитель и патентообладатель Марийский гос. тех. университет. – № 2010140275/28; заявл. 01.10.2010; опубл. 20.02.2011. – Бюл. № 5. – 4 с.

5) Исаков А.Я., Дёминов В.И. Физическая модель процессов, предшествующих воспламенению капель водотопливной эмульсии // Физика горения и взрыва. 1986. -№6 - С. 15 - 20.

6) Мельник А.Ю., Миникаева С.Н., Павлов С.Б., Харлампиди Х.Э. Влияние воды на характеристики дизельного топлива. Вестник Казанского технологического университета 2012 №24 с. 213-215.

© А. Г. Забродин - асп. каф. машиностроения и материаловедения Поволжского госуд. технол. ун-та, г. Йошкар-Ола, az0728@gmail.com; С. Я. Алибеков - д-р техн. наук, проф., зав. машиностроения и материаловедения Поволжского госуд. технол. ун-та, г. Йошкар-Ола, kmim@volgatech.net; А. В. Маряшев - канд. техн. наук, доц. каф. энергообеспечения предприятий того же ун-та; Р. С. Сальманов - канд. техн. наук, доц. каф. физики КНИТУ; С. С. Филимонов - асп. каф. машиностроения и материаловедения Поволжского госуд. технол. ун-та, г. Йошкар-Ола.