

# СЖИГАНИЕ МАЗУТА

## Лекция № 6

### 5.1. Основные свойства мазута

В котлах крупных тепловых станций и отопительных котельных, работающих на жидком топливе, как правило, применяют мазут. Физические свойства мазута характеризуются такими показателями, как относительная плотность  $p_{t_1}^{t_2}$ , вязкость условная, °ВУ, и вязкость динамическая  $\eta$ , Па·с, температура вспышки  $t_{всп}$ , °С, и температура застывания  $t_{заст}$ , °С.

Относительная плотность  $p_{t_1}^{t_2}$  – это отношение плотности мазута при температуре  $t_2 = 20$  °С к плотности дистиллированной воды при температуре  $t_1 = 4$  °С.

Условная вязкость – отношение времени, необходимого для непрерывного истечения 200 см<sup>3</sup> мазута при определенной температуре, ко времени истечения такого же объема дистиллированной воды при температуре 20 °С.

Динамическая вязкость, или коэффициент внутреннего трения – величина, характеризующая внутреннее трение слоев потока жидкости или газа,  $\eta$ , Па·с.

Температура вспышки – температура, при которой мазут, будучи нагрет в строго определенных условиях, выделяет достаточное количество паров для того, чтобы смесь этих паров с окружающим воздухом могла вспыхнуть при поднесении к ней пламени.

Температура застывания – такая температура мазута, при которой он застывает настолько, что при наклоне пробирки с топливом на 45° к горизонту его уровень останется неподвижным в течение 1 мин.

Мазут, применяемый для производства тепловой энергии в котлах (табл. 5.1), делится на флотский мазут марок Ф5 и Ф12 (легкие виды топлива), топочный мазут марки 40 (средний вид топлива) и топочный мазут марок М100 и М200 (тяжелый вид топлива).

Флотский мазут предназначен для использования в судовых котлах, газотурбинных установках и двигателях. Топочный мазут марки 40 используется в судовых котлах, промышленных печах, отопительных котельных. Основными потребителями топочного мазута марок 100 и 200 являются крупные тепловые электростанции и теплоэлектроцентрали. По содержанию серы топочный мазут делится на три группы: малосернистый ( $S^p < 0,5$  %), сернистый ( $S^p = 0,5...2,0\%$ ) и высокосернистый ( $S^p > 2\%$ ).

Таблица 5.1.

## Основные технические характеристики мазутов

Показатель	Флотский мазут марок		Топочный мазут				
	Ф5	Ф12	Малосернистый марок		Средне- и высокосернистый марок		
			М40	М100	М40	М100	М200
Вязкость, °ВУ при: $t = 50^{\circ}\text{C}$	5	12	–	–	–	–	–
$t = 80^{\circ}\text{C}$	–	–	6	10	8	15,5	24
Плотность при $20^{\circ}\text{C}$ , $\text{кг/м}^3$	–	–	970	990	1005	945	960
Температура вспышки, °С, не ниже	80	90	90	110	90	110	140
Температура застывания, °С, не выше	-5	-8	10	25	10	25	36

Зольность мазутов на сухую массу  $A^c$  не превышает 0,1...0,3 %. В минеральной части мазута содержатся  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (диоксид железа) 3...10 % и  $\text{V}_2\text{O}_5$  (пентаоксид ванадия) 0...29 %.

Содержание воды в мазуте колеблется в весьма широких пределах (0,5...5% и выше), что связано с технологией его разогрева в процессе доставки и приемки у потребителя.

Теплота сгорания мазута  $Q_n^p$  зависит в основном от его влажности и составляет 39...42 МДж/кг.

## 5.2. Механизм горения мазута

В топочных устройствах мазут сжигается в распыленном состоянии, в виде капель в потоке воздуха. Горение происходит в паровой фазе, поскольку процессу горения капли всегда предшествует процесс испарения с ее поверхности. Поступившая в топочное устройство капля прогревается и начинает испаряться. Вокруг капли образуется сферическая зона, насыщенная парами испаряющейся жидкости. В условиях наличия окислителя и достижения в зоне температуры воспламенения в тонком слое на внешней части сферической поверхности начинается горение паров жидкости. Этот слой называется фронтом горения. Выделяющаяся при этом теплота способствует еще более интенсивному испарению капли. Скорость сгорания мазута определяется скоростью его испарения с

поверхности, которая многократно увеличивается при распылении жидкого топлива на мелкие капли.

Поскольку скорость сгорания мазута в значительной мере определяется интенсивностью его испарения, важнейшим и первым этапом подготовки жидкого топлива к сжиганию является распыление его на мельчайшие частицы. Например, из капли диаметром 1 мм дроблением удастся получить 1 млн. ( $10^6$ ) капель диаметром 10 мкм. Площадь поверхности испарения при этом увеличивается в 100 раз. При распылении мазута получают капли размером от нескольких десятков до сотен микрометров. Наиболее мелкие капли испаряются и воспламеняются первыми, способствуя испарению и воспламенению более крупных.

При сжигании мазута для испарения его наиболее тяжелых фракций требуется прогрев капель до температур порядка 400 °С и даже выше. По мере нагревания происходит термическое разложение топлива с образованием как газообразной, так и твердой (сажа, кокс) фаз, которые выгорают так же, как частицы твердого топлива. Раскаленные частицы сажи и кокса в пламени придают высокую светимость факелу.

Таким образом, процесс сжигания мазута состоит из следующих последовательных этапов:

- распыление топлива;
- образование горючей смеси, состоящей из окислителя, а также продуктов испарения и термического разложения углеводородов топлива;
- воспламенение горючей смеси в зоне фронта горения;
- горение горючей смеси.

Эффективность сжигания мазута в значительной степени зависит от начальных подготовительных этапов, определяемых работой топливосжигающих устройств – мазутных форсунок.

### **5.3. Классификация и устройство форсунок для сжигания мазута**

#### **5.3.1. Классификация форсунок**

По способу распыления мазута форсунки можно разделить на три группы: механические, с распыливающей средой и комбинированные.

В механических форсунках распыление осуществляется либо за счет энергии топлива, которая возрастает при продавливании его под значительным давлением через малое отверстие – сопло (рис. 5.1, а) или при закручивании топлива (создаются центробежные силы) (рис. 5.1, б), либо за счет энергии вращения элементов самой форсунки (рис. 5.1, в). Дальнейшее

дробление полученных капель происходит под воздействием давления окружающей среды.

В форсунках с распыливающей средой распыливание топлива осуществляется главным образом за счет энергии движущегося с большой скоростью распыливателя – пара или воздуха (рис. 5.1, г и д).

В комбинированных форсунках (рис. 5.1, е) распыливание топлива достигается за счет использования как энергии топлива, подаваемого под давлением, так и энергии распыливающей среды.

Дроблению выходящей из форсунки струи топлива способствуют возникающие в ней пульсации (колебания), интенсивность которых зависит от скорости истечения струи. Волновые колебания благоприятствуют распаду струи на отдельные капли.

### 5.3.2. Механические форсунки

Качество распыливания в механических форсунках зависит в значительной мере от давления мазута, создаваемого насосом. Обычно мазут поступает к форсункам под давлением 2,0...3,5 МПа. Наличие механических примесей в мазуте и малые выходные отверстия форсунок (1,5...3,5 мм) делают необходимой тщательную фильтрацию топлива перед сжиганием.

Для механических форсунок вязкость мазута рекомендуется поддерживать на уровне около 2,5 °ВУ. Для этого, например, мазут марки М40 подогревают до 90... 100 °С, а мазут марки М100 – до 110...120 °С.

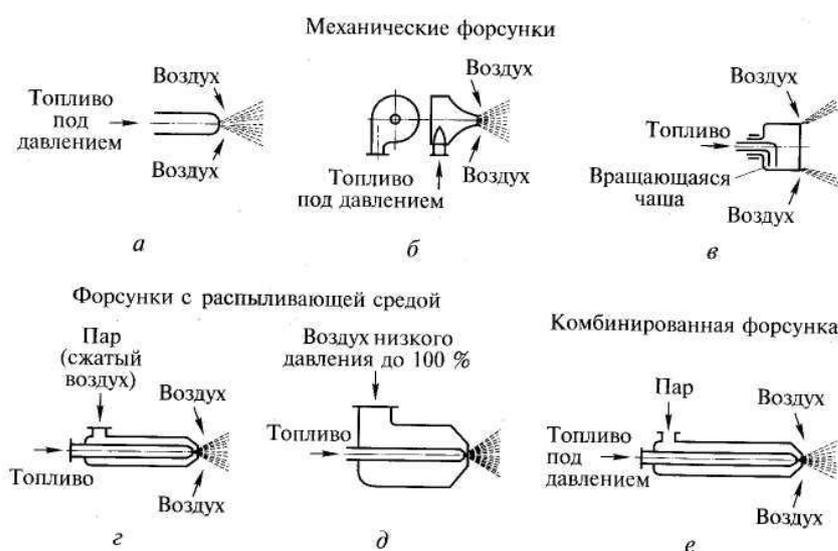


Рис. 5.1. Схемы форсунок для распыливания жидкого топлива: а – прямоструйная; б – центробежная; в – с вращающейся чашей; г – высокого давления; д – низкого давления; е – комбинированная

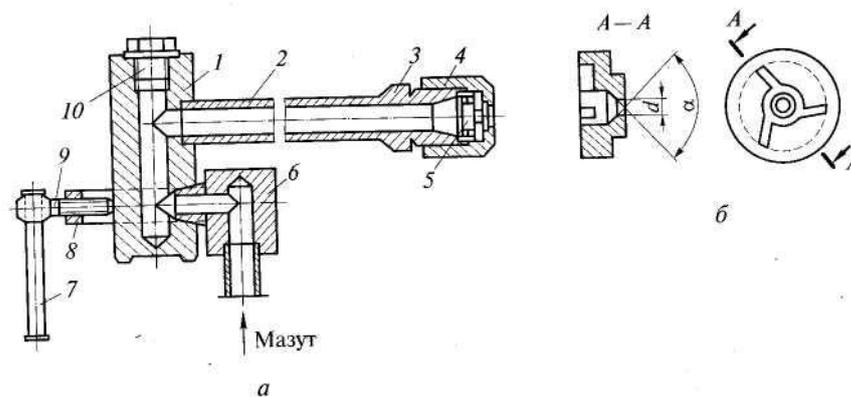


Рис. 5.2. Мазутная форсунка с механическим распыливанием:  
 а – форсунка; б – завихритель-распылитель; 1 – корпус; 2 – штанга; 3 – головка; 4 – накидная гайка; 5 – завихритель-распылитель; 6 – колодка; 7 – рукоятка; 8 – скоба; 9 – стопорный винт; 10 – пробка; d – диаметр сопла;  $\alpha$  – угол раскрытия факела.

На рис. 5.2 приведена конструкция форсунки с механическим распыливанием. Пройдя штангу 2 (рис. 5.2, а), мазут поступает в распыливающую головку 3, в которой установлен завихритель-распылитель 5, имеющий несколько тангенциально расположенных отверстий (рис. 5.2, б), закручивающих поток мазута. Через эти отверстия мазут поступает в центральную камеру завихрителя, а оттуда через центрально расположенное небольшое отверстие с большой скоростью и сильным завихрением выбрасывается в топочную камеру, где, взаимодействуя с газовой средой, распыливается на мелкие капли.

Производительность механических форсунок регулируют изменением давления мазута перед форсункой.

При снижении давления резко ухудшается качество распыливания, поэтому такие форсунки имеют малый диапазон регулирования. Чтобы не снижать качество распыливания топлива, регулирование мощности при уменьшении нагрузки может осуществляться отключением части работающих форсунок.

### 5.3.3. Форсунки с распыливающей средой

Для распыливания мазута форсунками высокого давления применяют пар или компрессорный воздух, а в форсунках низкого давления – вентиляторный воздух. При паровой пульверизации мазута применяют пар давлением 0,5...2,5 МПа. Удельный расход пара при этом составляет 0,3...0,35 кг/кг мазута.

Распыливание мазута форсунками высокого давления осуществляют компрессорным воздухом под давлением 0,3...0,6 МПа при его удельном расходе 0,6... 1,0 кг/кг мазута. Через форсунку в этом случае поступает всего 5...10% воздуха, необходимого для полного сгорания мазута. Остальной воздух подается к корню факела.

В форсунках высокого давления относительная скорость распыливающего агента доходит до 1000 м/с, чем достигается хорошее дробление капелек мазута с получением тонкого распыла. Давление мазута перед форсунками с учетом относительно больших размеров их каналов может быть небольшим. Менее жесткие требования предъявляются и к очистке мазута.

Перед высоконапорными форсунками с паровым или воздушным распылом вязкость мазута должна быть около 6 °ВУ, поэтому при работе на мазуте марки М 40 рекомендуется поддерживать его температуру не ниже 85 °С, а при работе на мазуте марки М100 – не ниже 105 °С.

На рис. 5.3 приведена паровая форсунка ФП. Из входного штуцера мазут попадает в кольцевой канал ствола 2 между внутренней и наружной трубками. Пар поступает во внутреннюю трубу и выходит через расширяющееся сопло 3 с высокой скоростью. Мазут, пройдя кольцевой канал, попадает в поток пара через кольцевую щель, на выходе из которой и распыливается. Имеющийся на выходе форсунки насадок 5 предназначен для увеличения угла раскрытия конуса распыливания мазута.

Паровые высоконапорные форсунки характеризуются высоким качеством распыливания и широким диапазоном регулирования. Однако их работа характеризуется значительным потреблением энергии; на распыливание мазута расходуется до 5 % выработанного котлом пара. Паровое распыливание мазута приводит к потере конденсата, увеличению содержания водяных паров в продуктах сгорания, повышению потерь с уходящими газами, а также к усилению коррозии поверхностей нагрева. Работа таких форсунок отличается повышенным шумом.

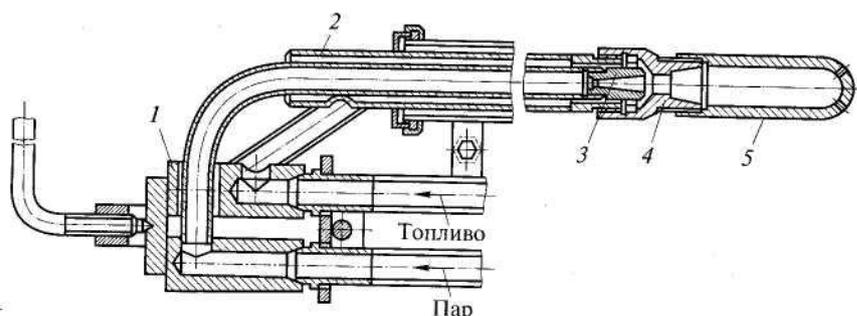


Рис. 5.3. Форсунка паровая ФП:

1 – колодка; 2 – ствол; 3 – сопло; 4 – диффузор; 5 – насадок

В высоконапорных форсунках с воздушным распыливанием мазута воздух не только распыливает топливо, но и интенсифицирует горение.

В форсунках с распыливающей средой низкого давления применяют воздух под давлением 0,002...0,007 МПа. Через форсунку подают 50... 100 % воздуха, необходимого для сгорания мазута, поэтому такие форсунки имеют относительно большие размеры. Мазут к форсунке поступает под небольшим (0,03...0,2 МПа) давлением.

#### **5.3.4. Комбинированные форсунки**

В паромеханических комбинированных форсунках устраняется основной недостаток механических форсунок – малый диапазон регулирования производительности. Используемые для этого форсунки при повышенных нагрузках котла работают как механические, а при малых нагрузках (менее 60 %), а также в пусковых режимах в них подают также пар.

Конструкция мазутной паромеханической форсунки приведена на рис. 5.4. Мазут по трубе 7 через распределительную шайбу 5 подается в кольцевую камеру распылителя 4 и затем по тангенциальным каналам поступает в его завихрительную камеру. Закрученная струя мазута под действием центробежных сил прижимается к стенкам завихрительной камеры и, продолжая двигаться поступательно, срывается с кромки сопла распылителя 4, образуя множество мельчайших капель. Пар из трубы 8 поступает в полость между деталями, пропускающими мазут, и концевой гайкой 1. Из этой полости пар поступает через тангенциальные каналы в камеру парового завихрителя 3 и выходит из него через цилиндрическую щель под углом, охватывая с внешней стороны распыленную струю мазута. Подачу пара в форсунку осуществляют при ее мощности, пониженной до 50...70 % от номинальной, и так как расход пара мал, его подача при всех нагрузках форсунки ведется под давлением 70...200 кПа.

Мощность форсунки регулируют изменением давления перед ней в диапазоне от 1,3 до 2,5 МПа.

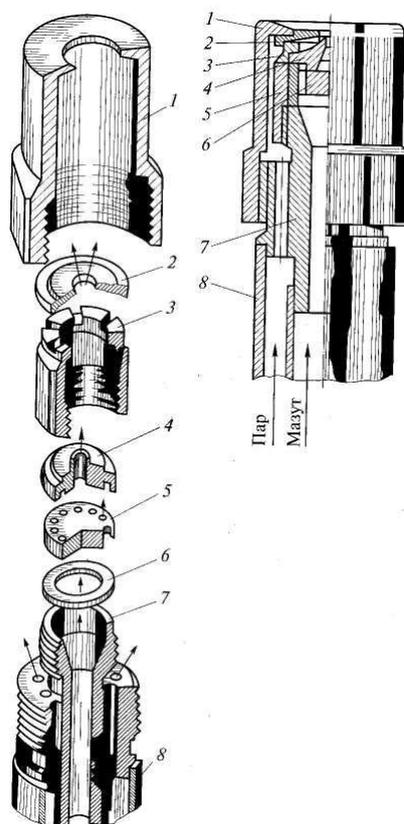


Рис. 5.4. Мазутная форсунка с паромеханическим распыливанием:  
 1 – концевая гайка; 2 – контргайка; 3 – паровой завихритель; 4 – распылитель; 5 – распределительная шайба; 6 – прокладка; 7 – мазутная труба; 8 – паровая труба (ствол); стрелками показано направление движения мазута и пара

К группе комбинированных форсунок относятся также ротационные форсунки (рис. 5.5), в которых мазут по полуму валу 6 подается в распыливающую чашу 5, вращающуюся со скоростью  $(5...7) \cdot 10^3 \text{ мин}^{-1}$ . Мазут распределяется по внутренней поверхности чаши и в виде тонкой пленки выбрасывается в топочную камеру. Дроблению пленки способствует первичный воздух, поступающий при давлении 0,01 МПа через зазор на выходе из чаши.

Воздух подается крыльчаткой 7 вентилятора, закрепленной на вращающемся валу. В качестве привода используют электродвигатель 2, который вращает вал через клиноременную передачу 1.

Расход первичного воздуха составляет около 20 % общего воздуха, необходимого для горения мазута. Остальной воздух поступает в топку через кольцевое пространство, образуемое внешним 3 и внутренним 4 кожухом форсунки. Регулирование подачи воздуха осуществляется с помощью поворотной заслонки 8, расположенной во всасывающем патрубке вентилятора.

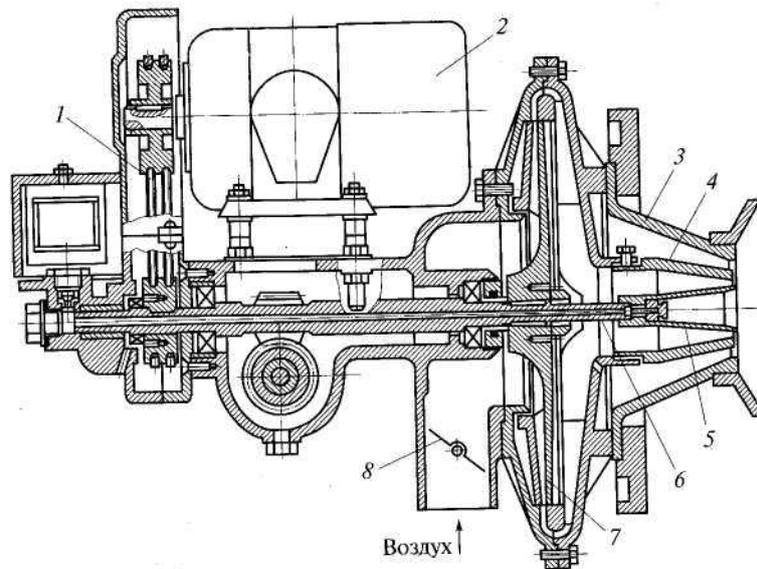


Рис. 5.5. Ротационная форсунка:

1 – клиноременная передача; 2 – электродвигатель; 3 – внешний кожух; 4 – внутренний кожух; 5 – распыливающая чаша; 6 – полый вал; 7 – крыльчатка вентилятора; 8 – поворотная заслонка.

Ротационные форсунки не требуют тщательной фильтрации мазута, дают хорошее распыливание и обладают широким диапазоном регулирования производительности (15...100%).