

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 (ВУ t) в условных градусах вычисляют по формуле (1):
$$\text{ВУ}t = \frac{t}{52} \cdot \frac{c}{s}$$
 (1) где t – время истечения из вискозиметра 200 см³ испытуемого нефтепродукта при температуре испытания, с; c – 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. ; ; ; . 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°С: 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: ; (2) (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: % % 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 самоочищения 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 самоочищения. Эффект самоочищения 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 (65400 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 теплотери. 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°C. 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°C 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 гомогенизированная 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 топлива, что дает возможность снизить количество вдуваемого воздуха и уменьшить связанные с ним теплотери. 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.