

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

АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАЗУТА МАРКИ М100

Ключевые слова: мазут, влагосодержание, условная вязкость, плотность.

Проанализированы и представлены методы определения условной вязкости, влагосодержания и плотности мазута. Получены результаты испытаний мазута марки М100 по указанным методам, экспериментальная зависимость условной вязкости от температуры. Представлено сравнение полученных значений характеристик со стандартными. Предложен способ решения проблемы повышенного содержания воды.

Keywords: mazut, moisture content, relative viscosity, density.

Methods for determining the relative viscosity, moisture content and density 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. A comparison of the obtained values with the standard has been shown. Authors propose a way to deal with high water content.

Основным видом жидкого энергетического топлива является мазут, получаемый в процессе переработки нефти. Мазуты получают на нефтеперерабатывающих заводах одновременно с производством других продуктов (моторных топлив, масел и др.). В зависимости от условий различают неглубокую переработку нефти (разгонку) и глубокую (крекинг). При разгонке нефть разделяется на узкие фракции по температурам их выкипания без разрушения молекулярной структуры, а при крекинге достигается разрушение молекул исходных углеводородов, с образованием новых соединений. Мазут, получаемый при неглубокой переработке нефти, называют прямогонным, при глубокой переработке нефти – крекинг-мазутом.

Прямогонный мазут представляет собой смесь тяжелых нефтяных остатков прямой перегонки нефти с ее маловязкими фракциями. Подмешивание дистиллятов к тяжелому остатку необходимо для поддержания вязкости мазута в пределах требований стандарта. Прямогонный мазут предназначен для использования в качестве топлива для стационарных котельных и технологических установок. Крекинг-мазут представляет собой тяжелый высоковязкий остаток крекинг-процесса (высокотемпературной переработки нефти и её фракций).

В соответствии с ГОСТ 10585-99 установлены следующие марки мазутов: флотский Ф5 и Ф12; топочный М40 и М100. Марка мазута характеризует максимальное значение условной вязкости при температуре 50 °С. Флотские мазуты относятся к категории легких топлив, топочный мазут марки М40 – к категории средних топлив, топочный мазут марки 100 – к категории тяжелых топлив [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 истече-

ния 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. [3] 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 ($ВУ_t$) в условных градусах вычисляют по формуле (1):

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

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.

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

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

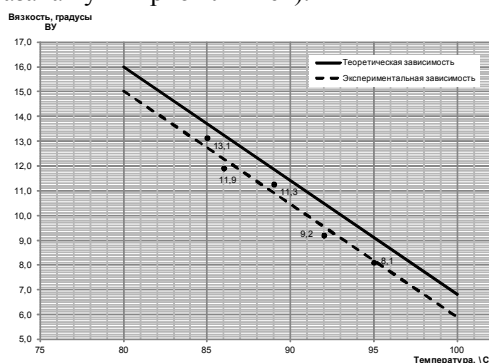


Рис. 1 – Зависимости условной вязкости мазута марки М100 от температуры

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 [4].

Для инженерных расчетов мазутного хозяйства имеет значение кинематическая вязкость топлива (например, для расчета числа Рейнольдса при определении гидравлического сопротивления мазутопроводов). Кинематическая вязкость ν – сопротивление жидкости течению под действием гравитации.

Значения кинематической вязкости испытуемого мазута были получены из пересчетной таблицы единиц вязкости по Уббелюде [5].

$\nu_{85}=99,5$ сСт; $\nu_{86}=90$ сСт; $\nu_{89}=86$ сСт; $\nu_{92}=70$ сСт; $\nu_{95}=61$ сСт; $\nu_{80}=113$ сСт; $\nu_{100}=37,4$ сСт.

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. [6] 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;

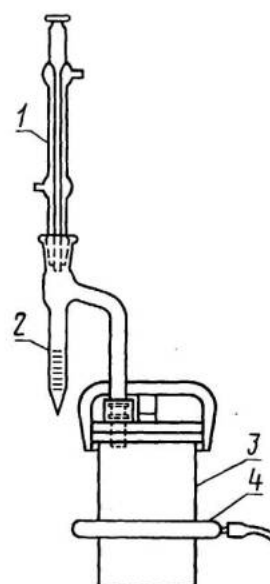


Рис. 2 – Устройство для количественного определения содержания воды в нефтяных, пищевых и других продуктах: 1 – холодильник водный; 2 – приемник-ловушка; 3 – сосуд дистилляционный; 4 – электрическое нагревательное устройство

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.

Кроме определения условной вязкости и влагосодержания были проведены эксперименты по определению плотности мазута. Плотность в сочетании с вязкостью определяет условия отстаивания воды из мазутов и осаждения механических примесей. Кроме того, плотность имеет значение для определения массы топлива по занимаемому им объему.

Согласно ГОСТ 3900-85 плотность твердых и вязких нефтепродуктов вычисляют по формуле

(4), если температура определения одинакова с температурой определения водного числа ($t_i = t_c$): [7]

$$\rho_{20} = \frac{(m_1 - m_0) \cdot \rho_c}{(m_c - m_0 - m_2 + m_1)} + C \quad (4)$$

где ρ_i – плотность образца при температуре определения, кг/м³; ρ_c – плотность воды при температуре определения водного числа, кг/м³; t_c – температура, при которой определяется водное число, °С; t_i – температура, при которой проводится испытание, °С; m_0 – масса пустого пикнометра на воздухе, г; m_c – масса пикнометра с водой на воздухе при температуре определения водного числа, г; m_i – масса пикнометра с образцом на воздухе при температуре испытания, г; C – поправка на давление воздуха, кг/м³; m_1 – масса пикнометра в воздухе, частично наполненного твердым или вязким образцом, г; m_2 – масса пикнометра с образцом в воздухе, наполненного водой при температуре t_i , г.

При проведении эксперимента была взята температура мазута, равная температуре определения водного числа, т.е. $t_i = t_c = 20^\circ\text{C}$.

Были получены следующие значения масс: $m_1 = 138,78$ г; $m_2 = 158,1$ г; $m_c = 159,75$ г; $m_0 = 58,45$ г.

Значение плотности воды при температуре определения водного числа ρ_c было взято из таблицы в приложении 3 ГОСТ 3900-85 и составило 998,2019 кг/м³.

Используя табличное значение поправки на взвешивание в воздухе C по ГОСТ 3900-85, получили значение $C = 0,25$ с учетом результата вычисления

$$\frac{m_1 - m_0}{m_c - m_0} = \frac{138,78 - 58,45}{159,75 - 58,45} = 0,79.$$

Поправка рассчитана на основании стандартной плотности воздуха 1,222 кг/м³ на 15,56 °С и давлении 101,3 кПа.

В результате, подставив все значения в формулу (4), получаем значение плотности мазута при 20 °С:

$$\rho_{20} = \frac{(138,78 - 58,45) \cdot 998,2019}{(159,75 - 58,45 - 158,1 + 138,78)} + 0,25 =$$

$$978,36 \text{ кг/м}^3$$

Полученные результаты исследования мазута марки М100 совместно со стандартными значениями сравнимых характеристик, взятыми из ГОСТ 10585-99, представлены в таблице 1.

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.

Таблица 1 - Сравнение стандартных характеристик мазута М100 с полученными экспериментальными результатами

Наименование показателя	Стандартное значение	Экспериментальное значение	Метод испытаний
Вязкость при 80°С, не более: условная, градусы ВУ; кинематическая, сСт	16,0	15	По ГОСТ 6258
	118,0	113	По ГОСТ 33
Вязкость при 100°С, не более: условная, градусы ВУ; кинематическая, сСт	6,8	5,9	По ГОСТ 6258
	50,0	37,4	По ГОСТ 33
Массовая доля воды, %, не более	1,0	2,03	По ГОСТ 2477
Плотность при 20°С, кг/м ³ , не более	Не нормируется. Определение обязательно.	978,36	По ГОСТ 3900

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

Выводы

1) Полученные экспериментальные значения условной вязкости меньше стандартных в среднем на 1 градус ВУ в диапазоне температур от 80 до 100 °С.

2) Массовая доля воды в испытуемом мазуте более чем в 2 раза превысила стандартную и составила 2,03 %.

3) 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.

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. Рунды-

- гин, А.А. Тринченко – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2006. – 92 с.
- 3) ГОСТ 6258-85. Нефтепродукты. Метод определения условной вязкости. – М., 2006 – 7 с.
- 4) ГОСТ 10585-99. Топливо нефтяное. Мазут. Технические условия. – М., 2009 – 11 с.
- 5) Ubbelohde L., Zur Viskosimetrie, Leipzig, 1943.
- 6) ГОСТ 2477-65. Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды. – М., 2008. – 9 с.
- 7) ГОСТ 3900-85. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности. – М., 2008. – 9 с.

- 8) Забродин А.Г., Алибеков С.Я., Маряшев А.В., Сальманов Р.С., Филимонов С.С. Анализ физико – механических свойств мазута и устройство для его эффективной подготовки и сжигания. Вестник Казанского технологического университета. 2013 №5 с. 226 -229.
- 9) 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.123 – 125.

© **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; **Н.А. Забродина** - ст. препод. той же кафедры; **Р. С. Сальманов** - канд. техн. наук, доц. каф. физики КНИТУ; **А. В. Маряшев** - канд. техн. наук, доц. каф. энергообеспечения предприятий Поволжского госуд. технол. ун-та, г. Йошкар-Ола.