

## Процесс горения

Горением называется протекающий при сравнительно **высоких температурах** химический процесс соединения **горючих** элементов топлива с окислителем, сопровождающийся **интенсивным тепловыделением**.

В судовых котельных установках окислителем является **кислород** воздуха. Если в результате **горения** элементарных горючих веществ топлива — углерода **С**, водорода **Н** и серы **S** образуются продукты полного сгорания  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{SO}_2$ , то сгорание называется полным. Основными продуктами неполного сгорания являются окись углерода **CO**, водород **H<sub>2</sub>** и метан **CH<sub>4</sub>**.

Для обеспечения полного сгорания топлива и определения количества образующихся газов важно знать количество кислорода, необходимого для такого процесса. При выполнении расчетов первоначально находят теоретическое количество кислорода, необходимое для полного сгорания топлива массой 1 кг, полагая, что входящие в его состав горючие элементы будут полностью окислены и не образуют химических соединений с другими элементами.

**Существуют различные способы подсчета необходимого количества окислителя.**

Рассмотрим упрощенный расчет теоретически необходимого количества кислорода для полного сгорания топлива массой 1 кг с использованием молекулярных масс горючих элементов и окислителя.

Из реакции горения углерода  $\text{C} + \text{O}_2 = \text{CO}_2$  следует, что для полного сгорания углерода массой 12 кг требуется 32 кг кислорода. Значит, для сгорания углерода массой **1 кг** потребуется  $32:12$ , или **2,67** кг кислорода.

Из реакций горения водорода  $2\text{H}_2 + \text{O}_2 = 2\text{H}_2\text{O}$  следует, что для полного сгорания водорода массой 4 кг требуется 32 кг кислорода. Значит, для сгорания водорода массой **1 кг** потребуется  $16:2$ , или **8 кг** кислорода.

Горение серы характеризуется реакцией  $\text{S} + \text{O}_2 = \text{SO}_2$  с образованием сернистого газа. Из реакции следует, что на **1 кг** необходим **1 кг** кислорода.

Если вычесть содержащийся в натуральном топливе кислород, то общее количество кислорода (кг), необходимое для полного сгорания топлива массой 1 кг,

$$\text{O}_{2 \text{ теор}} = 2,67\text{C}^{\text{P}} + 8\text{H}^{\text{P}} + \text{S}^{\text{P}} - \text{O}^{\text{P}} \quad (2.6)$$

Поскольку в воздухе содержится примерно 23% кислорода и 77% азота, массовое количество воздуха (кг), необходимого для сжигания топлива массой 1 кг,

$$\text{L}_{\text{теор}} = \text{O}_{2 \text{ теор}} / 0,23 = (1/0,23) (2,67\text{C}^{\text{P}} + 8\text{H}^{\text{P}} + \text{S}^{\text{P}} - \text{O}^{\text{P}}) \quad (2.7)$$

Плотность воздуха  $\rho$  при нормальных физических условиях (температура 0°С, давление 0,101 МПа, влажность 0%) составляет 1,293 кг/м<sup>3</sup>, поэтому

теоретический объем ( $\text{м}^3/\text{кг}$ ) воздуха, необходимого для сгорания топлива массой 1 кг, приведенный к нормальным условиям.

$$V_{\text{теор}} = \frac{L_{\text{теор}}}{g} = \frac{1}{0.23 \cdot 1.293} (2.67C^P + 8H^P + S_{\text{л}}^P - O^P) \quad (2.8)$$

В процессе горения выгорают горючие составляющие топлива неравномерно, а часть кислорода воздуха не успевает вступить в реакции, поэтому действительное количество  $V_{\text{дейст}}$  воздуха, необходимого для полного сгорания топлива, больше теоретического.

Отношение действительно подведенного количества воздуха к теоретически необходимому для сжигания топлива называется *коэффициентом избытка воздуха*

$$\alpha = V_{\text{дейст}} / V_{\text{теор}} \quad (2.9)$$

Значение коэффициента избытка воздуха зависит от вида топлива, степени совершенства топочного устройства, метода сжигания топлива, нагрузки котла и других факторов. На экономичность работы котла отрицательно влияет как недостаток, так и излишек подаваемого воздуха, поэтому его количество должно быть оптимальным. В главных котлах коэффициент избытка воздуха, а обычно равен 1,1—1,2, а в новых современных агрегатах 1,03—1,05. Для вспомогательных котлов коэффициент избытка воздуха 1,2—1,3.

### § 3.2. Факельный процесс сжигания топлива

На процесс горения топлива в топке котла влияют реагирующие вещества самого топлива и элементы оборудования его топочной камеры. Сжигание жидкого топлива в топке протекает в виде факельного процесса, для осуществления которого служит топочное устройство, в состав которого входят два основных узла: **форсунка** и **воздухонаправляющее устройство** (ВНУ). В ряде случаев большое влияние на факельный процесс сжигания топлива оказывает компоновка самой топки (топочной камеры). **Экономичность работы котла в значительной степени определяется правильностью организации факельного процесса в топке.** Для его нормального протекания необходимо обеспечить непрерывную подачу подготовленного топлива; поддержание оптимальных давления и температуры топлива в зависимости от режима работы котла; правильную установку форсунки; хорошее техническое состояние форсунки; хорошее распыливание топлива форсункой; подачу необходимого количества воздуха; поддержание оптимального соотношения между количеством сжигаемого в топке топлива и количеством подаваемого воздуха (соотношение «топливо — воздух»); поддержание устойчивости фронта пламени путем поддержания высокой температуры; постоянный отвод из котла продуктов сгорания топлива.

**Сжигание жидкого топлива в топке котла можно рассматривать как ряд последовательно протекающих процессов: 1)распыливание, 2)подогрев, 3)испарение, 4)термическое разложение, 5)окисление, 6)воспламенение, 7)горение. Первоначальное зажигание топлива производится от постороннего источника. Непосредственно горение начинается, когда температура легковоспламеняющихся фракций топлива достигнет температуры воспламенения. Факельный процесс протекает в такой последовательности:**

1) распыленное топливо из **форсунки 1** (рис. 3.3) поступает в воздушную среду топки, где происходят интенсивный нагрев, испарение и частичная газификация топлива под влиянием горящего факела, частично **фурмы 4** и рециркуляции горящих частиц с последующим термическим разложением топлива на простейшие горючие газы, вступающие в реакции с кислородом воздуха. Нагреванию способствует также **диффузор 2**, который защищает начальную зону (корень факела) от потока воздуха. Фронт горения устанавливается в том месте факела, где горючая смесь продуктов газификации топлива с воздухом имеет достаточно высокую для воспламенения температуру. Факельный процесс интенсифицируется благодаря хорошему распыливанию топлива (поверхность его соприкосновения с воздухом и газами при этом возрастает во много раз), а также перемешивающимся газовоздушным потокам, возникающим из-за закрученного потока воздуха, поступающего через лопаточный **аппарат 3** ВНУ. На рис. 3.3 также обозначены границы зоны **обратных токов 5**, **зоны основного горения 6** и **кирпичная кладка 7**.

Факельный процесс характеризуется ограниченным временем нахождения частиц топлива в топке, а значит, и минимальным количеством топлива в топочном объеме. Время пребывания частиц топлива в топке обычно не превышает 1 с, отсюда можно заключить, что факельный процесс чувствителен ко всяким видам нарушения режима горения.

### § 3.3. Тяга и тягодутьевые устройства

Одним из условий устойчивого горения топлива в топке котла являются непрерывная подача в нее воздуха и удаление продуктов сгорания.

Для преодоления возникающих сопротивлений в воздушно-газовом тракте должна быть обеспечена движущая сила. Она может быть создана

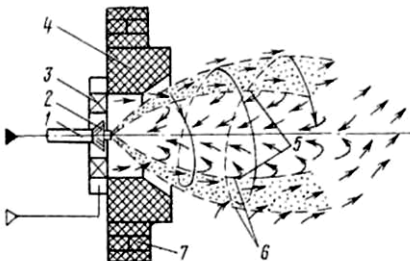


Рис. 3.3. Аэродинамическая структура факела



Рис. 3.4. Схема котла с естественной тягой

**естественной тягой, искусственным дутьем с помощью вентилятора или искусственной тягой, создаваемой дымососом.**

Естественная тяга, часто называемая самотягой, зависит от **плотностей окружающего воздуха, дымовых газов и высоты газохода.** Полной высотой газохода  $H_{дт}$  (рис. 3.4) считается расстояние от центра нижней форсунки до среза дымовой трубы. Оно составляет обычно 20—25 м.

Подсчитывается самотяга (Па) по формуле.

$$H_c = 0,981 H_{дт}(g_v + g_r). \quad (3-1)$$

где  $H_{дт}$  — **высота газохода, м;**

$g_v$  и  $g_r$  — **плотности соответственно окружающего воздуха и дымовых газов (кг/м<sup>3</sup>) при соответствующих температурах.**

У современных котлов самотяга не компенсирует всех сопротивлений воздушно-газового тракта и поэтому в дополнение к ней предусматривается установка вентиляторов, а иногда и дымососов.

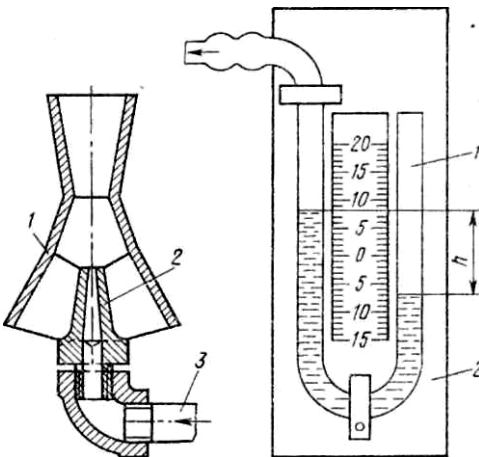
Основным элементом тягодутьевого устройства является вентилятор, получивший преимущественное распространение. На большинстве судов приводом к вентиляторам служат электродвигатели переменного тока, которые могут быть односкоростными или с несколькими ступенями скорости. На промежуточных нагрузках котла, оборудованного односкоростным вентилятором, расход воздуха обычно регулируется с помощью заслонок, устанавливаемых на стороне всасывания. При многоскоростном вентиляторе заслонки могут регулировать расход воздуха в диапазонах между ступенями скорости. Дроссельные заслонки связаны, как правило, с гидравлическим или электрическим исполнительным механизмом системы автоматического регулирования процесса горения.

Мощность двигателя вентилятора принимают исходя из условий требуемого напора и подачи воздуха при максимальной нагрузке котла.

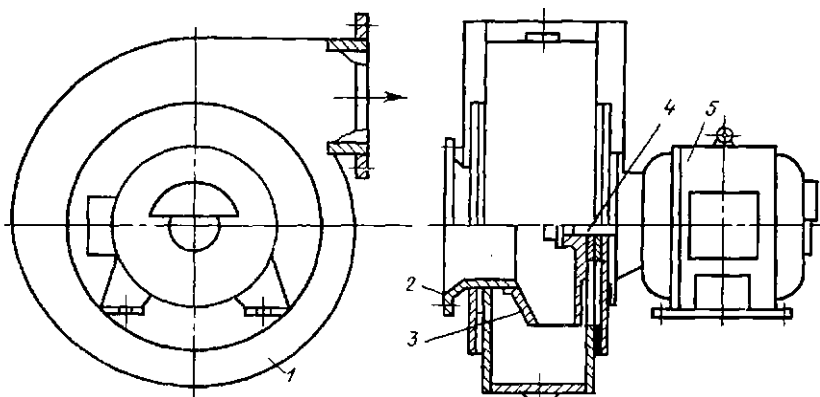
Односкоростной центробежный котельный вентилятор типа 90К-25 с подачей воздуха 2,5 м<sup>3</sup>/с при давлении 2 кПа показан на рис. 3.5. В корпусе 1 на валу 4, приводимом во вращение электродвигателем 5, закреплено рабочее

колесо 3. Воздух засасывается через приемный патрубок 2 и нагнетается в направлении, указанном стрелкой.

Вытяжная тяга осуществляется с помощью дымососа, создающего разрежение в дымоходе. Дымососы используются редко. Они могут применяться на пассажирских судах для лучшего отвода газов от дымовой трубы с целью исключения задымления палуб, могут включаться при сажеобдувке, при



применении на котле нескольких ротационных форсунок. В последнем случае, если одна из таких форсунок извлекается, то образуется большая амбразура, через которую возможен выброс пламени от работающей форсунки. Необходимо создавать в топке разрежение, что достигается установкой временного щита. Дымососы могут быть выполнены в виде вытяжного вентилятора или пароструйного эжектора. Пароструйный эжекторный дымосос (рис. 3.6) состоит из диффузора 1, расположенного в дымовой трубе, и сопла 2, установленного по его оси. Подводимый через патрубок 3 пар, выходя с большой скоростью, увлекает за собой дымовые газы, создавая разрежение в газоходе и топке котла. Применяют пароструйные дымососы обычно кратковременно, так как это связано с



**Рис. 3.5. Котельный вентилятор**

большим невозвратным расходом пара. Вытяжные вентиляторы используют редко, учитывая, что они постоянно работают в тяжелых условиях в потоке горячих газов.

В утилизационных котлах сопротивление газохода преодолевается под воздействием избыточного давления отработавших газов дизеля или газотурбинной установки.

Для измерения силы тяги используются манометры, называемые тягомерами. Широко используется U-образный тягомер (рис. 3.7), у которого один конец стеклянной трубки 1 соединен с рабочей средой, другой — с атмосферой. Трубка закреплена на планке 2 со шкалой и заполнена подкрашенной для лучшей видимости водой.

**<sup>1</sup> Глубиной регулирования называется возможность обеспечения действующей форсункой работы котла на различных режимах при хорошем качестве распыливания топлива.**

Используют иногда нерегистрирующие или регистрирующие мембранные тягомеры, работающие на принципе перемещения мембраны и связанной с

ней стрелки под действием измеряемой силы. Регистрирующие тягомеры производят одновременно запись показаний на ленту.

### §3.1. Топливная система котла

Топливная система предназначена для подготовки топлива и его бесперебойной подачи к форсункам котла. В систему входят топливные 1) ёмкости, 2) насосы, 3) фильтры, 4) подогреватели, 5) трубопроводы с арматурой и контрольно-измерительными приборами.

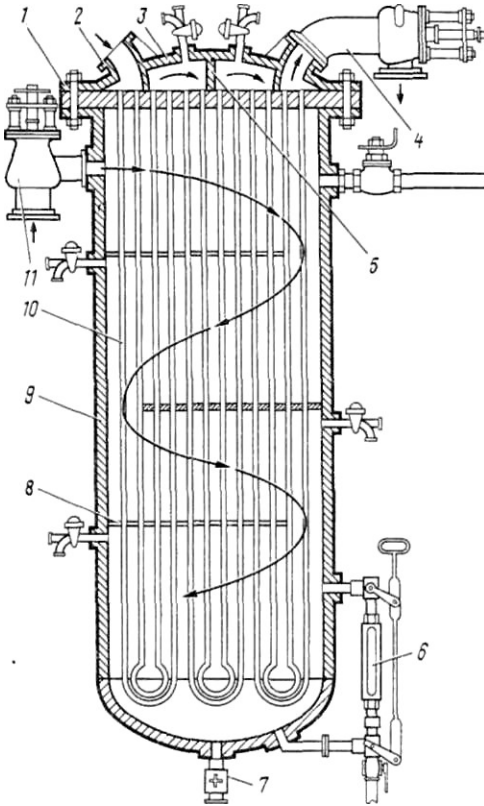
Топливные системы современных судов могут иметь арматуру, управляемую дистанционно.

1.Топливо, предназначенное для сжигания в котлах, хранится в **топливных танках** (бункерах), размещенных в междудонном пространстве или в цистернах. Некоторые топливные танки имеют немного увеличенную высоту; они называются диптанками. Топливо, находящееся в ёмкостях основного запаса, должно иметь вязкость, при которой возможна его перекачка в расходные цистерны, поэтому их оборудуют змеевиками обогрева, а приемные трубопроводы — паровыми спутниками. Паровой спутник представляет собой паропровод, проложенный совместно с топливным трубопроводом.

На судне обычно устанавливают расходные цистерны, вместимость которых соответствует 12—24-часовому расходу топлива на котлы. В этом случае они являются одновременно и отстойными. Все емкости должны быть оборудованы устройствами для замера в них уровня топлива: мерительными трубами, поплавковыми или иными устройствами в зависимости от назначения и расположения их на судне, а также иметь воздушные трубы, выведенные на открытые палубы. Воздушные трубы предназначены для сообщения танка или цистерны с атмосферой. По ним удаляются выделяющиеся из топлива газы. Верхние концы труб, выходящие на открытую палубу, имеют предохранительные колпаки с огнезащитной проволочной сеткой. Для определения количества топлива, находящегося в емкостях, их оборудуют мерительными трубами, которые выходят на открытые палубы и закрываются пробками на резьбе. Выходящие в машинное помещение мерительные трубы оборудуют самозакрывающимися приспособлениями. Емкости, расположенные в пределах машинного помещения, могут иметь также сигнализацию об их заполнении или опорожнении.

**2.Топливные насосы** используют различных типов, но наибольшее распространение получили винтовые или шестеренные электроприводные насосы.

3. Приемные и напорные **фильтры** системы применяют обычно сетчатые спаренные, благодаря чему можно поочередно очищать их без вывода системы из действия. Засорившийся фильтр отключают и после очистки фильтрующего элемента вновь вводят в действие или оставляют в резерве. Загрязненность фильтра определяют по перепаду давлений на манометрах, установленных до и после него. Предельный перепад давлений указывается в инструкциях. На напорных сетчатых фильтрах перепад давлений обычно не должен превышать 0,1 МПа. Уменьшение перепада свидетельствует о



прорыве фильтрующей сетки.

4. **Подогреватель топлива** обычно представляет собой теплообменный аппарат с петлевыми трубами, по которым движется топливо (рис. 3.1). Корпус 9 подогревателя в верхней части фланцем соединен с трубной доской 1 и крышкой 3. В трубной доске закреплены трубы 10, имеющие форму петель. Перегородка 5 в крышке и патрубки — входной 2 и выходной 4 — образуют ряд полостей, благодаря чему обеспечивается последовательный проход топлива по всем петлям. Греющий пар поступает через патрубок 11 и благодаря наличию диафрагм 8 делает в корпусе подогревателя несколько ходов. Отвод конденсата осуществляется через

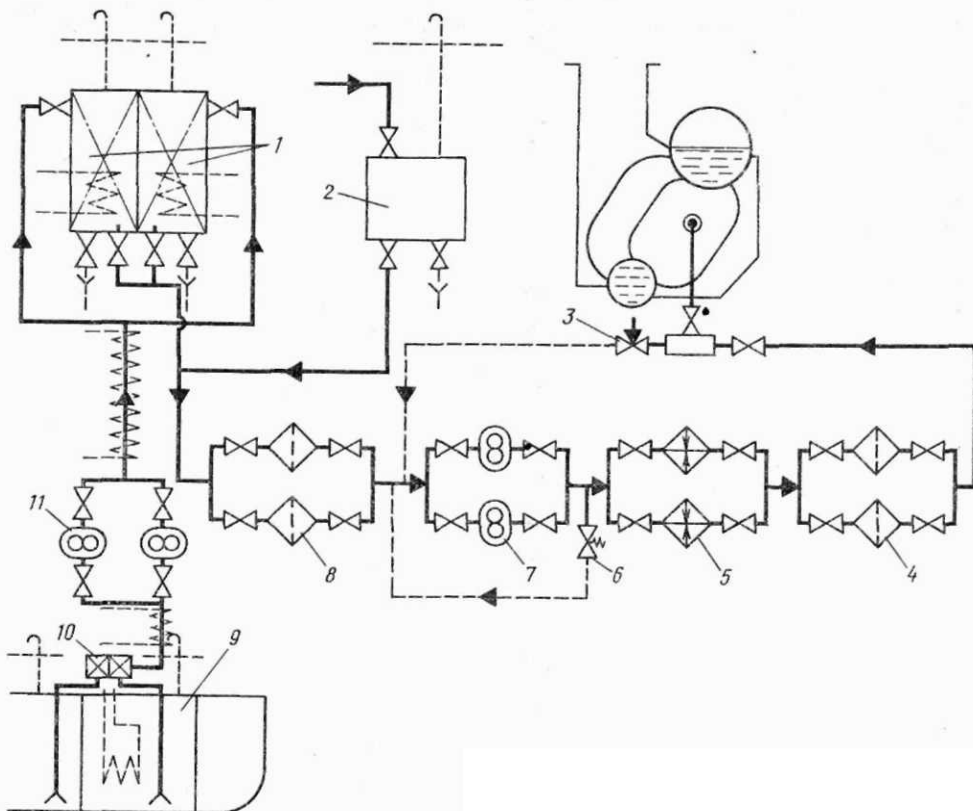
аппаратом, так как закрепление труб только в одной трубной доске дает им возможность свободно расширяться при нагревании. Подогреватель для контроля уровня оборудован водоуказательным стеклом 6.

5. В топливной системе котельной установки, работающей на мазуте (рис. 3.2), предусматриваются расходные мазутные цистерны 1 и цистерна 2 дизельного топлива. Дизельное топливо, не требующее первоначального подогрева, используется при растопке котла. Топливо из танка 9 через

Рис. 3.1. Подогреватель топлива клапан 7. Подогреватель петлевого типа является достаточно надежным теплообменным

клапанную коробку 10 забирается одним из топливоперекачивающих насосов 11 и подается в расходную цистерну 1. Один из топливно-форсуночных насосов 7 забирает через фильтр 8 топливо из расходной цистерны и нагнетает его через подогреватель 5 и фильтр 4 к форсунке котла. В схеме предусмотрен сброс топлива через предохранительный клапан 6 из нагнетательной магистрали насоса 7 в его приемную магистраль при перекрытии нагнетательной ветви трубопровода, а также сброс через регулирующий клапан 3 излишков топлива в случае уменьшения нагрузки котла.

Требования к топливным системам котлов регламентированы Правилами Регистра, основными из которых являются следующие:



- система должна оборудоваться не менее чем двумя комплектами топливных насосов и фильтров на приемной и нагнетательной магистралях, а также двумя комплектами подогревателей топлива. Каждый комплект



должен быть рассчитан на полную паропроизводительность обслуживаемых котлов;

- насосы, обслуживающие топливную систему, не должны использоваться для других целей. Эти насосы, помимо местного поста управления, должны иметь средства для остановки их из легкодоступных мест вне помещения, в котором они расположены;

- на трубопроводе, подающем топливо к форсункам каждого котла, должен быть установлен быстрозапорный клапан;

- подогревать топливо в танках и цистернах можно только при помощи паровых или водяных змеевиков, при этом давление пара допускается не выше 0,7 МПа. Максимальная температура подогрева в цистернах должна быть не менее чем на 10 °С ниже температуры вспышки паров топлива;

- расходные и отстойные цистерны должны иметь клапаны самозапорного типа для спуска отстоя. Сточные трубы оборудуются смотровыми стеклами или воронками с поддоном;

- топливные трубопроводы должны располагаться в стороне от трубопроводов других систем, в хорошо видимых и доступных местах, не проходить над двигателями, паропроводами, котлами, выпускными коллекторами и дымоходами.

#### Контрольные вопросы

1. Топливо каких марок может использоваться во вспомогательных котлах и какие к нему предъявляются требования?

2. Какие элементы входят в состав органического топлива и какие из них являются горючими?

3. Что такое условное топливо, как и для чего производят пересчет натурального топлива в условное?

1. Какими показателями характеризуется качество топлива и какое значение они имеют при эксплуатации котельной установки?

2. Что такое коэффициент избытка воздуха?