

СӘТБАЕВ
УНИВЕРСИТЕТИ



SATBAYEV
UNIVERSITY

Теплота сгорания топлива и его характеристики. Технические характеристики и основные свойства твёрдых, газообразных и жидких ТОПЛИВ

Преподаватель: Кафедра «Энергетики», PhD доктор,
ассоциированный профессор Онгар Булбул

b.ongar@satbayev.university

Введение

- 1 Располагаемая теплота сгорания топлива;
- 2 Тепловой баланс котла;
- 3 Системы тяги и дутья котла;
- 4 Уравновешенная тяга и тяга под наддувом;
- 5 Автоматическое регулирование рабочих параметров котла;
- 6 Регулирование температуры перегретого пара ;
- 7 Схемы регулирования параметров пара;
- 8 Регулирование дутья и тяги;
- 9 Классификация топлива;
- 10 Методы сжигания газа в факеле;
- 11 Определение теоретического и действительного расхода воздуха на горение топлива.

Располагаемая теплота сгорания топлива

Для твердых топлив, кДж/кг ; для газомазутных топлив, кДж/м^3 :

$$Q_p^p = Q_n^p + Q_{в.вн} + Q_{ф.т} + Q_{\delta} - Q_k$$

Q_n^p - низшая теплота сгорания рабочей массы топлива;

$Q_{в.вн}$ - теплота, вносимая в топку воздухом при подогреве его вне котла (калорифером на паре и др.);

$Q_{ф.т}$ - физическая теплота топлива при внешнем подогреве;

Q_{δ} - теплота, вносимая с паровым дутьем;

Q_k - теплота, затрачиваемая на разложение карбонатов в топливе.

Коэффициент полезного действия брутто котла :

$$\eta_{\text{брутто}} = q_1 = 100 - \sum_{i=2}^6 q_i, \quad q_i - \text{потери тепла в котле}$$

Коэффициент полезного действия нетто котла будет равен

$$\eta_i = \eta_{\text{брутто}} - \frac{Q_{ср}}{B \cdot Q_p^p}$$

где $Q_{ср}$ – расход тепла на собственные нужды, кДж

Тепловой баланс котла

- В процессе паропроизводства неизбежны потери. Для определения к.п.д. составляется тепловой баланс котла:

$$Q_p^p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \text{ или } 100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6, (\%),$$

- где Q_1, q_1 - использованная в котле теплота для производства перегретого пара, кДж/кг и $\%$ соответственно;
- Q_2, q_2 - потери тепла с уходящими газами, кДж/кг и $\%$;
- Q_3, q_3 - потери тепла от химического недожега, кДж/кг и $\%$, газообразные горючие элементы $\text{CO}, \text{H}_2, \text{CH}_4$ могут не сгореть в котельном агрегате из-за пониженной температуры или недостатка кислорода;
- Q_4, q_4 - потери тепла от механического недожега, кДж/кг и $\%$, в связи с тем что часть топлива, поступающего в топку не участвует по разным причинам во всех стадиях горения; $q_4 \approx 0,5 \div 5,0 \%$;
- Q_5, q_5 - потери тепла от наружного охлаждения котла, кДж/кг и $\%$, т.к. стены котла и труб частично охлаждаются окружающим воздухом;
- Q_6, q_6 - потери тепла с физической теплотой шлака, кДж/кг и $\%$, покидающего топку котла.

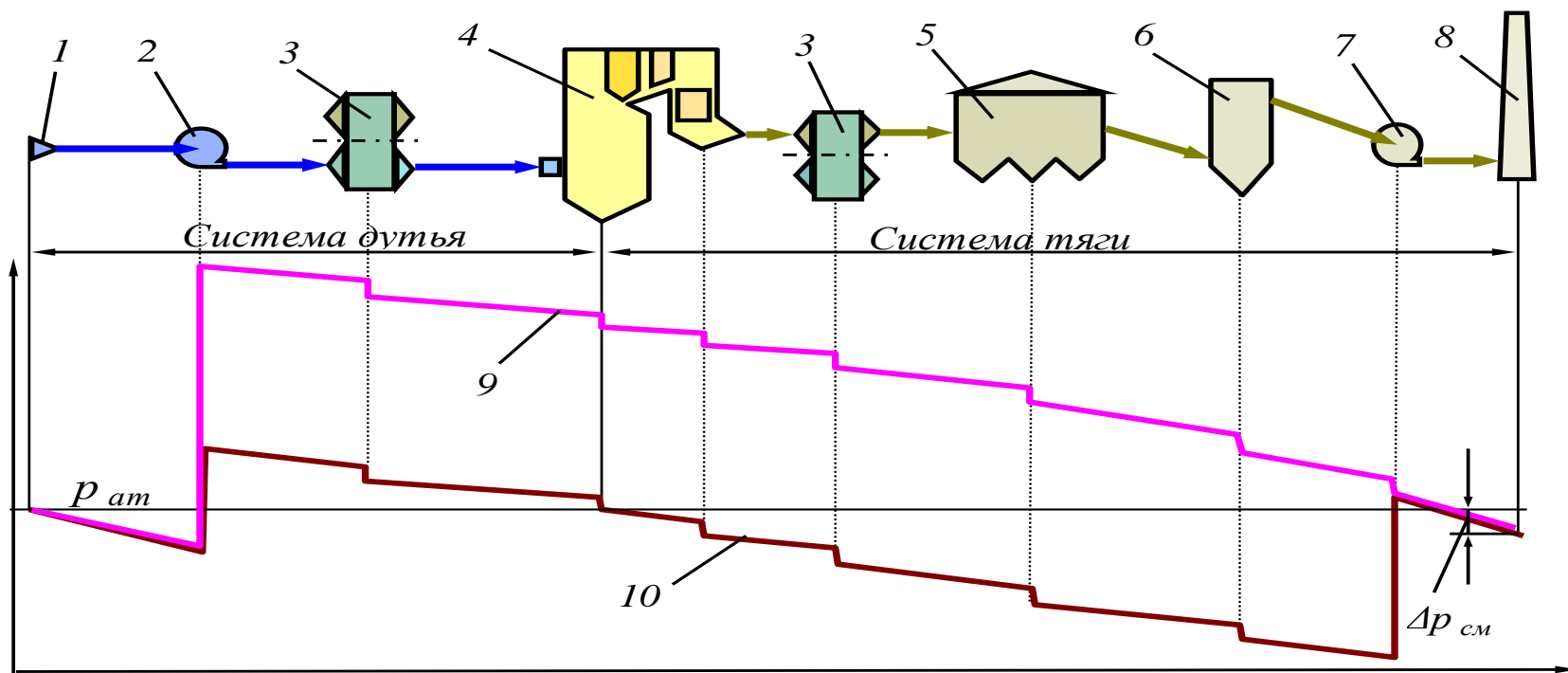
Системы тяги и дутья котла

- При работе котла требуется непрерывный подвод воздуха к горелкам и удаление продуктов сгорания. Это обеспечивается за счет:
 - естественной тяги (самотяга);
 - уравновешенной тяги;
 - работы котла под наддувом.
- *Естественная тяга* (Па, мм.в.ст.) создается за счет разности статических давлений атмосферного воздуха и столба дымовых газов в вертикальной или наклонной дымовой трубе:
- Самотяга всегда направлена вверх. В дымовой трубе при разности температур воздуха и дымовых газов в 120°C самотяга составляет 0,4 мм.в.ст. на 1 м. высоты дымовой трубы. При высоте трубы, например, в 100
- Для современных котлов при больших объемах, выбрасываемых газов, такая тяга недостаточна.

Уравновешенная тяга и тяга под наддувом

Современные котлы работают с *уравновешенной тягой*, когда подача воздуха в котел осуществляется дутьевым вентилятором, а удаление газов - дымососом. В этом случае весь газовый тракт котла находится под разряжением.

При *работе котла под наддувом* в системе тяги нет дымососа. Он может устанавливаться только для резерва. В этом случае все оборудование систем дутья и тяги котельной установки находится под давлением и поэтому должно быть герметичным.



Автоматическое регулирование рабочих параметров котла

Автоматическое регулирование котлоагрегата предназначено для:

- поддержания в оптимальном режиме эксплуатационных, рабочих параметров;
- обеспечения режимов пуска и останова котла;
- предотвращения аварийных ситуаций на котельной установке;

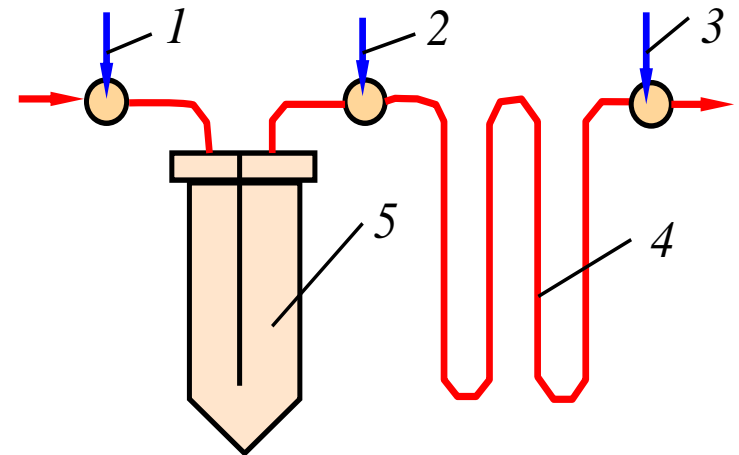
Автоматическое регулирование состоит из следующих регуляторов:

- температуры перегретого пара;
- питания котла питательной водой и уровня в барабане;
- питания котла топливом;
- дутья и тяги

Регулирование температуры перегретого пара

на выходе из котла выполняется :

- впрыском котловой воды в коллекторы пароперегревателя;
- байпасированием части пара меньшей температуры;
- паропаровым теплообменником;
- газовым регулированием; рециркуляцией уходящих газов



Регулирование температуры перегретого пара

При регулировании впрыском необходимо чтобы температура пара была выше заданной. Тогда регулирующий орган (впрыск) снижает температуру пара до требуемой величины. Впрыск может осуществляться в выходном коллекторе (3), в рассечку (2) и до пароперегревателей (1).

Каждый из этих способов регулирования имеет свое запаздывание.

Самое большое запаздывание при регулировании впрыском до пароперегревателей (1). Оно составляет до 150 с.

Наименьшую инерционность имеет схема с впрыском после пароперегревателей – до 10 ÷ 15 с. Однако в этом случае температура пара в последнем пароперегревателе должна быть выше заданной и может при этом колебаться, что нежелательно для металла труб, из которых выполнен пароперегреватель.

Наиболее рационально применять регулирование температуры пара впрыском в рассечку. Запаздывание при таком способе регулирования составляет 50 ÷ 70 с

Схемы регулирования параметров пара

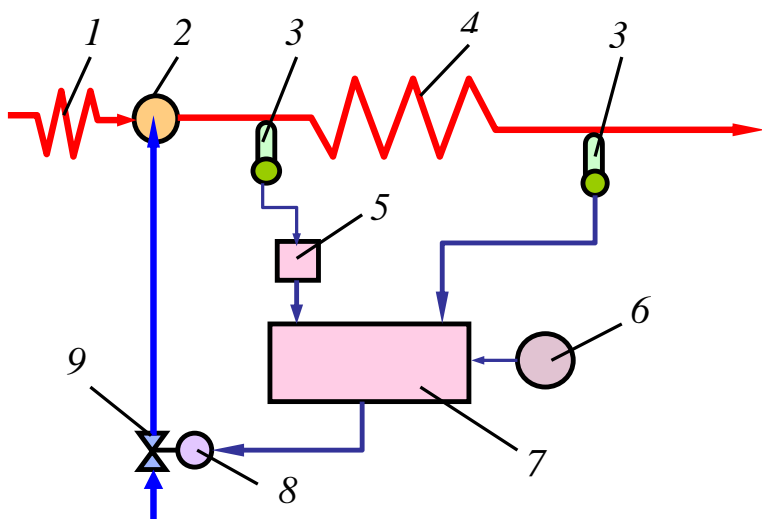
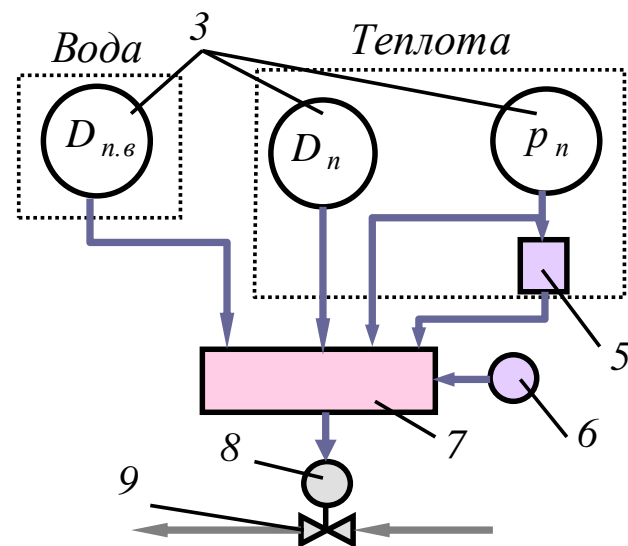


Схема автоматического регулирования температуры пара для барабанных котлов.

При регулировании температуры пара на прямоточных котлах используются более сложные регуляторы. Для прямоточных котлов применяются два и более регулятора с 2 ÷ 3 сигналами на входе.

Регулирование тепловой нагрузки особенно прямоточных котлов требует совместного и согласованного регулирования расходов топлива и питательной воды. Наиболее распространенный способ такого регулирования по соотношению «вода — теплота»



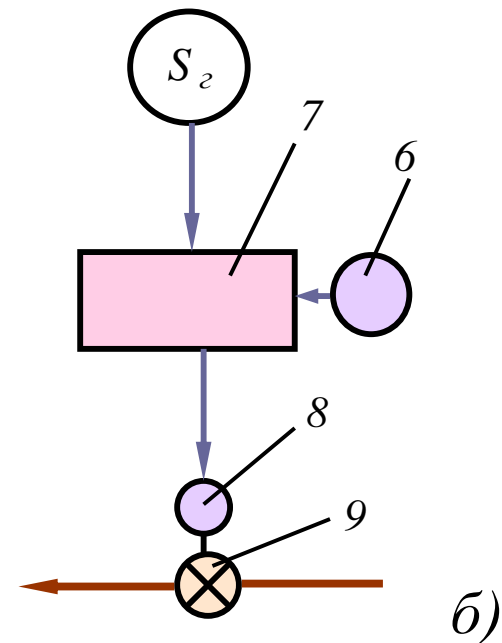
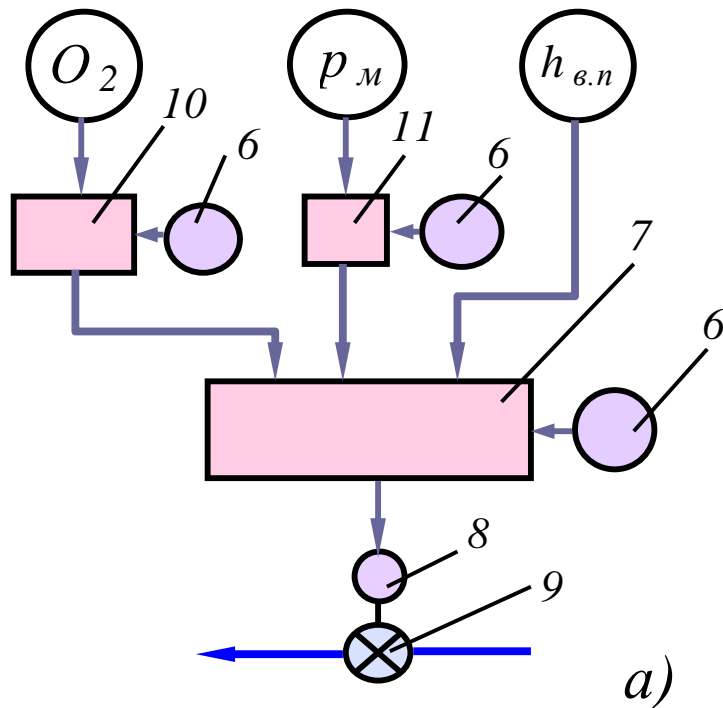
Регулирование дутья и тяги

Регулирование дутья (а) осуществляется по соотношениям:

- топливо – воздух;
- теплота – воздух;
- нагрузка – воздух

Регулирование тяги (б) осуществляется только одним сигналом.

Регулирующим органом являются поворотные лопатки на турбомашине



КЛАССИФИКАЦИЯ ТОПЛИВА

По способу получения органическое топливо делится на:

- естественное;*
- искусственное.*

Ископаемое твердое топливо (за исключением сланцев) является продуктом разложения органической массы растений

ВИДЫ ИСКОПАЕМОГО ТВЁРДОГО ТОПЛИВА

Торф - перегнившие остатки болотных растений.

Бурые угли – землистая масса, которая при длительном хранении на воздухе окисляется и рассыпается в порошок.

Каменные угли - обладают повышенной прочностью. Наиболее старый – антрацит – на 93 % состоит из углерода.

Древесина – местное топливо.

ГОРЮЧИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТОПЛИВА

- ▶ **углерод - C;**
- ▶ **водород - H;**
- ▶ **сера - S.**

СОСТАВ ТОПЛИВА

У твердых и жидких видов топлива органическая часть состоит из сложных химических соединений, образованных пятью химическими элементами:

**углерод (C), водород (H), сера(S),
кислород (O), азот (N).**

СОСТАВ ТОПЛИВА

Топливо так же содержит **влагу (W)** и минеральные примеси, которые при сжигании превращаются в **золу (A)**.

Поэтому для упрощения химический состав выражается содержанием элементов в %, т.е. по **элементному составу топлива**.

ГОРЮЧИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ТОПЛИВА - УГЛЕРОД, ВОДОРОД И СЕРА

➤ *Углерод*

- основной горючий элемент топлива, имеет высокую теплоту сгорания (34,4 МДж/кг) и составляет основу горючей массы топлива (от 40 % у древесины до 93 % у антрацита).

➤ Водород

имеет высокую теплоту сгорания (120,5 МДж/кг), содержание: 2...4% в твердом и 10...11% в жидком топливе.

➤ Сера

имеет теплоту сгорания 9,3 МДж/кг. Содержание в топливе - 0,3...0,5 %, поэтому не представляет ценности как горючий элемент.

ПРИСУТСТВИЕ СЕРЫ В ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ

- в органическом виде S_{op} ;
- в составе горючих минеральных веществ S_{II} (пиритная или колчеданная сера FeS_2 , CuS);
- в составе негорючих минеральных веществ $S_{сфт}$ (сульфатная сера $CaSO_4$, $MgSO_4$).

ОСНОВНЫЕ СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВА

Рабочее состояние (рабочая масса) – это состояние топлива с таким содержанием влаги и зольностью, с которым оно добывается, отгружается или используется (верхний индекс - **p** или международный - **r**):

$$C^p + H^p + S^p + O^p + N^p + A^p + W^p = 100\%$$

ОСНОВНЫЕ СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВА

Аналитическое состояние – состояние топлива, характеризуемое подготовкой пробы (размолотом до размеров частиц 0,2 мм и уменьшением содержания влаги $W^a < W^p$):

$$C^a + H^a + S^a + O^a + N^a + A^a + W^a = 100\%$$



Методы сжигания газа в факеле

- ❖ *кинетический* – газ предварительно смешивается с окислителем, горение смеси осуществляется вне пределов смесителя (скорость горения $i_{\text{гор}} = i_{\text{хим}}$);
- ❖ *диффузионный* - в процессе смешивания горючего газа с воздухом, газ и воздух поступают раздельно ($i_{\text{гор}} = i_{\text{физ}}$).
- ❖ *диффузионно-кинетический* (газ смешивают с воздухом, затем в зону горения подается дополнительный воздух).

Теплота сгорания топлива

Теплота сгорания топлива - количество теплоты, выделяемое при полном сгорании единицы количества топлива [Дж/м³ , Дж/кг].

Высшая теплота сгорания топлива (Q_B)- количество теплоты, выделяемое при полном сгорании единицы количества топлива при условии перевода влаги продуктов сгорания из газообразного состояния в жидкость с температурой $t = 0^\circ\text{C}$.

Теплота сгорания топлива

Низшая теплота сгорания топлива (Q_H)- количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании единицы количества топлива при условии, что влага продуктов сгорания находится в виде пара, охлажденного до 20°C .

$$Q_V^P - Q_H^P \approx G_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \gamma,$$

где $G_{\text{H}_2\text{O}}$ - масса влаги, содержащаяся в продуктах горения на единицу количества топлива (кг/м или кг/кг);
 γ - теплота парообразования, условно принимаемая равной 2,51 МДж/кг.

Газообразное топливо

Горючая часть - смесь горючих газов:

H_2 - водород, H_2S - сероводород,

CO - оксид углерод, CH_4 – метан

C_mH_n - углеводороды.

Балласт - смесь газов:

O_2 - кислород, N_2 - азот, CO_2 - диоксид углерода (углекислого газа), H_2O - пары воды, SO_2 – сернистый ангидрид.

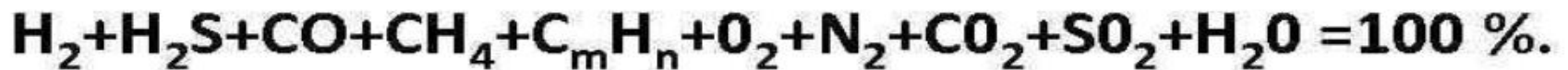
Ориентировочная теплота сгорания газов:

CH_4 - 35,8 МДж/м³, CO -12,6 МДж/м³,

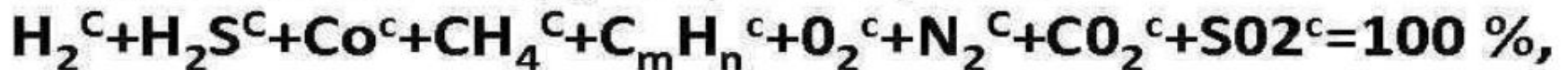
H_2 - 10,8 МДж/м³.

Газообразное топливо

Влажное топливо (т.н. **рабочее**), без дополнительной обработки после добычи и транспортировки, раскладывается на составляющие:



Если газ подвергнут сушке (**сухое топливо**), состав записывается следующим образом:



где H_2^c , H_2S^c , CO^c , CH_4^c , $C_m H_n^c$, O_2^c , N_2^c , CO_2^c , SO_2^c - объемные доли составляющих веществ в единице объема топлива, %.

Индекс "с" означает – сухое топливо.

Расчеты горения топлива

Целью расчета горения является определение:

- расхода окислителя ;
- выхода продуктов сгорания;
- состава продуктов сгорания, %:
- максимально возможной температуры дыма, °С.

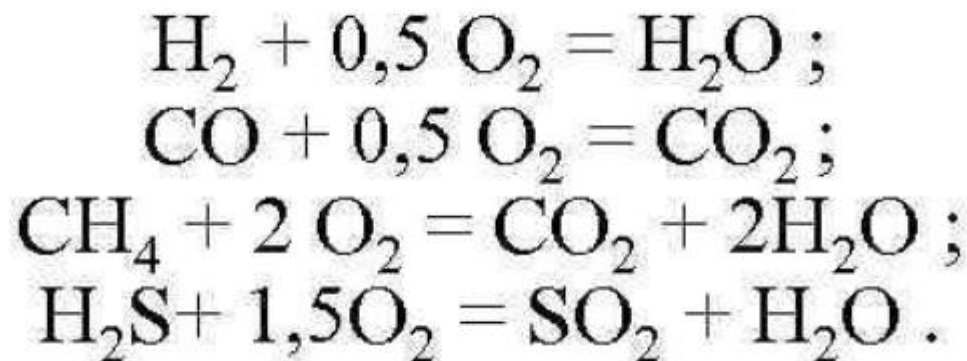
Определение теоретического и действительного расхода воздуха на горение топлива

Горючие вещества топлива взаимодействуют с кислородом воздуха в определенном количественном соотношении.

Расход кислорода и количество получающихся продуктов сгорания рассчитывают по *стехиометрическим уравнениям* горения, которые записывают для 1 кмоля каждой горючей составляющей.

Для газообразного топлива

Расход необходимого воздуха V^o определяют из объемных долей горючих компонентов газа с использованием стехиометрических реакций:



Теоретическое количество воздуха ($\text{м}^3/\text{м}^3$), необходимого для сжигания газа:

$$V^o = 0,0476 [0,5\text{CO} + 0,5\text{H}_2 + 2\text{CH}_4 + 1,5\text{H}_2\text{S} + \text{S}(m + n/4)\text{C}_m\text{H}_n - \text{O}_2] .$$

Для газообразного топлива

Расчитанное количество воздуха V^o называется теоретически необходимым (т.е. V^o представляет собой минимальное количество воздуха, необходимое для обеспечения полного сгорания 1 кг (1м³) топлива при условии, что при горении используется весь содержащийся в топливе и подаваемый вместе с воздухом кислород.) В реальных условиях из-за технических трудностей ощущается местный недостаток или избыток окислителя (воздуха), в результате ухудшается полное горение топлива. Поэтому воздух подается в большем количестве по сравнению с его теоретическим количеством V^o .

Отношение действительного количества воздуха (V_d), подаваемого в топку, к теоретически необходимому количеству называется коэффициентом избытка воздуха:

$$\alpha = V_d / V^o .$$

Количество продуктов сгорания топлива

При полном сгорании топлива продукты сгорания содержат газы: CO_2 , S_2O , N_2 , O_2 и пары воды H_2O :

$$\text{CO}_2 + \text{S}_2\text{O} + \text{N}_2 + \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} = 100 \text{ \%}.$$

Полный объем продуктов сгорания V_{Γ} ($\text{м}^3/\text{кг}$) сумма сухих газов $V_{\text{с.г.}}$ и водяных паров $V_{\text{H}_2\text{O}}$:

$$\begin{aligned} V_{\Gamma} &= V_{\text{с.г.}} + V_{\text{H}_2\text{O}}, \\ V_{\text{с.г.}} &= V_{\text{R}\text{O}_2} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}, \end{aligned}$$

где $V_{\text{R}\text{O}_2} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2}$ - объем трехатомных газов, $\text{м}^3/\text{кг}$;

$V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}$ - объем двухатомных газов, $\text{м}^3/\text{кг}$.

Для газообразного топлива объем продуктов сгорания: м³/м³

а) объем двухатомных газов

$$V_{N_2}^0 = 0,79 V^0 + N_2 / 100 ;$$

б) объем трехатомных газов

$$V_{RO_2} = 0,01[CO_2 + CO + H_2S + S m C_m H_n] ;$$

в) объем сухих газов

$$V_{с.г.}^0 = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 ;$$

г) объем водяных паров

$$V_{H_2O}^0 = 0,01[H_2S + H_2 + S(n/2)C_m H_n + 0,124d_r + 0,0161V^0],$$

где d_r - влагосодержание газообразного топлива, отнесенное к 1 м³ сухого газа, г/м³;

д) полный объем продуктов сгорания

$$V_{г}^0 = V_{с.г.}^0 + V_{H_2O}^0 .$$

Масса продуктов сгорания

для газообразного топлива ($\text{кг}/\text{м}^3$) :

$$M_T = r_{\text{г.т.}}^c + 0,001d_{\text{г.т.}} + 1.306\alpha_T V^0,$$

Где $r_{\text{г.т.}}^c$ - плотность сухого газа, $\text{кг}/\text{м}^3$; $d_{\text{г.т.}}$ - содержание влаги в топливе, $\text{кг}/\text{м}^3$;

Для сравнения по энергетической ценности и эффективности использования различных сортов топлива введено понятие «условное топливо».

Теплота сгорания принимается

$Q_{\text{усл}} = 7000 \text{ ккал}/\text{кг у.т.} = 29308 \text{ кДж}/\text{кг у.т.}$ (теплота сгорания кокса).

При сравнении определяют расход условного топлива на единицу произведенной продукции, - кг у.т. на 1 тонну продукции.

$$B_{\text{усл}} = B \cdot \frac{Q_{\text{н}}^{\text{р}}}{Q_{\text{усл}}}, \text{ кг у.т./с.}$$

Благодарю за внимание!