ПОНЯТИЕ О ТОПЛИВЕ. ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ В СИСТЕМАХ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ

ТЕМА 1.2. ТОПЛИВОСНАБЖЕНИЕ ИСТОЧНИКОВ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ.

1.2.1. СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА
1.2.2. СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИДКОГО ТОПЛИВА
1.2.3. СОСТАВ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА
1.2.4. ПОНЯТИЕ УСЛОВНОГО ТОПЛИВА

КЛАССИФИКАЦИЯ ТОПЛИВА

- ВЕЩЕСТВА, СПОСОБНЫЕ В ПРОЦЕССЕ КАКИХ-ЛИБО ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ВЫДЕЛЯТЬ ЭНЕРГИЮ, КОТОРАЯ МОЖЕТ БЫТЬ ТЕХНИЧЕСКИ ИСПОЛЬЗОВАНА, ПРИНЯТО НАЗЫВАТЬ ТОПЛИВОМ. В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПРИНЦИПА ОСВОБОЖДЕНИЯ ЭНЕРГИИ, ЗАКЛЮЧАЮЩЕЙСЯ В ТОПЛИВЕ, РАЗЛИЧАЮТ ЯДЕРНОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО. ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО ВЫДЕЛЯЕТ ЭНЕРГИЮ В РЕЗУЛЬТАТЕ ЯДЕРНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ, А ХИМИЧЕСКОЕ – В РЕЗУЛЬТАТЕ ОКИСЛЕНИЯ ГОРЮЧИХ ЭЛЕМЕНТОВ, ВХОДЯЩИХ В ЕГО СОСТАВ. ИЗВЕСТНЫЙ РУССКИЙ УЧЕНЫЙ Д.И. МЕНДЕЛЕЕВ ДАЛ ТАКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО ТОПЛИВА: «ТОПЛИВОМ НАЗЫВАЕТСЯ ГОРЮЧЕЕ ВЕЩЕСТВО, УМЫШЛЕННО СЖИГАЕМОЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕПЛА».

- ОСНОВНЫМИ ВИДАМИ ХИМИЧЕСКОГО ТОПЛИВА ЯВЛЯЮТСЯ ОРГАНИЧЕСКИЕ ТОПЛИВА: ТОРФ, ГОРЮЧИЕ СЛАНЦЫ, УГЛИ, ПРИРОДНЫЙ ГАЗ, ПРОДУКТЫ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТИ. В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ ПРИНЯТО КЛАССИФИЦИРОВАТЬ ВСЕ ТОПЛИВА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СПОСОБА ИХ ПОЛУЧЕНИЯ И АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ.
- ПО СПОСОБУ ПОЛУЧЕНИЯ РАЗЛИЧАЮТ ЕСТЕСТВЕННОЕ (ПРИРОДНОЕ) ТОПЛИВО, ИСКУССТВЕННОЕ ТОПЛИВО И ТОПЛИВНЫЕ ОТХОДЫ (ТАБЛИЦА 2.1.1).
- В ЗАВИСИМОСТИ ОТ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ ТОПЛИВО РАЗДЕЛЯЮТ НА ТВЕРДОЕ, ЖИДКОЕ И ГАЗООБ- РАЗНОЕ.
- ЕСТЕСТВЕННЫМ (ПРИРОДНЫМ) ТОПЛИВОМ НАЗЫВАЮТ ТОПЛИВО, ИСПОЛЬЗУЕМОЕ БЕЗ ПЕРЕРАБОТКИ. ИСКУССТВЕННЫМ НАЗЫВАЮТ ТОПЛИВО, ПОЛУЧЕННОЕ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ ЕСТЕСТВЕННОГО ТОПЛИВА. В ПРОЦЕССЕ ПЕРЕРАБОТКИ ЕСТЕСТВЕННОГО ТОПЛИВА В ИСКУССТВЕННОЕ ПОЛУЧАЮТ ТОПЛИВНЫЕ ОТХОДЫ.

Классификация основных видов топлив

Вид топлива		
Твердое	Жидкое	Газообразное
Естественное (органическое)		
Дрова Торф Бурый уголь Каменный уголь Антрацит Горючие сланцы	Нефть	Природный газ Нефтепромысловый (попутный) газ
Искусственное		
Брикеты Кокс Полукокс	Моторное топливо – продукты перегонки нефти Спирт Синтетическое топливо	Генераторный газ Газ подземной газифи- кации углей Сжиженный газ Водород
Топливные отходы		
Отходы углеобогащения Кокс газовых заводов Металлургический кок- сик Древесные отходы	Мазут Кислый гудрон	Доменный газ Коксовый газ Газы нефтепереработки

Содержание

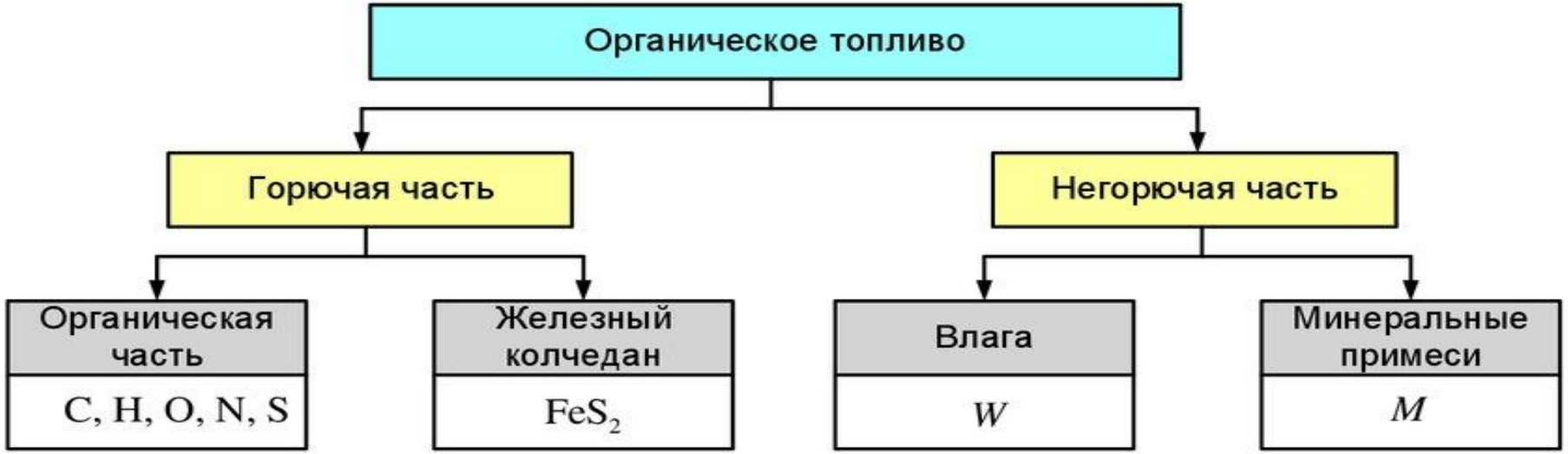
- Органическое топливо
- Теплота сгорания топлива
- Газообразное топливо
- Определение расходов воздуха и продуктов сгорания топлива
- Горелочные устройства

Органическое топливо

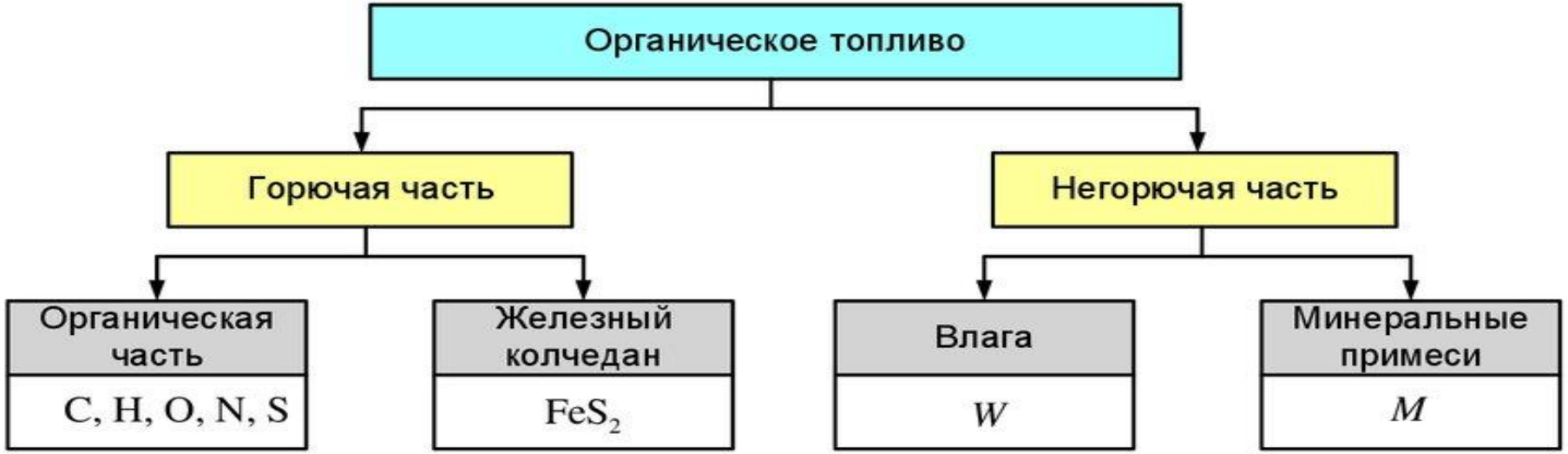
Ископаемое природное топливо – это топливо, накопленное в недрах Земли и являющееся продуктом биохимических и химических превращений органического вещества растений и микроорганизмов, существовавших на Земле 0,5-500 млн. лет назад. К нему относятся: уголь, сланец, торф, природный газ, извлекаемые человеком из недр Земли.

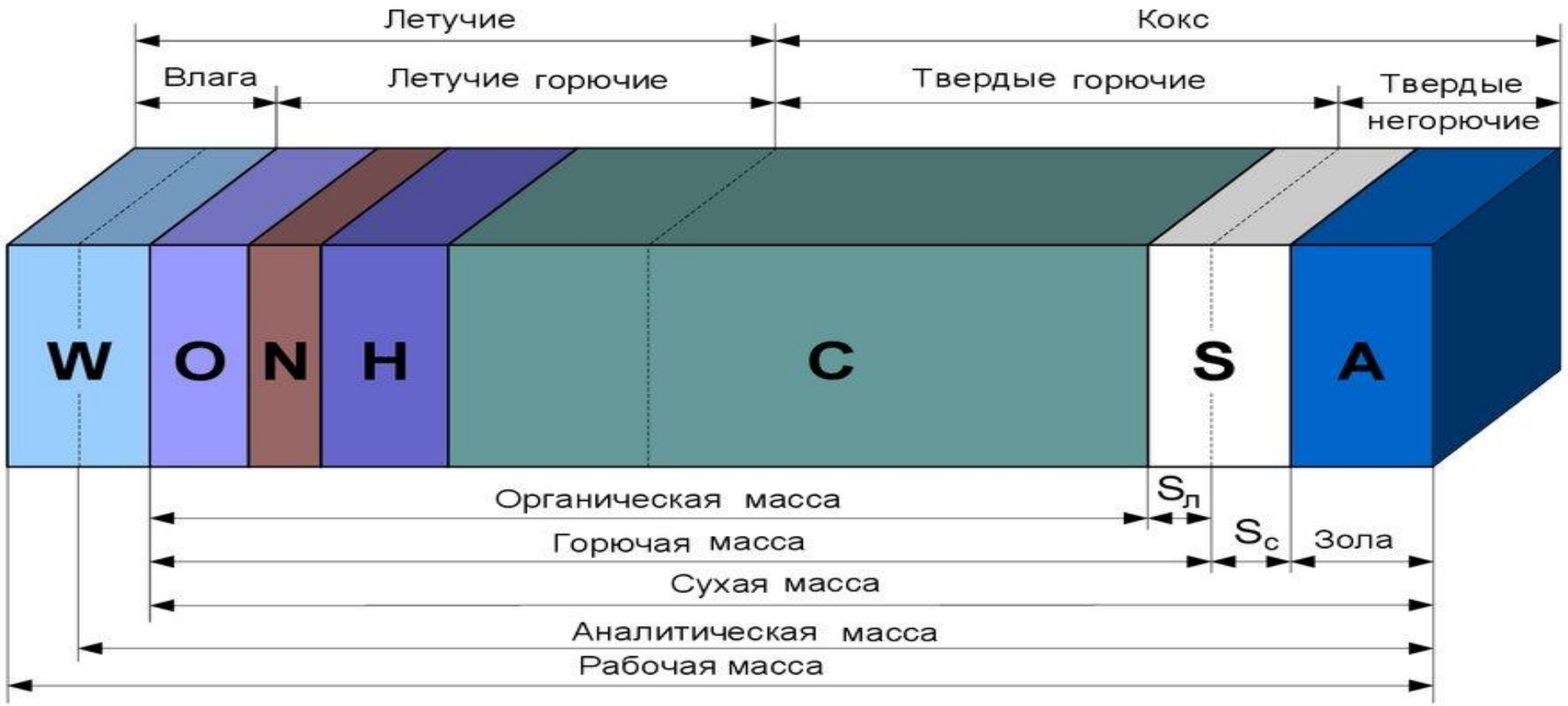
Искусственное топливо – это органическое топливо, созданное человеком путем соответствующей переработки, как правило, природных соединений (в том числе и природных топлив) с целью получения топлив с новыми наперед заданными свойствами

Состав органического топлива



Состав органического топлива




Летучие
Кокс
Влага
Летучие горючие
Твердые горючие
Твердые негорючие
W
O
N
H
C
S
A
Органическая масса
$S_л$
Горючая масса
S_c
Зола
Сухая масса
Аналитическая масса
Рабочая масса

Характеристики топлива

Рабочее состояние топлива (р)

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

Сухое состояние топлива (с)

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

Горючее (сухое беззольное) состояние (г)

$$C + H + S + O + N = 100\%$$

Состояние топлива	Пересчет в состояние топлива			
	рабочее	аналитическое	сухое	горючее (сухое беззольное)
Рабочее	1	$\frac{100 - W^{а}}{100 - W^{р}}$	$\frac{100}{100 - W^{р}}$	$\frac{100}{100 - (W^{р} + A^{р})}$
Аналитическое	$\frac{100 - W^{р}}{100 - W^{а}}$	1	$\frac{100}{100 - W^{а}}$	$\frac{100}{100 - (W^{а} + A^{а})}$
Сухое	$\frac{100 - W^{р}}{100}$	$\frac{100 - W^{а}}{100}$	1	$\frac{100}{100 - A^{с}}$
Горючее (сухое беззольное)	$\frac{100 - (W^{р} + A^{р})}{100}$	$\frac{100 - (W^{а} + A^{а})}{100}$	$\frac{100 - A^{с}}{100}$	1

Теплота сгорания топлива

- Различают *высшую* и *низшую* теплоту сгорания топлива [Дж/кг, Дж/м^3]
- *Высшей теплотой сгорания* $Q_в$ топлива называется количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании 1 кг твердого или жидкого топлива (1 м^3 газообразного топлива) при условии конденсации водяных паров и охлаждении всех продуктов сгорания до 0 °С.
- *Низшая теплота сгорания* $Q_н$ отличается от высшей на величину теплоты испарения влаги топлива и влаги, образующейся при горении водорода.
- Связь между высшей и низшей теплотой сгорания

$$Q_в^р = Q_н^р - 25\left(W^р + 9H^р\right), \text{ кДж/кг}$$

Теплота сгорания топлива

Формула Менделеева

$$Q^г = 81C^г + 300H^г - 26\left(O^г - S^г\right), \text{ ккал/кг}$$

Теплота сгорания *твердого* и *жидкого* топлива в рабочем состоянии, кДж/кг:

$$Q_н^р = 339C^р + 1030H^р - 109\left(O^р - S^р\right) - 25W^р$$

Теплота сгорания газообразного топлива, МДж/м^3

$$Q_н^с = 0,01\begin{bmatrix} 10,8H_2 + 12,65CO + 35,85CH_4 + \\ +63,8C_2H_6 + 91,3C_3H_8 + \ldots + 23,4H_2S \end{bmatrix}$$

Теплота сгорания топлива

Наименование газа	Обозначение	Плотность ρ, кг/м³	Теплота сгорания низшая Q_i^d	
			МДж/м³	ккал/м³
Метан	CH_4	0,717	35,88	8 570
Этан	C_2H_6	1,355	64,36	15 370
Пропан	C_3H_8	2,009	93,18	22 260
Бутан	C_4H_{10}	2,697	123,15	29 415
Пентан	C_5H_{12}	3,454	156,63	37 410
Гексан	C_6H_{14}	3,848	173,17	41 360
Гептан	C_7H_{16}	4,474	200,55	47 900
Этилен	C_2H_4	1,251	59,06	14 107
Пропилен	C_3H_6	1,877	86,00	20 541
Бутилен	C_4H_8	2,503	113,51	27 111
Бензол	C_6H_6	3,485	140,38	33 528
Азот	N_2	1,250		
Водород	H_2	0,090	10,79	2 580
Двуокись углерода	CO_2	1,977		
Окись углерода	CO	1,250	12,64	3 020
Кислород	O_2	1,428	—	
Сероводород	H_2S	1,536	23,37	5 580

Теплота сгорания топлива

- Для сравнения экономичности работы на различных видах топлива введено понятие условного топлива, имеющего теплоту сгорания
  - **$Q_у$ = 7000 ккал/кг (29,33 МДж/кг)**
- Тепловая мощность топочного устройства N связана с расходом B топлива и теплотой сгорания

  очевидным соотношением, МВт,

$$N = BQ_н^р$$

- Связь между расходами условного и натурального топлив

$$B_у = \frac{BQ_н^р}{Q_у}$$

Твердое топливо

Вид угля	Средний показатель отражения витринита R_0, %	Теплота сгорания на влажное беззольное состояние $Q_в^р \frac{100}{100 - A^р}$, МДж/кг	Выход летучих веществ на сухое беззольное состояние $V^г$, %
Бурый	Менее 0,6	Менее 24	–
Каменный	0,4–2,59	24 и более	8 и более
Антрацит	2,2 и более	–	Менее 8

Теплота сгорания ***бурых углей*** колеблется в широком диапазоне: от 7–8 МДж/кг (у высоковлажных и высокозольных) до18–20 МДж/кг (у сухих и малозольных).

Горючие сланцы. Характерные свойства: $V^г$=85-90 %, $A^с$=40-65 %, $W^р \leq 13$ %; теплота сгорания 5,5-13,9 МДж/кг, сера практически отсутствует.

Торф. Характерные свойства: $V^г$=70 %, $W^р$=48-53 %, $A^р$=3-19 %,
теплота сгорания 8,4-10,5 МДж/кг,
высокое содержание кислорода.

Жидкое топливо

В соответствии с ГОСТ 10585-75 установлены следующие марки мазутов: флотский Ф 5 и Ф 12; топочный М 40 и М 100. Марка мазута характеризует максимальное значение условной вязкости при температуре 50 °С. Флотские мазуты относятся к категории легких топлив, топочный мазут марки М 40 – к категории средних топлив, топочный мазут марки 100 – к категории тяжелых топлив.

В пределах марок топочные мазуты подразделяются на три сорта в зависимости от содержания серы:

малосернистые ($S^p \leq 0,5$ %),

сернистые ($S^p = 0,5$-$2,0$ %)

высокосернистые ($S^p = 2,5$-$3,5$ %).

Для мазута, получаемого при переработке высокосернистой нефти, допускается содержание серы не более 4,3 %.

Жидкое топливо

ВЯЗКОСТЬ

Под условной вязкостью понимают отношение времени непрерывного истечения 200 мл продукта при определенной температуре (50 °С) ко времени истечения дистиллированной воды при 20 °С

Вязкость мазутов зависит от

температуры,

давления,

предварительной термообработки.

Теплота сгорания обезвоженного мазута колеблется в пределах от ***39 до 41,5 МДж/кг***

Газообразное топливо

Важнейшие характеристики газового топлива: теплота сгорания,

плотность

концентрационные пределы взрываемости газа в смеси с воздухом

Плотность газа по отношению к плотности воздуха определяет возможность скопления газа в верхней или нижней части помещений или установок. Плотность природного газа в нормальных условиях составляет **0,74 кг/м^3**.

Концентрационные пределы взрываемости смесей газового топлива с воздухом характеризуют диапазон концентраций, в пределах которых эти смеси способны взрываться при наличии источника зажигания. Для природного газа в смеси с воздухом концентрационные пределы взрываемости ***составляют 5-15 %.***

Газообразное топливо

- *Попутный газ* получают при разработке нефтяных месторождений в процессе десорбции растворенных в нефти (50-60 м^3 на 1 тонну добываемой нефти). Для попутного газа характерно наибольшее (до 50 %) содержание высших углеводородов по сравнению с другими видами газового природного топлива.
- ***Газ газоконденсатных месторождений*** помимо метана содержит до 10 % высших углеводородов, главным образом пропана и бутана. Газ чисто газовых месторождений состоит почти из одного метана; этан и пропан содержится в незначительных количествах. Балласт природного газа представлен преимущественно азотом и диоксидом углерода, в некоторых случаях в объемный состав входит до 1 % гелия.
- Большинство газовых месторождений России дает топливо, практически не содержащее сернистых соединений. Исключением является Оренбургское месторождение, где в газе содержится 5-6 % сероводорода.

Газообразное топливо

- Теплота сгорания природного газа ***33-38 МДж/м³***, и она тем ниже, чем меньше высших углеводородов содержится в газе.
- Искусственным газовым топливом являются горючие газы, получаемые в разнообразных технологических процессах: в металлургии, при переработке нефти, при переработке твердых горючих ископаемых. В некоторых случаях горючий газ является побочным продуктом основного производства.
- В доменном производстве на каждую тонну выплавленного чугуна образуется около 2200-3000 м³ доменного газа с теплотой сгорания ***3,5-4 МДж/м³***, содержащего 25-30 % оксида углерода и 2-3 % водорода.
- При производстве металлургического кокса на каждую тонну кокса получают ~ 300 м³ коксового газа с теплотой сгорания около ***17-18 МДж/м³***, содержащего $H_2 \approx 60$ %, $CO \approx 6$ %, $CH_4 \approx 25$ %.
- В двадцатых годах предыдущего столетия был отработан слоевой процесс воздушной газификации угля, что позволяло получать низкокалорийный газ, содержащий ~60 % N_2, 30 % CO и 10 % CO_2, имеющий теплоту сгорания около ***4 МДж/м³***.

МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

- Под ***теоретически необходимым*** понимают количество воздуха, которое требуется *для полного окисления* 1 кг твердого или жидкого либо 1 м^3 газообразного топлива. При этом считают, что кислород топлива затрачивается на окисление горючих элементов

$$C + O_2 = CO_2$$

$$S + O_2 = SO_2$$

$$2H_2 + O_2 = 2H_2O$$

$$C_mH_n + (m + n/4)O_2 = mCO_2 + 0{,}5n \cdot H_2O$$

- Суммарный объем кислорода необходимый для полного окисления горючих элементов топлива составит, м^3/кг

$$V_{O_2} = \frac{32}{12}\frac{C^p}{100\rho_{O_2}} + \frac{32}{32}\frac{S^p}{100\rho_{O_2}} + 8\frac{H^p}{100\rho_{O_2}} - \frac{O^p}{100\rho_{O_2}}$$

МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

Теоретически необходимое количество воздуха при сжигании ***твердого или жидкого топлива***, м^3/кг

$$V^0 = 0,0889\left(C^р + 0,375S^р\right) + 0,265H^р - 0,0333O^р$$

Теоретически необходимый объем воздуха для окисления ***1 м^3 газообразного топлива, м^3/м^3***

$$V^0 = 0,0476\left(0,5H_2 + 0,5CO + 1,5H_2S + 2CH_4 + \sum\left(m + \frac{n}{4}\right)C_mH_n - O_2\right)$$

Для обеспечения полного выгорания топлива в топке воздух подают в количестве всегда несколько большем теоретически необходимого. Отношение действительно поданного количества воздуха к теоретически необходимому называют **коэффициентом избытка воздуха .**

$$\alpha = \frac{V_д}{V_0}$$

МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

- При тепловых расчетах котла энтальпию продуктов сгорания за каждой поверхностью нагрева определяют по составу дымовых газов и температуре. Для расчета энтальпий продуктов сгорания необходимо с достаточной точностью рассчитывать объемы продуктов сгорания.
- Реакции горения при высоких температурах идут с большой скоростью, поэтому состав конечных продуктов близок к равновесному. Состав продуктов сгорания при сжигании 1 кг твердого или жидкого топлива либо 1 м^3 газообразного можно записать в следующем виде

$$V_г = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + V_{O_2} + V_{CO} + V_{H_2} + V_{CH_4}$$

МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

- Первые три слагаемых представляют собой продукты полного окисления горючих элементов топлива. Они состоят из трехатомных сухих газов и объема водяных паров

$$V_{RO_2}^0 = V_{CO_2}^0 + V_{SO_2}^0$$

- Следующие три слагаемых представляют собой объемы азота и кислорода, определяемые как остаток сухого воздуха после горения топлива и объем водяных паров. Здесь , так как кислород в значительной мере израсходован на окисление. Объем водяных паров включает в себя влагу топлива и воздуха.
- Оставшиеся три слагаемых представляют собой продукты неполного горения

МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

При полном сгорании 1 кг твердого или жидкого топлива либо 1 м^3 газообразного , а также отсутствии избыточного воздуха в образующихся газообразных продуктах должны содержатся лишь продукты полного окисления горючих элементов CO_2, SO_2, H_2O и азот воздуха N_2. В этом случае объемы газов называют ***теоретическими***

$$V_{\text{г}}^{0} = V_{RO_2}^{0} + V_{\text{N}_2}^{0} + V_{\text{H}_2\text{O}}^{0}$$

Материальный баланс процесса горения

- Теоретический объем ***сухих трехатомных газов*** при сжигании твердого и жидкого топлива составит, м^3/кг

$$V_{RO_2}^0 = 0,01866\left(C^р + 0,375S^р\right)$$

- При сжигании газообразного топлива объем сухих трехатомных газов составит, м^3/м^3

$$V_{RO_2}^0 = 0,01\begin{pmatrix} CO + CO_2 + H_2S + CH_4 + \\ +\Sigma m C_m H_n + SO_2 \end{pmatrix}.$$

МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

***Теоретический объем азота*:**

при сжигании твердого и жидкого топлива, м^3/кг:

$$V_{N_2}^0 = 0,79V^0 + \frac{N^p}{\rho_{N_2} \cdot 100} = 0,79V^0 + 0,008N^p$$

при сжигании газообразного топлива, м^3/м^3

$$V_{N_2}^0 = 0,79V^0 + 0,01N_2$$

МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

Теоретический объем водяных паров

при сжигании твердого и жидкого топлива м^3/кг

$$V^0_{H_2O} = 0,111H^р + 0,0124W^р + 0,0161V^0 + 1,24G_ф,$$

где $G_ф$ – удельный расход пара на распыл мазута (обычно составляет 0,3 кг/кг при использовании паровых форсунок)

при сжигании газообразного топлива, м^3/м^3

$$V^0_{H_2O} = 0,01\left[H_2 + H_2S + 2CH_4 + \Sigma\frac{n}{2}C_mH_n + H_2O\right]$$

МАТЕРИАЛЬНЫЙ БАЛАНС ПРОЦЕССА ГОРЕНИЯ

Избыточное количество воздуха приводит к увеличению объема азота и водяных паров в продуктах сгорания

$$V_{N_2} = V_{N_2}^0 + 0,79(\alpha - 1)V^0$$

$$V_{H_2O} = V_{H_2O}^0 + 0,0161(\alpha - 1)V^0$$

Кроме того, в продуктах сгорания появляется кислород

$$V_{O_2} = 0,21(\alpha - 1)V^0$$

Действительный объем продуктов сгорания может быть рассчитан так, м^3/кг (м^3/м^3)

$$V_г = V_г^0 + 1,0161(\alpha - 1)V^0$$

Объем сухих газов, м^3/кг (м^3/м^3):

$$V_{сг} = V_{RO_2} + V_{N_2}^0 + (\alpha - 1)V^0.$$

Материальный баланс процесса горения

При сжигании топлива в реальных условиях необходимо учитывать изменение теоретических объемов воздуха и продуктов сгорания м³/кг (м³/м³)

$$V_г = V_г^0 + 1{,}0161(\alpha - 1)V^0$$

Для определения производительности вентилятора и дымососа необходимо учитывать реальные условия, при которых воздух подается на горения в котел, а дымовые газы из него удаляются

$$V_г^р = V_г \cdot B_т \cdot \frac{(273 + t_{ух})}{273}, \quad V_в = \alpha_т \cdot V^0 \cdot B_т \cdot \frac{(273 + t_в)}{273}$$

При проведении аэродинамического расчета учитывается изменение давления в газоходе и воздуховоде, а также значения коэффициентов запаса

β_1 – коэффициент запаса по напору

β_2– коэффициент запаса по производительности

β_3 – коэффициент запаса по мощности

Тепловой баланс процесса горения

Энтальпия продуктов сгорания кДж/кг, кДж/м³

$$H_г = H_г^0 + (\alpha - 1) H_в^0 + H_{зл}$$

Энтальпия теоретических объемов продуктов сгорания кДж/кг, кДж/м³

$$H_г^0 = V_{RO_2}^0 (ct)_{RO_2} + V_{H_2O}^0 (ct)_{H_2O} + V_{N_2}^0 (ct)_{N_2}$$

Здесь $(ct)_{RO2}$, $(ct)_{H2O}$, $(ct)_{N2}$ - теплоемкости продуктов сгорания при заданной температуре, кДж/кг, кДж/м³

Энтальпия теоретически необходимого количества воздуха кДж/кг, кДж/м³

$$H_в^0 = V^0 \cdot (ct)_в$$

Энтальпия золы кДж/кг, кДж/м³

$$H_{зл} = a_{ун} \frac{A^p}{100} \cdot (ct)_{зл}$$

где $a_{ун}$ – доля уносимой золы

ГОРЕЛКИ ПРОМЫШЛЕННЫХ АГРЕГАТОВ

ГОРЕЛКИ

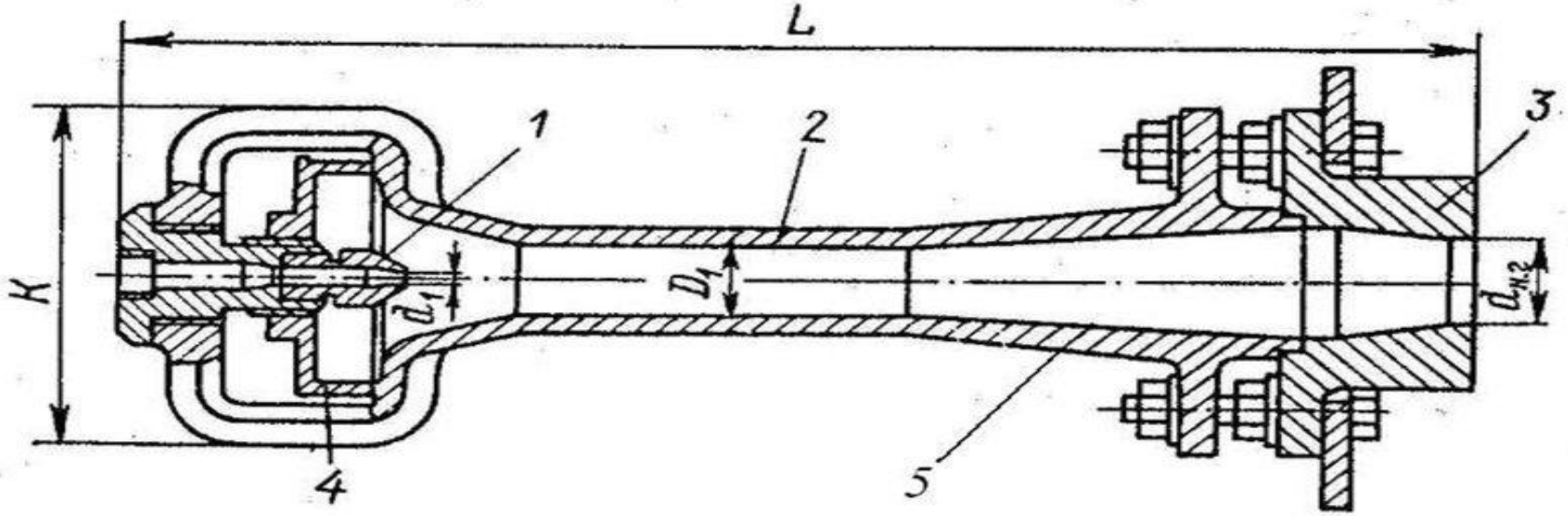
КИНЕТИЧЕСКИЕ

осуществляется предварительное перемешивание газа с воздухом в пределах смесительной камеры, что позволяет сжигать топливо с минимальными значениями коэффициента избытка воздуха α=1,02-1,05.

ДИФФУЗИОННЫЕ

применяют чаще всего на установках с большим объемом камеры сгорания, когда за счет растянутого горения требуется обеспечить равномерную теплоотдачу по всей тепловоспринимающей поверхности (α=1,1-1,15)

ИНЖЕКЦИОННАЯ ГОРЕЛКА



Инжекционная горелка:

1 – сопло;

2 – камера смешения;

3 – насадок;

4 – кольцо, регулирующее подачу воздуха;

5 – диффузор

ИНЖЕКЦИОННАЯ ГОРЕЛКА

- *Преимущества инжекционных горелок:*

  возможность работы без принудительной подачи воздуха;

  низкие избытки воздуха – α = 1,02-1,08, так как осуществляется полное предварительное смешение;

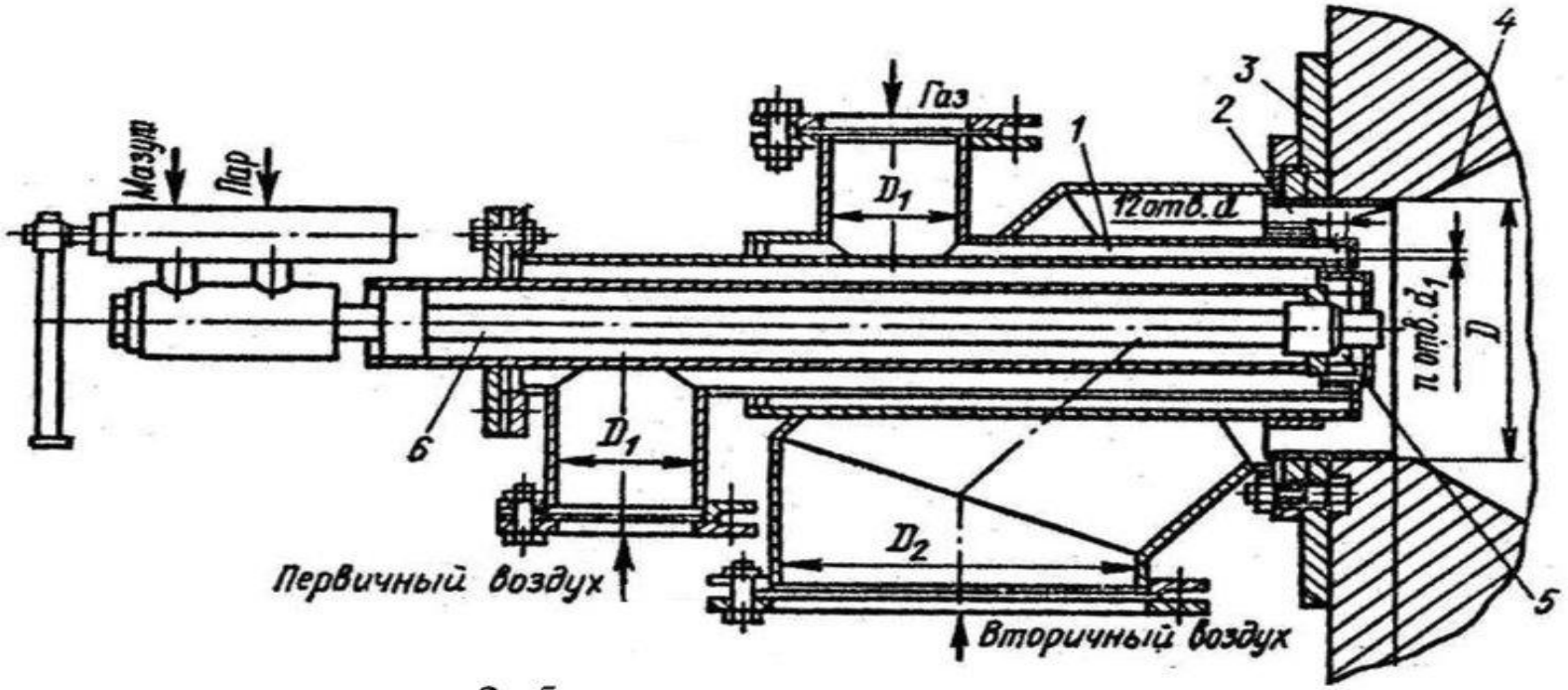
  автоматическое поддержание постоянства избытка воздуха при различных нагрузках.

- *Недостатки:*

  расход газа не должен превышать 60 м3/ч (соответственно мощность не более 0,7 МВт). При больших расходах газа резко возрастет размер горелок и металлоемкость;

  повышенный уровень шума при В > 60 м^3/ч.

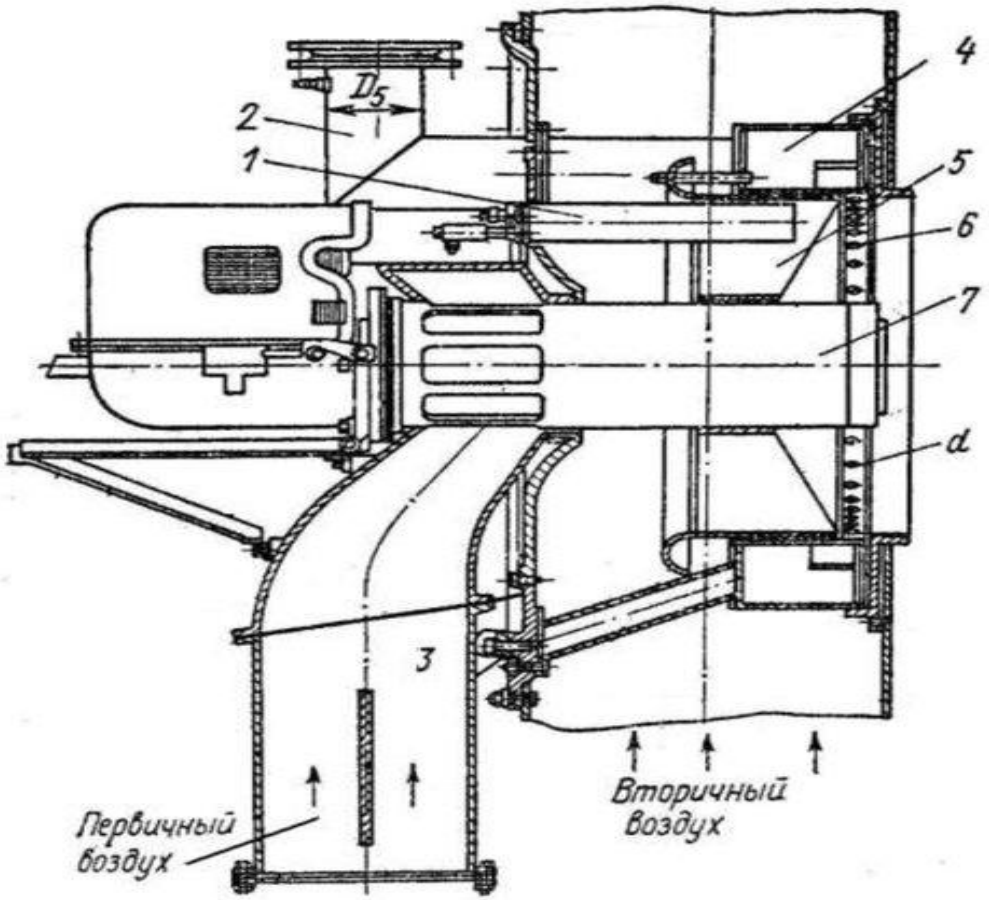
Газомазутные горелки



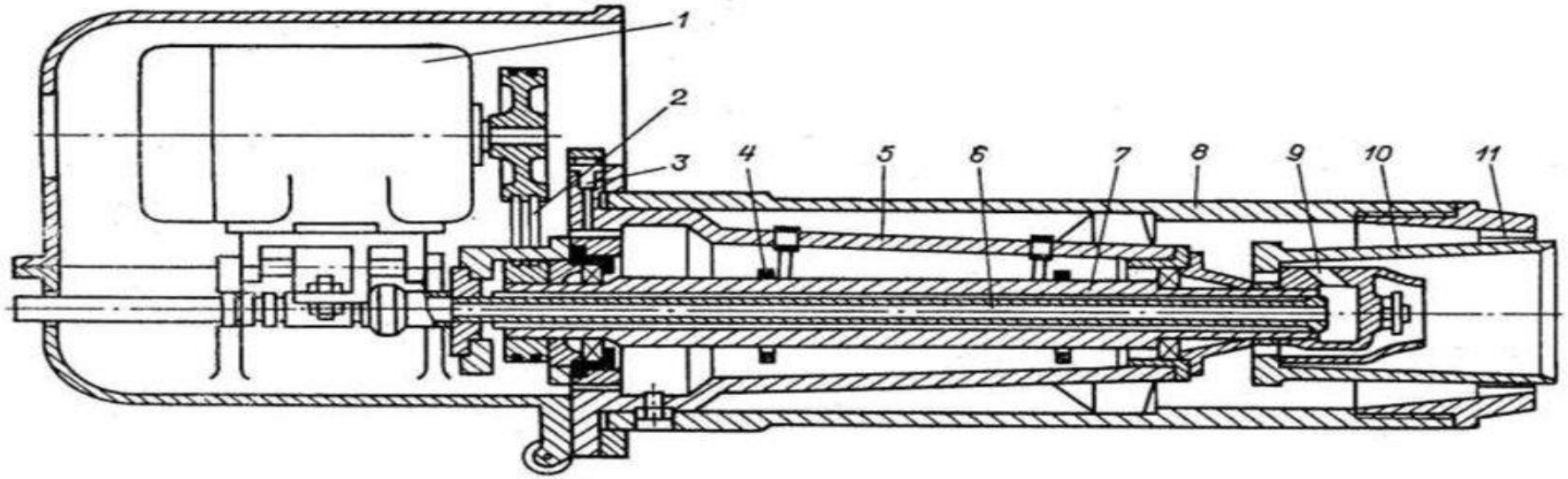
1 – газовоздушная часть; 2, 5 – лопаточные завихрители вторичного и первичного воздуха; 3 – монтажная плита; 4 – керамический туннель; 6 – паромеханическая форсунка

Ротационная газомазутная горелка

Горелка РГМГ:
1 – ЗЗУ;
2 – газоподводящий патрубок;
3 – патрубок первичного воздуха;
4 – газовый коллектор;
5 – лопаточный аппарат;
6 – газовыпускные отверстия;
7 – ротационная форсунка



Ротационная форсунка



1 – электродвигатель; 2 – клиноременная передача; 3 – воздушник; 4 – маслоразбрызгивающее кольцо; 5 – корпус масляной ванны; 6 – топливоподающая труба; 7 – полый вал; 8 – корпус; 9 – гайка-питатель; 10 – распыливающий стакан; 11 – завихритель первичного воздуха

Тепловой баланс процесса горения

Эффективность использования топлива в топочном устройстве определяется двумя основными факторами:

полнотой сгорания топлива в топочной камере

глубиной охлаждения продуктов сгорания.

Распределение вносимой в топку теплоты на полезно используемую и тепловые потери производится путем составления ***теплового баланса***. Тепловой баланс составляется на 1 кг твердого или жидкого топлива либо на 1 $м^3$ газообразного топлива.

Для котельных агрегатов составляют прямой и обратный тепловые балансы

Тепловой баланс процесса горения

Для парового котла

$$\eta = \frac{D_{пп}\left(h_{пп} - h_{пв}\right) + D_{пр}\left(h' - h_{пв}\right)}{Q_н^р \cdot B_т}$$

$$B_т = \frac{D_{пп}\left(h_{пп} - h_{пв}\right) + D_{пр}\left(h' - h_{пв}\right)}{Q_н^р \cdot \eta}$$

η - КПД котла; $B_т$ – расход топлива, кг/с (м^3/с)

$D_{пп}$ – расход перегретого (насыщенного) пара, кг/с

$h_{пп}$ – энтальпия перегретого (насыщенного) пара, кДж/кг

$h_{пв}$ – энтальпия питательной воды, кДж/кг

h' – энтальпия воды в состоянии насыщения при давлении в барабане, кДж/кг

$D_{пр}$ – расход воды с непрерывной продувкой, кг/с

$Q^р_н$ – теплота сгорания топлива, кДж/кг, кДж/м^3

Тепловой баланс процесса горения

Для водогрейного котла

$$\eta = \frac{G_в \cdot c_в \cdot \left(t_{пр} - t_{обр}\right)}{Q_н^р \cdot B_т}$$

$$B_т = \frac{G_в \cdot c_в \cdot \left(t_{пр} - t_{обр}\right)}{Q_н^р \cdot \eta}$$

η - КПД котла; $B_т$ – расход топлива, кг/с (м^3/с)

$G_в$ – расход воды на котел, кг/с

$c_в$ – теплоемкость воды, кДж/(кг·К)

$t_{пр}$ – температура прямой воды (на выходе из котла), °С

$t_{обр}$ – температура обратной воды (на входе в котел), °С

$Q^р_н$ – теплота сгорания топлива, кДж/кг, кДж/м^3

Тепловой баланс процесса горения

ОБРАТНЫЙ БАЛАНС КОТЛА

Располагаемая теплота, кДж/кг (кДж/ м^3)

$$Q_{р}^{р} = Q_{н}^{р} + Q_{в.вн} + i_{т}$$

где $Q_{в.вн}$ – теплота, вносимая в топку воздухом, подогретым вне котла; $i_{т}$ – физическая теплота топлива, определяемая его температурой. Обязательным является учет $i_{т}$ при сжигании мазута, поскольку он подогревается для распыла до 100–130 °С.

Располагаемая теплота расходуется на производство полезной теплоты Q_1 и тепловые потери

$$Q_{р}^{р} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$Q^{р}_{р}$– располагаемая теплота на 1 кг твердого или жидкого либо на 1 м^3 газообразного топлива; Q_1 – полезно используемая теплота; Q_2 – потеря теплоты с уходящими газами; Q_3 – потеря теплоты с химической неполнотой сгорания топлива,; Q_4 – потеря теплоты с механической неполнотой сгорания; Q_5 – потеря теплоты через ограждения; Q_6 – потеря с физической теплотой шлака.

Тепловой баланс процесса горения

Разделив правую и левую части выражения на $Q^{р}_{р}$ получим

$$100 = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6$$

Коэффициент полезного действия котла (по обратному балансу)

$$\eta_к = q_1 = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5 - q_6$$

Большая часть теплоты, вносимой в топку, воспринимается поверхностями нагрева и передается рабочему телу. За счет этой теплоты производится подогрев воды до температуры кипения, ее испарение и перегрев пара. Это полезно используемая теплота, остальная часть составляет тепловые потери

Полезное тепловосприятие связано с паропроизводительностью котла D соотношением

$$BQ_1 = BQ_р^р\eta_к = D_{пп}\left(h_{пп} - h_{пв}\right) + D_{пр}\left(h'' - h_{пв}\right)$$

Тепловой баланс процесса горения

Наибольшей из потерь является потеря теплоты с уходящими газами, %,

$$q_2 = \frac{H_{ух} - \alpha_{ух} H^0_{х.в}}{Q^р_р} \frac{(100 - q_4)}{100},$$

где $H_{ух}$ и $H^0_{хв}$ – энтальпия уходящих газов и теоретического количества холодного воздуха (при температуре 30 °С) соответственно; $\alpha_{ух}$ – коэффициент избытка воздуха в уходящих газах.

В продуктах сгорания топлив могут находиться газообразные горючие компоненты CO, H_2, CH_4. Их догорание за пределами топочной камеры практически невозможно вследствие низких температур и концентраций как горючих компонентов, так и кислорода. Теплота, потерянная в результате неполного сгорания горючих веществ, составляет химический недожог топлива Q_3, кДж/кг (кДж/м^3).

Тепловой баланс процесса горения

Расчет потерь теплоты q_3, %, производят по формуле

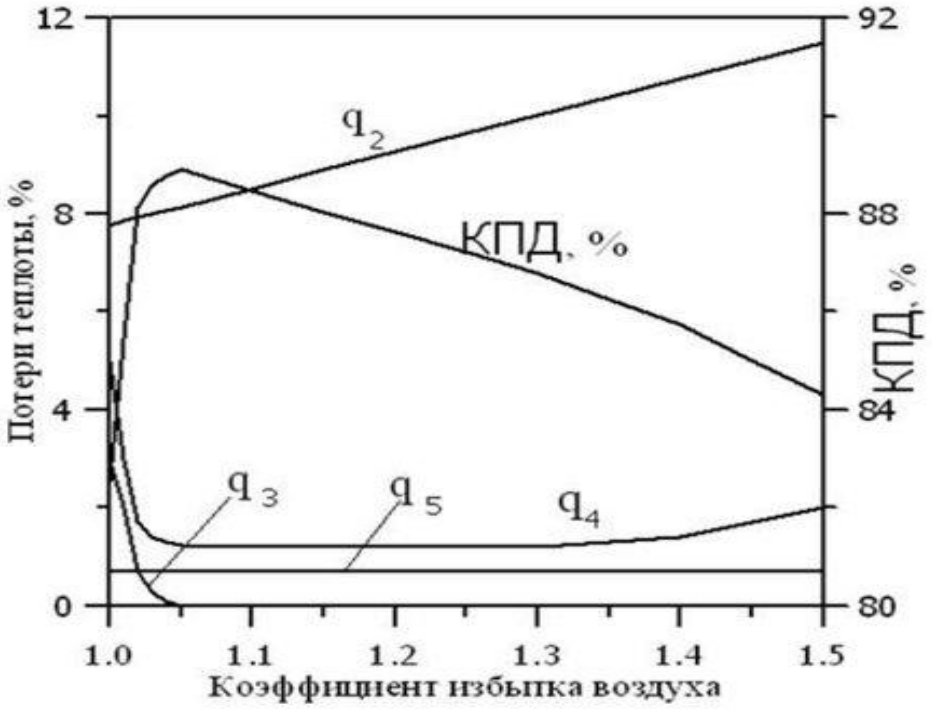
$$q_3 = \frac{\left(Q_{CO} \cdot CO + Q_{H_2} \cdot H_2 + Q_{CH_4} \cdot CH_4\right)}{Q_р^р} V_{с.г}$$

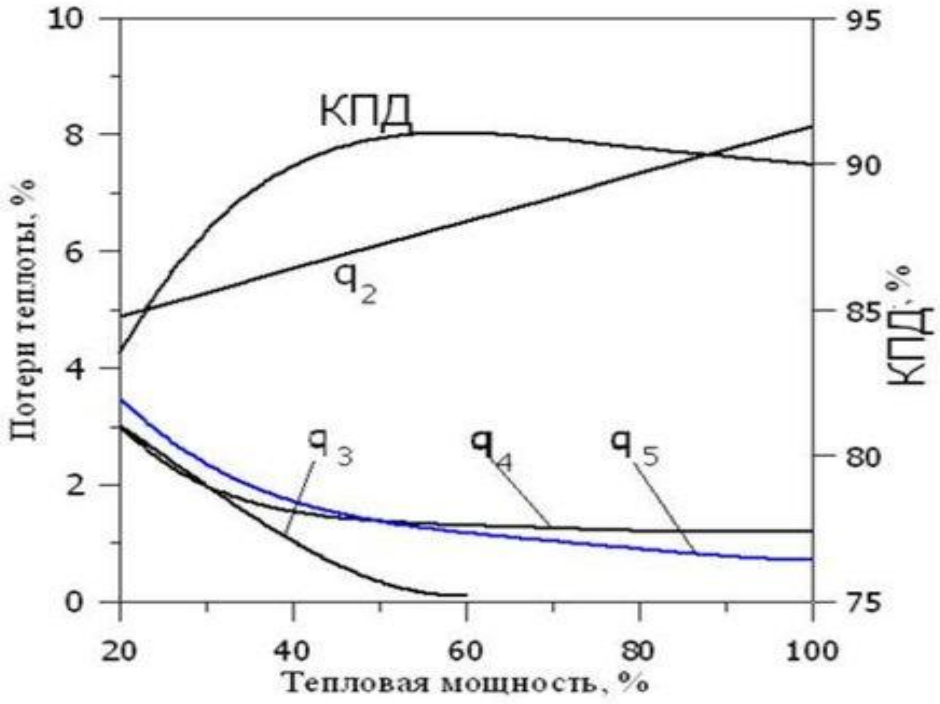
где CO, H_2, CH_4 – объемные содержания продуктов неполного сгорания топлива в сухих продуктах сгорания, %; $V_{с.г}$ – объем сухих продуктов сгорания, м^3/кг.

Химический недожог при сжигании газообразного и жидкого топлива составляет **q_3=0-0,5 %,** а при сжигании твердого топлива в факеле принимается равным нулю.

Потеря теплоты с химическим недожогом сильно зависит от коэффициента избытка воздуха и нагрузки топочного устройства. Наличие химического недожога при $\alpha = 1$ определяется несовершенством перемешивания топлива с воздухом. При коэффициенте избытка воздуха $\alpha_{кр}$ (кривая q_3) химический недожог не возникает. Обычно $\alpha_{кр}$ = 1,02-1,03 и характеризует степень аэродинамического несовершенства горелочного устройства.

Тепловой баланс процесса горения





Тепловой баланс процесса горения

При сжигании торфа, углей, сланцев механический недожог представляет собой коксовые частицы, которые, находясь некоторое время в зоне высоких температур факела, успели выделить летучие вещества и, возможно, частично обгорели. В нормальных условиях эксплуатации потери с механическим недожогом при сжигании твердых топлив составляют **q_4 = 0,5-5 %.** Потери q_4 при сжигании газа и мазута невелики (обычно менее 1 %), и их рассматривают совместно с потерями q_3.

При камерном сжигании твердого топлива потери теплоты с механической неполнотой сгорания q_4 подразделяются на потери с уносом и со шлаком , при этом преобладающую часть составляют потери теплоты с уносом .

$$q_4 = \left(a_{шл} \frac{\Gamma_{шл}}{100 - \Gamma_{шл}} + a_{ун} \frac{\Gamma_{ун}}{100 - \Gamma_{ун}} \right) \frac{32,7 A^р}{Q^р_р}$$

где $a_{шл}$ и $a_{ун}$ – соответственно доля золы в шлаке и в уносе; $\Gamma_{шл}$ и $\Gamma_{ун}$ – содержание горючих в шлаке и уносе, %; 32,7 – теплота сгорания коксовых частиц в шлаке и уносе, МДж/кг.

Тепловой баланс процесса горения

Значение потерь теплоты от наружного охлаждения q_5 составляет от 0,2 до 2,5 %

Потеря теплоты с физической теплотой шлака, %

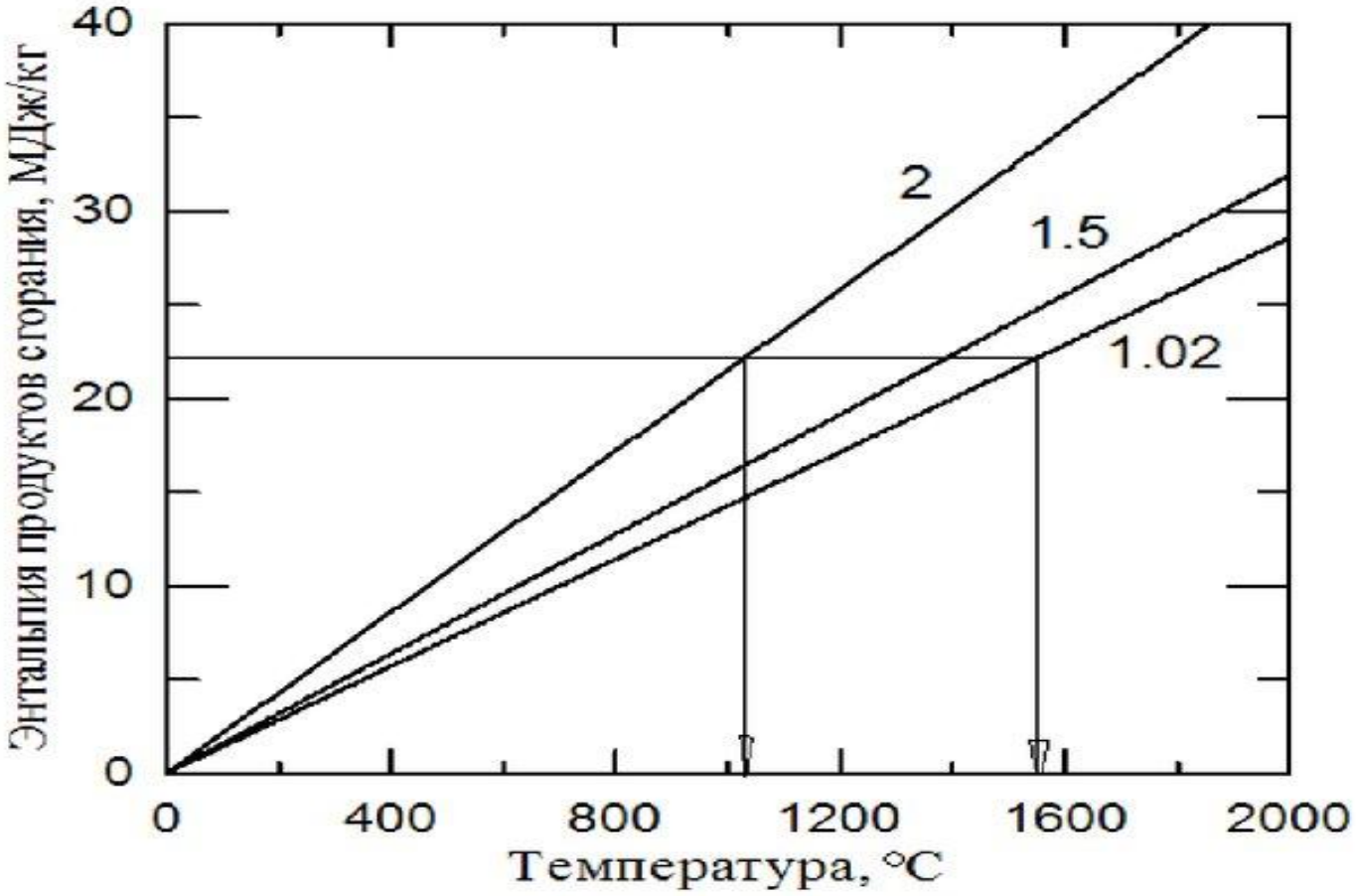
$$q_6 = \frac{A^{р} a_{шл} (ct)_{зл}}{Q_{р}^{р}}$$

Температуру горения для реальных условий можно определить из теплового баланса горения

$$Q_p^p = Q_н^р + Q_{фт} + Q_{фв} = Q_1 + Q_д + H_г$$

где $Q^p_р$– располагаемая теплота топлива; $Q_{фт}$ и $Q_{фв}$– физическая теплота топлива и воздуха соответственно; Q_1– теплота, отданная теплообменными поверхностями в окружающую среду; $Q_Д$ – теплота, затраченная на диссоциацию. С учетом $H_г=\Sigma V_i c_i t$ получим выражение для расчета температуры горения

$$t = \frac{Q_н^р + Q_{фт} + Q_{фв} - Q_1 - Q_д}{\sum V_i \cdot c_i}$$

Максимальное значение температуры получим при условии , т. е. в адиабатных условиях. Температура горения, получаемая в адиабатных условиях, называется ***теоретической температурой горения***. Расчетное определение температуры горения осложнено зависимостью теплоемкости и теплоты диссоциации от температуры и возможно лишь с использованием ЭВМ.

Тепловой баланс процесса горения