3 Лекция

Энергетическое топливо. Виды топлив. Классификация органических топлив. Состав твердого, жидкого и газообразного топлива. Теплотехнические характеристики топлива.

3.1 Энергетическое топливо. Виды топлив

Топливом называется горючее вещество, используемое в качестве источника получения теплоты в энергетических, промышленных и отопительных установках. В зависимости от типа реакций, в результате которых выделяется теплота из топлива, различают *органическое* и *ядерное* топливо.

Таблица 3.1 - Классификация органических топлив

Топливо	Агрегатное состояние		
	Твердое	Жидкое	Газообразное
Природное	Дрова, торф, бурые и каменные угли, антрацит, горючие сланцы	Нефть	Природный газ
Искусственное	Древесный уголь, полукокс, кокс, угольные и торфяные брикеты	Мазут, керосин, бензин, соляровое масло, газойль, печное топливо	Газы нефтяной, коксовый, генераторный, доменный, газ подземной газификации

Основным «*горючим*» элементом в твердом топливе является углерод.

Газообразное топливо существует в нескольких формах: природный газ; попутный газ, получаемый из недр земли при добыче нефти; доменный и коксовый газы, получаемые при металлургическом производстве. Преимущество природного газа состоит в легкости транспортировки по газопроводам и относительной экологической безопасности: при его сжигании, не возникает вредных выбросов (кроме оксидов азота). В связи с чем, газ используют для котельных и ТЭЦ крупных городов. Из многочисленных *жидких топлив* на ТЭС используют *мазут* и *дизельное топливо*.

3.2 Технические характеристики топлив

3.2.1 Элементарный состав топлива

Твердые и жидкие топлива состоят из следующих сложных органических соединений, образованных в основном пятью химическими элементами - углеродом (*C*, водородом (*H*), серой (*S*), кислородом (*O*) и азотом (*N*). В состав топлива входят также влага (*W*) и негорючие твердые (минеральные) вещества, которые после сгорания образуют сухой остаток - золу (А).

По составу исходной массы топлива (при разном его состоянии) выделено несколько видов так называемых расчетных масс: *рабочая, аналитическая, сухая, горючая* (см. рисунок 3.1).

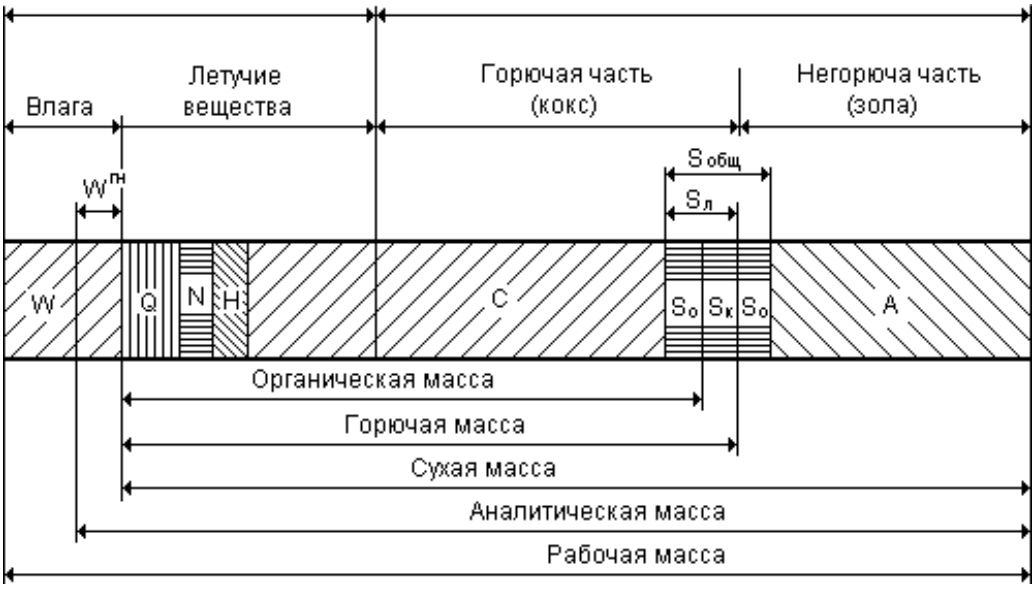


Рисунок 3.1 - Состав исходной массы топлива

Горючими элементами топлива являются: углерод *C*, водород *H*, сера *S*. Основным горючим элементом является углерод *C* (20÷85 %), при горении: $C+O_2=>CO_2+$**34** МДж/кг. Наибольшей теплотой сгорания обладает водород: $2H_2+O_2=>2H_2O+$**121** МДж/кг, но его содержание в топливе составляет 2÷11 %.

Сера является вредной примесью, т.к. при сгорании образующиеся оксиды серы оказывают вредное воздействие на окружающую среду и приводят к развитию сернокислотной коррозии металла котла.

$$S_{общ}=S_{гор}+S_{негор}=(S_{орг}+)+S_{сульф}, \quad (3.1)$$

где $S_{орг}$ - содержится в органических соединениях;

$S_{колч}$ - содержится в колчедане (FeS_2): $FeS_2 + O_2 => Fe_2O_3 + 3O_2$;

$S_{сульф}$ - содержится в сульфатах минеральной части топлива ($CaSO_4$, $MgSO_4$, $FeSO_4$).

При сгорании: $S+O_2=>SO_2+$**9** МДж/кг. Общее содержание $S_{общ}$ =0,1÷6 %.

Влага *W* и зола *A* составляют *внешний балласт топлива*, а кислород *O* и азот *N* - *внутренний его балласт*.

Газообразное топливо представляет собой смесь горючих и негорючих газов. Природный газ характеризуется высоким содержанием метана CH_4 (86-95%), а также небольшого количества других углеводородов: этана (C_2H_6), пропана (C_3H_8), бутана (C_4H_{10}), этилена (C_2H_4), и пропилена (C_3H_6). В искусственных газах содержание горючих составляющих достигает 25-45 %, в балласте преобладают азот и углекислота: 55-75 %.

Состав газообразного топлива задается в объемных долях:

$$\Sigma C_nH_{2n+2} + \Sigma C_nH_n + H_2 + CO + H_2S + O_2 + N_2 + CO_2 = 100\ \%, \quad (3.2)$$

где ΣC_nH_{2n+2} - предельные углеводороды;

ΣC_nH_{2n} – непредельные угловодороды;

H_2S – сернистый водород;

CO – окись углерода; CO_2 - углекислый газ.

3.2.2 Общие характеристики топлив

1) *Теплота сгорания* - количество теплоты, которое может быть получено при полном сгорании единицы массы или объема топлива.

Полным сгоранием называется такое, при котором горючие компоненты топлива *C, H* и *S* полностью окисляются кислородом. Теплоту сгорания твердого и жидкого топлива относят к 1 кг, а газового - к 1 $м^3$ при нормальных условиях. Различают *низшую* и *высшую* теплоту сгорания. При известном элементарном составе топлива теплоту сгорания (кДж/кг) определяют по эмпирическим формулам, предложенной Д.И.Менделеевым:

$$Q^р_н = 340C^р + 1035H^р – 109(O^р - S^р_л) – 25W^р;$$
$$Q^р_в = 340C^р + 1260H^р – 109(O^р - S^р_л). \quad (3.3)$$

Теплота сгорания сухого газа (кДж/$м^3$) определяется по формуле:

$$Q^р_н = 358CH_4 + 640C_2H_6 + 915C_3H_8 + 1190C_4H_{10} + 1465\ C_5H_{12} + +126{,}5\ CO + 107{,}5H_2 + 234H_2S;$$
$$Q^р_в = 398CH_4 + 700C_2H_6 + 995C_3H_8 + 1285\ C_4H_{10} + + 1575\ C_5H_{12} + +126{,}5\ CO + 127{,}5H_2 + 257H_2S. \quad (3.4)$$

Для сравнения различных видов топлива по их тепловому эффекту вводят понятие *условного топлива* ($Q_{у.т}$ =29 310 кДж/кг или 7 000 ккал/кг).

Отношение $Q^р_н$ данного топлива к $Q_{у.т.}$ условного топлива называется *топливным эквивалентом:*

$$Э = Q^р_н / Q_{у.т}. \quad (3.5)$$

Тогда для расчета расхода натурального топлива $B_н$ в условное $B_{у.т}$, достаточно величину $B_н$ умножить на эквивалент Э, т.е. $B_{у.т.} = B_н * Э$

2) *Зольность* – определяет содержание минеральных примесей. Наибольшее количество примесей имеют твердые топлива. Примеси попадают в топливо главным образом при его добыче из окружающих пород и состоят в основном из глины $Al_2O_3{*}2SiO_2{*}2H_2O$, силикатов SiO_2 и железного колчедана FeS_2. В состав примесей, кроме того, входят сульфаты кальция и железа, оксиды различных металлов, фосфаты, щелочи, хлориды и т.п. При сжигании топлива минеральные примеси в зоне высоких температур ядра факела претерпевают ряд превращений, в процессе которых образуется зола.

Минеральные твердые примеси в небольшом количестве попадают также в нефть в процессе ее добычи и переходят после переработки нефти в мазут. Зольность мазута обычно составляет не более 0,1 %. Природный газ не имеет минеральных твердых примесей, и его балласт составляют негорючие газовые компоненты.

Свойства золы играют большую роль в организации работы КУ. Часть золы, расплавленной в ядре факела, в условиях турбулентного перемешивания объединяется (слипается) и, становясь крупными тяжелыми частицами, выпадает в нижнюю часть топочной камеры в виде шлака. Другие расплавленные частицы золы, двигаясь вместе с газами, налипают на настенные топочные экраны и затвердевают на них.

Это явление называют *шлакованием экранов.*

Мельчайшие твердые частицы золы подхватываются потоком топочных газов и уносятся из топочной камеры, образуя летучую золу. Зола загрязняет конвективные поверхности нагрева и снижает их тепловую эффективность.

Особенностью золы мазута является наличие в ней ванадия, интенсифицирующего образование плотных отложений на поверхности нагрева. Оксиды ванадия, кроме того, в определенной зоне температур вызывают коррозию этих поверхностей.

3) *Влагосодержание*, как и зольность топлива, относится к его балласту и снижает теплоту сгорания. Влага в твердом топливе разделяется на внешнюю $W_{внш}$ и внутреннюю $W_{внт}$. $W_{внш}$ механически удерживается на поверхности топлива за счет смачивания, и ее количество в натуральном топливе зависит от его фракционного состава: влаги тем больше, чем мельче топливо, а значит, сильнее развита его поверхность. Существенное влияние оказывают на наличие $W_{внш}$ атмосферные условия, при которых хранится или перевозится топливо. $W_{внт}$ входит в органическое вещество топлива.

Принято внутреннюю влагу называть гигроскопической $W^{гu}$ (в бурых углях - 10÷13 %, в каменных углях 3÷8 %, в антрацитах и полуантрацитах 1,5÷2,5 %). В жидком топливе (мазуте) влага присутствует обычно в небольшом количестве (1÷3 %), а в отдельных случаях (обводненные мазуты) - до 12 %, что связано с разогревом вязких мазутов перед их сливом высокотемпературным паром путем непосредственного ввода пара в массу мазута.

В природных газах практически нет влаги, газ обезвоживается перед поступлением его в газопровод.

Наличие влаги в топливе $\downarrow Q^{р}_{н}$, что ведет к $\uparrow$ его расхода. При этом $\uparrow$ объемы продуктов сгорания, $\uparrow$ потери теплоты с уходящими газами, расход энергии на подготовку топлива и удаление продуктов сгорания. Повышенная влажность твердого топлива затрудняет нормальное его движение по топливному тракту за счет потери сыпучести, в зимнее время дополнительно появляется явление смерзаемости топлива.

4) *Серосодержание (сернистость).* Сера имеет невысокую теплоту сгорания, а продукты ее сгорания (оксиды серы SO_2 и SO_3) оказывают вредное воздействие на окружающую среду и рабочие поверхности котельной установки. Сера в твердом топливе находится частично в составе органической массы, в горючей массе в форме сульфата железа (колчедана FeS_2), а также входит в минеральную часть (в виде сульфатов типа $CaSO_4$, Na_2SO_4 и т.д.). Сульфатная сера полностью окислена и в процессе горения не участвует.

В мазуте сера присутствует главным образом в составе серо-органических соединений и в меньшей части в форме сероводорода и элементарной серы, растворенной в углеводородных смесях. По содержанию серы топливные мазуты разделяются на сернистые (0,5 - 1,5 %) и высокосернистые (1,5 - 3,5 %).

В природном газе сера присутствует в основном в форме газообразного сероводорода H_2S, количество которого достигает в отдельных случаях 0,8 % объема газа.

5) Приведенные характеристики топлива. С увеличением балласта уменьшается горючая часть топлива и одновременно снижается его $Q^p_н$. Для обеспечения заданной паропроизводительности котла потребуется увеличить расход топлива, и значит, еще более увеличится поступление балласта в котел. Поэтому процентное содержание влаги и золы в 1 кг топлива не является достаточной мерой их расхода через котел и выброса в окружающую среду. Более полную характеристику соотношения массовых расходов при сжигании различных топлив дает выраженное в процентах содержание химических элементов и балласта, отнесенное к 1 МДж $Q^p_н$, которое называется *приведенной характеристикой.*

В практике пользуются тремя характеристиками: *приведенная влажность* ($W^п=W^p/Q^p_н$), *зольность* ($A^п=A^p/Q^p_н$) и *сернистость* ($S^п=S^p/Q^p_н$).

3.2.3 Технические характеристики отдельных видов топлив

Твердое топливо

Выход летучих веществ. Если твердое топливо постепенно нагревать в инертной среде без доступа воздуха, то при высоких температурах сначала выделяются водяные пары, а затем происходит разложение кислородосодержащих молекул топлива с образованием газообразных веществ, получивших название *летучие вещества* (CO, H_2, CO_2, C_mH_n, H_2S, CN и др.).

Выход летучих веществ из твердых топлив происходит в интервале температур от 160 до 1100 °С и определяется содержанием кислорода в топливе:

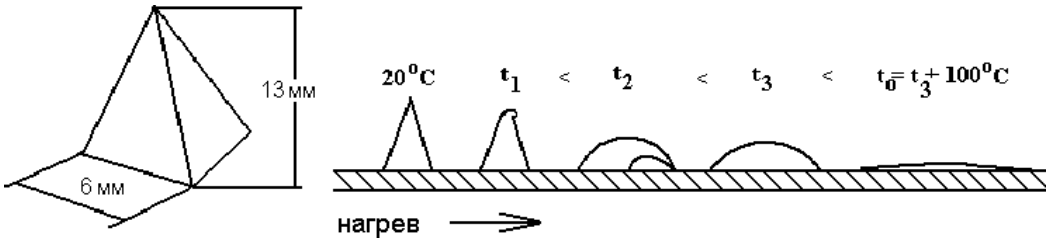
$$V^p_л = V^г_л \cdot (100 - W^p - A^p)/100. \qquad (3.6)$$

Летучие вещества, выделившиеся из топлива, обеспечивают более раннее воспламенение оставшейся твердой частицы, так как летучие вещества воспламеняются при более низкой температуре (350÷600 °С), чем твердый остаток (950÷1000 °С), и нагревают твердую частицу до воспламенения. Влияние летучих веществ существенно на начальной стадии горения топлива: чем выше выход летучих веществ, тем быстрее воспламеняется топливо и тем глубже оно выгорает. В связи с этим выход летучих веществ оказывает непосредственное влияние на организацию топочного процесса, выбор объема топочной камеры, эффективность (полноту) сжигания топлива.

Структура кокса. Твердый остаток, который получается после нагревания топлива (без доступа окислителя) и выхода летучих веществ называется *коксом*. В состав кокса входят остаточный углерод и зола. При низких температурах в твердом остатке кроме золы может оказаться часть элементов (C, H, $S_л$, N). Тогда твердый остаток называется *полукоксом*.

По своим механическим свойствам кокс может быть порошкообразным, слабоспекшимся и спекшимся. В зависимости от выхода летучих веществ и характеристики кокса каменные угли разделяются на 10 марок: длиннопламенный - *Д*, газовый - *Г*, газовый жирный – *ГЖ*, жирный – *Ж*, коксовый жирный - *КЖ*, коксовый - *К*, коксовый второй – $К_2$, отощенный спекающийся – *ОС*, слабоспекающийся–*СС*, тощий – *Т*.

Температурные характеристики золы. Поскольку золовые частицы представляют собой смесь минералов с различной температурой их плавления, состояние золы при высокотемпературном нагреве характеризуется следующими температурными точками: t_1 - начало деформации золовой пирамидки; t_2 - начало размягчения золы; t_3 - температура жидкоплавкого состояния золы, t_0 - температура истинно жидкого состояния.



Мазут.

Важнейшей технической характеристикой, определяющей текучесть и условия применения мазута, является *вязкость*, которая существенно зависит от температуры и оказывает сильное влияние на продолжительность сливно-наливных операций, эффективность транспортировки по трубопроводам, качество распыления мазута перед сжиганием в топках и полноту его сжигания, а также на способность отстаивать содержащуюся в нем воду.

*Плотность***.** Обычно пользуются относительной плотностью мазута (плотностью по отношению к плотности воды при температуре 20°С), которая составляет ρ_{20} = 0,99÷1,06.

Температура вспышки и воспламенения - это температура, при которой пары мазута над поверхностью жидкой фазы кратковременно воспламеняются при поднесении источника огня. Температурой воспламенения считается такая температура паров в смеси с воздухом, при которой после вспышки продолжается устойчивое горение не менее 5 секунд. Эта температура обычно на 15-20°С выше, чем при вспышке. Мазут, сжигаемый на электростанциях, имеет температуру вспышки 135÷245°С, поэтому во избежание пожара температура подогрева мазута в открытых системах всегда должна быть ниже температуры вспышки (≤10°С).

Газ.

Плотность. Почти все виды газового топлива легче воздуха, поэтому проникший в помещение газ скапливается под верхними перекрытиями. В целях безопасности перед пуском котла проверяют отсутствие газа в вероятных местах его скопления.

Взрываемость. Смесь горючего газа с воздухом в определенных пропорциях при вводе в эту смесь источника огня может взорваться. Взрывоопасные концентрации горючего газа в воздухе зависят от химического состава и свойств газа. При этом выделяют нижний предел взрываемости и верхний предел взрываемости (наибольшая концентрация газа в воздухе), между которыми смесь газа с воздухом взрывоопасна.

Токсичность. Под токсичностью понимают способность газового топлива вызывать отравление. Наиболее опасными в этом отношении компонентами являются оксид углерода (CO) и сероводород (H_2S). Предельно допустимая концентрация CO в воздухе составляет 0,0024 % (0,03 мг/л), а опасна для жизни 0,4 % (при воздействии в течение 5÷6 минут).

Сернистые соединения в большинстве природных газов практически отсутствуют. В природном газе все его компоненты перемешаны равномерно и если состав газа известен, то концентрацию в воздухе вредных газов можно установить по присутствию в воздухе метана, процентное содержание которого определяют прибором - *метаномером*. Почти все природные газы совсем не имеют запаха или имеют весьма слабый запах. Для своевременного обнаружения утечки газа и принятия мер безопасности газовое топливо до поступления в газовую магистраль «*одорируют*», т.е. придают характерный острый запах введением сернистого соединения - меркаптана.