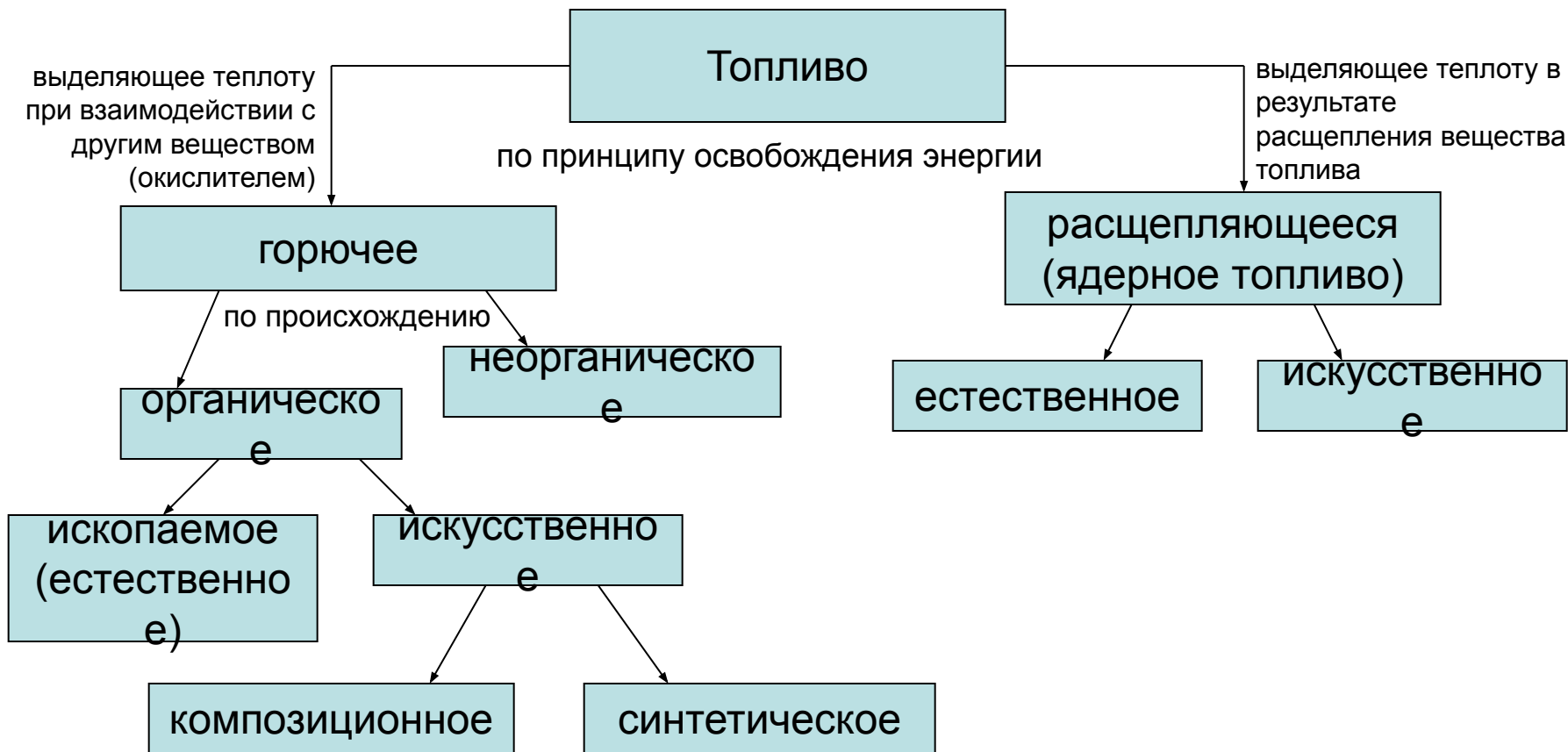


Энергетическое топливо и его классификация



Первичная классификация ТОПЛИВ

| агрегатное состояние | органическое топливо | | неорганическое топливо | |
|----------------------|---|---|---|--|
| | естественное топливо | искусственное топливо | естественное топливо | искусственное топливо |
| твердое | <p><i>Растительное топливо:</i> дрова, древесные отходы, <i>Ископаемое топливо:</i> торф, бурые и каменные угли, антрацит, горючие сланцы</p> | <p>Древесный уголь, кокс (твердый углеродистый остаток, образующийся при нагревании различных топлив), полукокс, угольные брикеты</p> | <p>Уран U^{235} Природный уран состоит из трех изотопов: ^{238}U, ^{235}U, ^{234}U 99,27%; 0,72%; 0,006%</p> | <p>В результате нейронной обработки: уран U^{233} Плутоний Pu^{239} – получается из изотопа U^{238} облучением нейтронами</p> |
| жидкое | <p>Нефть</p> | <p>Продукты переработки нефти: бензин, керосин, соляровое масло, мазут, дизельное топливо. Продукты переработки углей и горючих сланцев.</p> | <p>Растворы солей</p> | <p>Растворы солей</p> |
| газообразное | <p>Природный газ, попутный газ</p> | <p>Продукты переработки тв. топлива: доменный газ, коксовый газ и др. газы. Продукты переработки нефти: газ крекинга и пиролиза.</p> | <p>—</p> | <p>—</p> |

Энергетическое топливо

Э н е р г е т и ч е с к и м топливом называют горючие вещества, которые экономически целесообразно использовать для получения в промышленных целях больших количеств тепла.

Местное топливо

М е с т н ы е топлива нецелесообразно транспортировать на дальние расстояния из-за высокой забалластированности (большое содержание влаги и минеральных примесей), т.е. их выгоднее использовать вблизи места добычи.

Балласт

Все виды энергетических топлив помимо горючей части содержат негорючие компоненты – **балласт**:

- негорючими компонентами ***твердого и жидкого топлива*** являются минеральные примеси, образующие при сгорании золу, и вода;
- балластом ***газообразного топлива*** являются негорючие газовые компоненты и пары воды.

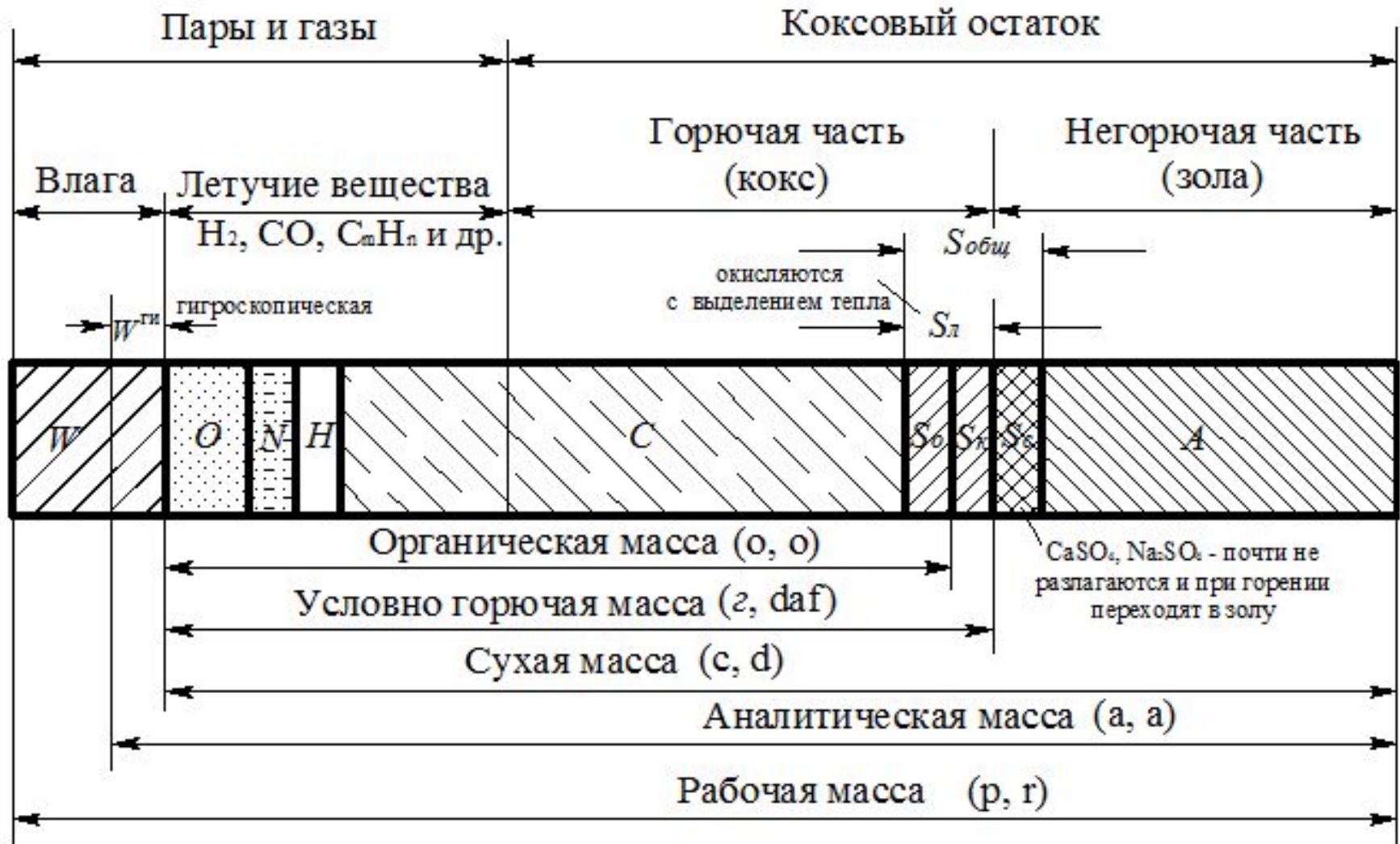
Месторождения углей располагаются группами, образуя бассейны

1. **Кузнецкий бассейн** находится на территории Кемеровской области. Запасы - 725 млрд. т.
2. **Печорский бассейн** находится на территории республики Коми за Полярным кругом. Запасы - 240 млрд. т.
3. **Восточное крыло Донбасса** находится в Ростовской области. Запасы составляют 40 млрд. т.
4. **Южно-Якутский бассейн** осваивается с 1980-х годов.
5. **Канско-Ачинский буроугольный бассейн**. Запасы - 600 млрд. т - основа энергетики Восточной части России.
6. **Подмосковный буроугольный бассейн** находится на территории Смоленской, Тульской, Калужской областей. Запасы угля практически исчерпаны.
7. **Бассейн Кизел** находится на Урале в Пермской области. Уголь забалластированный, невысокого качества.
8. **Челябинский буроугольный бассейн** в районе г. Копейска.
9. **Иркутский бассейн**. Запасы каменных и бурых углей составляют более 30 млрд. т.
10. **Райчихинский буроугольный бассейн** на Дальнем Востоке расположен у г. Благовещенска.
11. **Бурейский бассейн** в Хабаровском крае. Каменный уголь.
12. **Бассейн Сучан** у г. Партизанск. Каменный уголь.
13. **Буроугольный бассейн Артем** в Приморском крае.
14. **Южно-Сахалинский бассейн**. Каменный уголь.

Химический состав топлива



Диаграмма элементного состава твердого топлива



Расчетные массы топлива и пересчет характеристик с одной массы на другую
рабочая масса (обозначаемой индексом "r")

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

сухая масса (индекс "d")

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

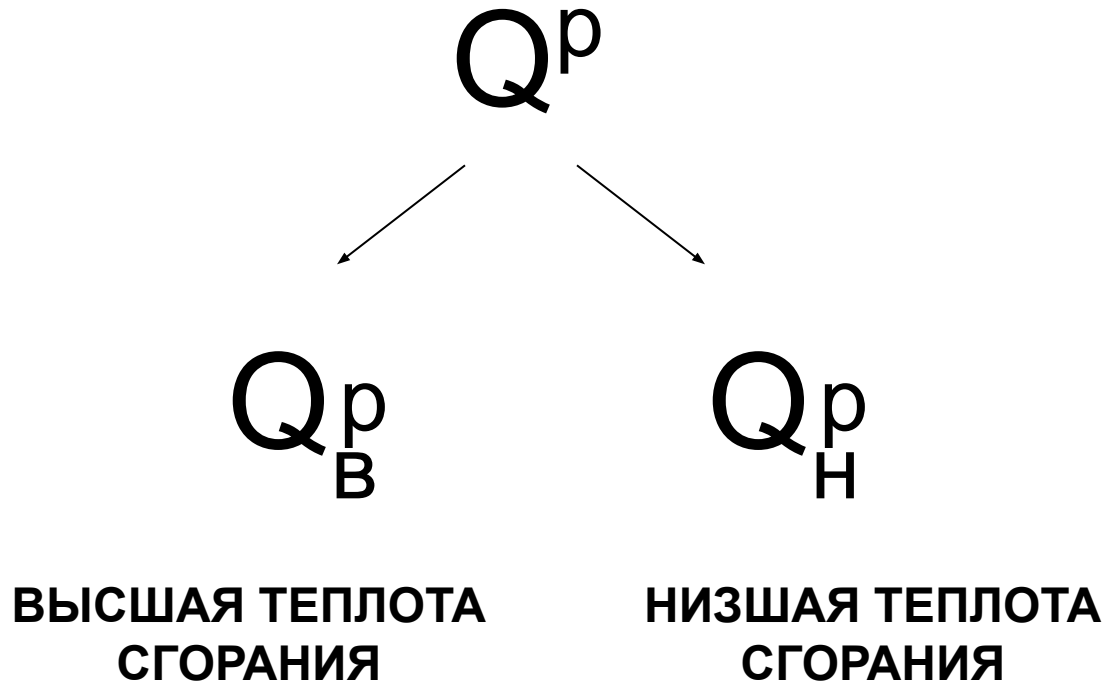
горючая (сухая беззольная) масса (индекс "daf")

$$C^{daf} + H^{daf} + S^{daf} + O^{daf} + N^{daf} = 100\%$$

Технические характеристики топлива

1. Теплота сгорания.
2. Выход летучих веществ и коксовый остаток.
3. Влажность топлива.
4. Минеральные примеси (зольность топлива).
5. Сернистость.
6. Понятие условного топлива.
7. Приведенные характеристики.

Теплота сгорания



Для рабочей массы топлива разность между высшей теплотой сгорания и низшей определяется, кДж/кг:

$$Q_v^p - Q_n^p = 2500 \left(\frac{9H^p}{100} + \frac{W^p}{100} \right) = 25(9H^p + W^p)$$

ккал/кг:

$$Q_v^p - Q_n^p = 600 \left(\frac{9H^p}{100} + \frac{W^p}{100} \right) = 6(9H^p + W^p),$$

где 2500 кДж/кг (600 ккал/кг) – приближенное значение величины скрытой теплоты парообразования;

9 – коэффициент из уравнения горения водорода (который показывает, что при горении одной весовой части водорода образуется 9 весовых частей воды).

Методы определения теплоты сгорания

- 1) **аналитический** – определяется из эмпирической формулы Д.И. Менделеева;
- 2) **экспериментальный** – определяется путем сжигания навески топлива в калориметрической бомбе.

Аналитический метод

$$Q_6^P = 33900 \frac{C^P}{100} + 103000 \frac{H^P}{100} - 10900 \left(\frac{O^P}{100} - \frac{S^P}{100} \right);$$

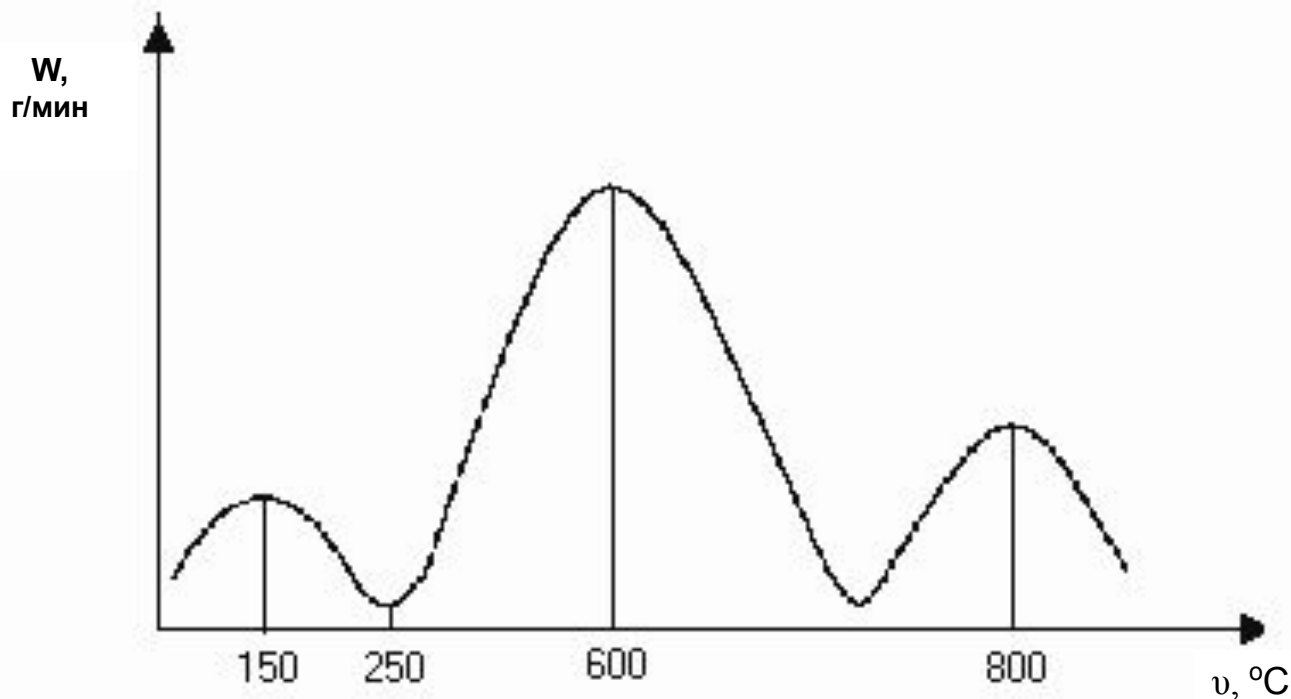
$$Q_6^P = 339C^P + 1030H^P - 109(O^P - S^P) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow Q_H^P = 339C^P + 1030H^P - 109(O^P - S^P) - 25(W^P + 9H^P),$$

кДж/кг

Выход летучих веществ, V^{daf}

График зависимости скорости выхода летучих от температуры



Наибольшее количество летучих выделяется при относительно невысокой температуре, в пределах 300-600°C (осн. период выделения летучих).

Чем больше выход летучих, тем топливо более реакционно, т.е. оно легче воспламеняется и быстро сгорает.

Топливо с малым выходом летучих веществ называют низкорреакционным.

Все топлива подразделяются на:

низкорреакционные

$$V^{\text{daf}} < 25 \% (30\%)$$

антрацит (А),
полуантрацит (ПА),
тощие угли (Т)

высокорреакционные

$$V^{\text{daf}} > 25\% (30\%)$$

торф, бурый уголь (Б),
каменные угли
(некоторые марки - Д,Г)

Реакционная способность

Реакционная способность – это способность топлива вступать в химическое взаимодействие с окислителем (в условиях повышенных температур).

Коксовый остаток

После выделения летучих остается твердый КОКСОВЫЙ ОСТАТОК.

Коксовый остаток может быть:

спекшимся (твердым, сплавленным);

слабоспекшимся (разрушающимся при надавливании или ударе);

порошкообразным (рассыпающимся после нагрева).

Влажность топлива, W^r

Влажность относится к балласту топлива и снижает его теплоту сгорания.

Влага в топливе не желательна, т.к. из-за нее:

- уменьшается доля горючих элементов;
- снижается тепловой эффект горения (снижается температурный режим в топке);
- увеличиваются потери тепла с уходящими газами.

При техническом анализе топлива влагу классифицируют:

$$W^P = W_{внеш}^P + W_{внутр}^P$$

общая влага рабочей пробы топлива потребляемого на предприятии;

$$W_t$$

внешняя влажность рабочей пробы – часть общей влаги топлива, которая удаляется при высушивании до воздушно-сухого состояния;

$$W_{ex}$$

внутренняя влажность рабочей пробы (влага воздушно-сухого топлива), условно, гигроскопическая влага – часть общей влаги топлива, которая остается в нем после высушивания до воздушно-сухого состояния.

$$W_h$$

Минеральные примеси

По происхождению все минеральные примеси можно разделить на:

первичные

вторичные

третичные

попадают во время накопления и преобразования материнской (исходной) массы вещества

попадают во время добычи, погрузки, транспортировки и хранения топлива в него попадают песок, глина, известняк (распределяются неравномерно в топливе и сравнительно легко отделяются)

внутренние примеси

внешние примеси

Основные минеральные примеси твердого топлива:

- силикаты (глинозем $\text{Al}_2\text{SiO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, свободный кремнезем SiO_2);
- сульфиды (преимущественно железный колчедан FeS_2);
- сульфаты (CaSO_4 , MgSO_4);
- карбонаты (CaCO_3 , MgCO_3 , FeCO_3);
- закиси и окиси металлов, фосфаты, хлориды, силикаты железа и щелочноземельных металлов.

Негорючие примеси газообразных топлив

- углекислый газ CO_2 ,
- азот N_2 ,
- и водяные пары H_2O .

Негорючие примеси нефти

- различные соли;
- оксиды железа;

попадают из буровых вод, при ее добыче из труб, применяемых при бурении скважин, из цистерн и нефтехранилищ

- соединения ванадия;
- оксиды алюминия, кремния, магния
- щелочи.

небольшое количество

Смесь бородинского
и ирбейского углей



Зола-уноса



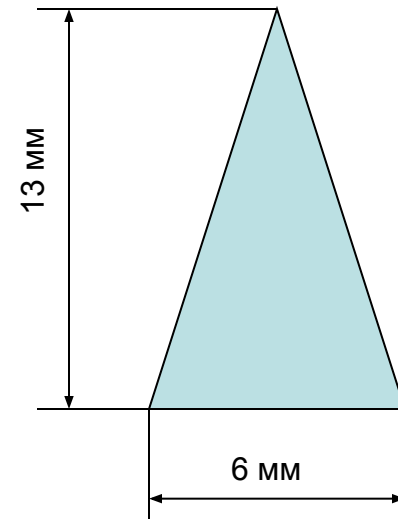
Шлак

Свойства золы:

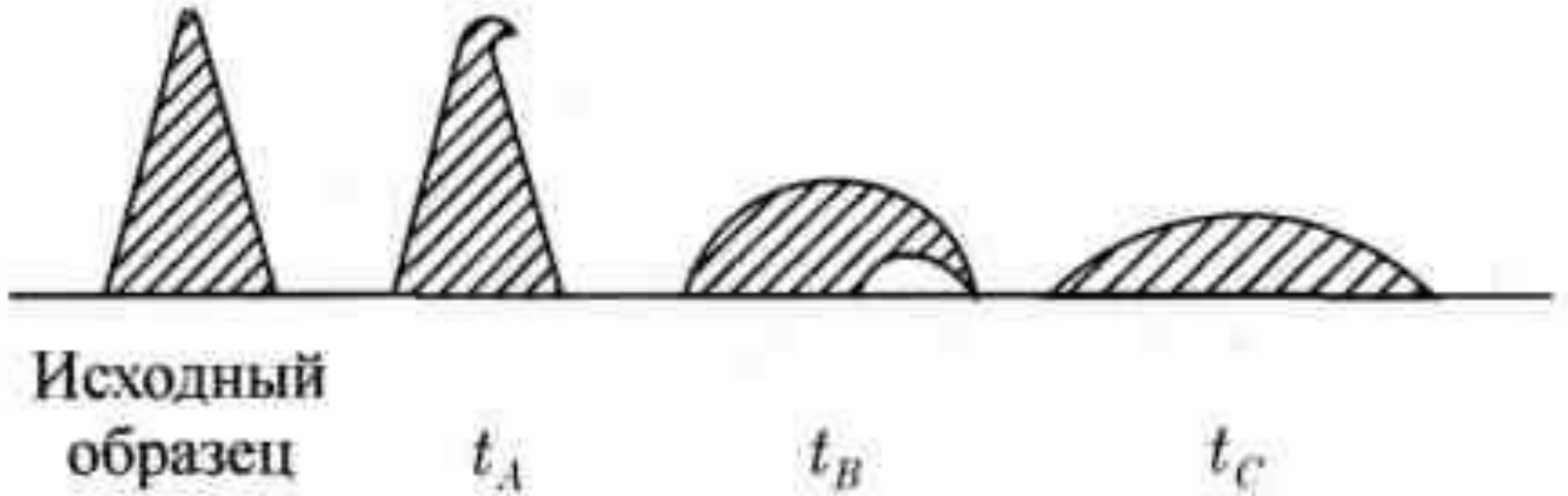
- **АБРАЗИВНОСТЬ**
- **ПЛАВКОСТЬ (ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАВКОСТИ)**

Определение плавкости золы

Плавкость определяют в лабораторных условиях при постепенном нагреве в электропечи специально приготовленных из исследуемой золы трехгранных пирамидок.



Изменение состояния золотой пирамидки



Все энергетические топлива по плавкостным характеристикам золы разделяют на три группы:

- с *легкоплавкой* золой ($t_c \leq 1350^\circ\text{C}$);
- с золой *средней* плавкости ($t_c = 1350\div 1450^\circ\text{C}$);
- с *тугоплавкой* золой ($t_c \geq 1450^\circ\text{C}$).

Условное топливо

Теплота сгорания условного топлива:

$$Q_{\text{усл.}} = 7000 \text{ ккал/кг} = 29310 \text{ кДж/кг}$$

Приведенные характеристики

$$\left. \begin{aligned} W^{np} &= \frac{W^p}{Q_H^p}; \\ A^{np} &= \frac{A^p}{Q_H^p}; \\ S^{np} &= \frac{S^p}{Q_H^p}. \end{aligned} \right\} \% \cdot \text{кг/МДж}$$

Приведенной называется влажность (зольность, сернистость) топлива в процентах, отнесенная к 1 МДж теплоты сгорания топлива.

Промышленная классификация ТОПЛИВ

Ископаемые угли делятся на три
основных типа:

бурые угли,
каменные угли,
антрациты.

В зависимости от технических свойств
они объединяются в технологические
марки, группы и подгруппы.

Бурые угли

- угли у которых высшая теплота сгорания рабочей беззольной массы угля:

$$Q_v^p \frac{100}{100 - A^p} < 23,9 \text{ МДж (5736 ккал/кг)},$$

где $Q_v^p = Q_n^p + 2,5 \text{ МДж (600 ккал/кг)}$.

Высокий процент выхода летучих: $V^{daf} > 40\%$.

Бурые угли, по содержанию в них влаги, разделяют на 3 группы:

$$1Б \quad W^r > 40\%$$

$$2Б \quad W^r = 30 \div 40\%$$

$$3Б \quad W^r < 30\%$$

Физические характеристики бурых углей:

- высокая общая влажность;
- высокая гигроскопичность;
- пониженное содержание углерода;
- повышенное содержание кислорода;
- имеют неспекшийся коксовый остаток;
- при сушке на воздухе теряют механическую прочность и растрескиваются;
- обладают повышенной склонностью к самовозгоранию, взрывоопасны;
- плохо выдерживают длительное хранение.

Каменные угли

- угли у которых высшая теплота сгорания рабочей беззольной массы угля:

$$Q_v^p \frac{100}{100 - A^p} \geq 23,9 \text{ МДж (5736 ккал/кг)},$$

где $Q_v^p = Q_n^p + 2,5 \text{ МДж (600 ккал/кг)}$.

Процент выхода летучих: $V^{daf} > 9\%$.

Классифицируются по значению выхода летучих веществ V^{daf} и толщины пластического слоя делятся на технологические марки, которые в свою очередь подразделяются на группы.

Технологические марки и группы каменных углей

| Марка | Обозначение | V^{daf} | Группа |
|---|-------------|-----------|------------------|
| Длиннопламенный | Д | > 36% | - |
| Длиннопламенный | Д, Г | 35-44% | - |
| Газовый | Г | | 1Г, 2Г |
| Газовый жирный отощенный | ГЖО | 31-37% | 1 ГЖО, 2 ГЖО |
| Газовый жирный | ГЖ | 34-37% | 1 ГЖ, 2 ГЖ |
| Жирный | Ж | 25-33% | 1 Ж, 2Ж |
| Коксовый жирный | КЖ | 17-33% | - |
| Коксовый | К | | 1К, 2К |
| Коксовый отощенный | КО | | 1 КО, 2 КО |
| Коксовый слабоспекающийся низкометаморфизированный | КСН | 14-27% | - |
| Коксовый слабоспекающийся | КС | | 1 КС, 2 КС |
| Отощенный спекающийся | ОС | 13-28% | 1 ОС, 2 ОС |
| Тощий спекающийся | ТС | 9-17% | - |
| Слабоспекающийся | СС | < 9% | 1 СС, 2 СС, 3 СС |
| Тощий | Т | | 1Т 2Т |

Физические характеристики каменных углей

- обладают повышенной механической плотностью;
- малопористы;
- не склонны к самовозгоранию;
- устойчивы к хранению.

Антрациты и полуантрациты

- угли с наиболее высокой степенью углефикации и низким выходом летучих на горючую массу (менее 9%).

Антрацит – **А**: $V^{daf} \leq 5\%$.

Полуантрацит – **ПА**: $V^{daf} = 5-9\%$.

Классификация топлив по крупности

Согласно ГОСТ 1942-73 антрациты, каменные и бурые угли классифицируются по размеру кусков.

| Классы | Обозначение | Размер кусков, мм |
|---------|-------------|----------------------|
| Плитный | П | 100-200 |
| Крупный | К | 50-100 |
| Орех | О | 25-50 |
| Мелкий | М | 13-25 |
| Семечко | С | 6-13 |
| Штыб | Ш | 0-6 |
| Рядовой | Р | 0-300 (не ограничен) |

Примеры

Кузнецкий ССР → слабоспекающийся, рядовой

Донецкий АШ → антрацитовый штыб

1БМ → бурый (высоковлажный),
мелкий

Донецкий ГСШ → газовый, семечко, штыб

Мазут

– остаточный продукт нефтепереработки.

Марка топлива определяется предельной величиной вязкости при 80°C, составляющей:

- для **мазута 40** – 8,0 градусов условной вязкости (°ВУ);
- для **мазута 100** – 16,0 °ВУ.

По содержанию серы мазуты
разделяются на:

- **низкосернистые** ($S^p \leq 0,5\%$),
- **малосернистые** ($S^p \leq 1,0\%$),
- **сернистые** ($S^p \leq 2\%$),
- **высокосернистые** ($S^p \leq 3,5\%$).

Свойства мазута разделены на две группы:

- **управляемые**, которые в процессе его подготовки можно существенно изменить и привести к требуемым значениям (вязкость, реологические свойства, плотность, содержание влаги);
- **неуправляемые**, практически не изменяющиеся в процессе подготовки мазута (зольность, температуры застывания, вспышки и воспламенения).

- Температура застывания для большинства марок мазутов колеблется от +10 до + 36°С.
- Мазут, сжигаемый на тепловых электростанциях, имеет температуру вспышки* 90-140°С.

* Температура вспышки характеризует величину температуры, при которой пары мазута в определенном соотношении с окружающим воздухом вспыхивают при соприкосновении с открытым пламенем.

Природный газ

Для природного газа марка определяется относительным содержанием метана (обычно $\text{CH}_4 = 92\div 96\%$) и местом его добычи.

Основными техническими характеристиками природного газа являются

**ПЛОТНОСТЬ,
ВЗРЫВАЕМОСТЬ,
ТОКСИЧНОСТЬ.**

Элементарный состав газообразного топлива:



Материальный баланс процесса горения

Продукты полного сгорания топлива:

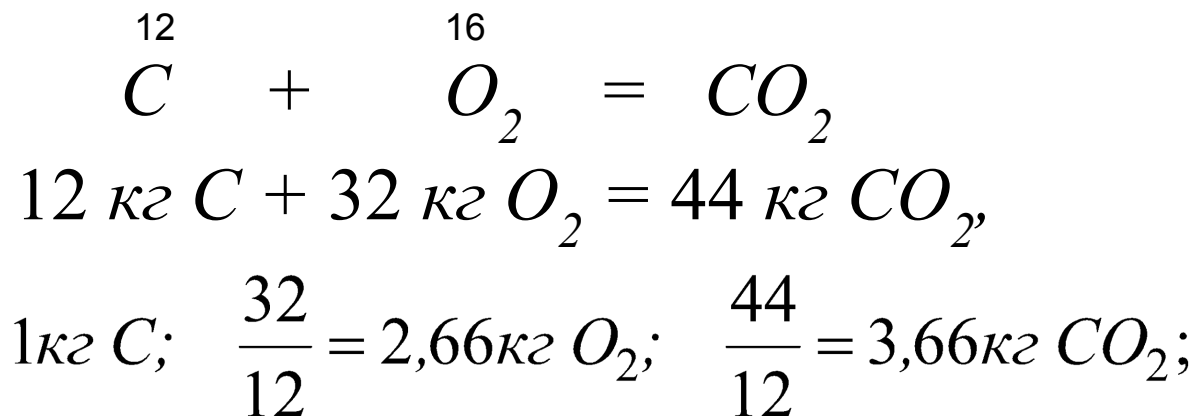
- углекислый газ CO_2 ,
- сернистый газ SO_2 ,
- водяные пары H_2O .

В качестве окислителя в котлах используется кислород воздуха.

Реакции горения

Горение углерода

При взаимодействии углерода с кислородом имеем:



т.е. на 1 кг C приходится примерно 2,66 кг O₂.

Выше записанное уравнение для определения массового расхода кислорода при сжигании 1 кг углерода.

При сжигании 1 кг вещества расход O_2 как газового составляющего необходимо подсчитать в m^3 , для этого нужно поделить на ρ .

Плотность кислорода: $\rho_{O_2} = 1,429 \text{ кг/м}^3$.

Плотность углекислого газа: $\rho_{CO_2} = 1,968 \text{ кг/м}^3$.

Расход O_2 в m^3 :

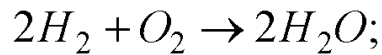
$$\frac{2,66 \text{ кг } O_2}{\rho_{O_2}} = \frac{2,66 \text{ кг}}{1,429 \text{ кг/м}^3} = 1,866 \text{ м}^3$$

Объем CO_2 при сжигании 1 кг C:

$$\frac{3,66 \text{ кг } CO_2}{\rho_{CO_2}} = \frac{3,66 \text{ кг}}{1,965 \text{ кг/м}^3} = 1,866 \text{ м}^3$$

Таким образом, на 1 кг углерода расходуется $1,866 \text{ м}^3 O_2$, а в результате горения получается $1,866 \text{ м}^3 CO_2$.

Горение водорода



$$4\text{кг} + 32\text{кг} = 36\text{кг};$$

$$1\text{кг } H_2; \quad \frac{32}{4} = 8\text{кг } O_2; \quad \frac{36}{4} = 9\text{кг } H_2O.$$

Плотность водяных паров:

$$\rho_{H_2O} = 0,805\text{кг} / \text{м}^3.$$

Расход O_2 в м^3 на 1кг H_2 :

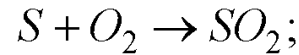
$$\frac{8\text{кг } O_2}{\rho_{O_2}} = \frac{8\text{кг}}{1,429\text{кг} / \text{м}^3} = 5,55 \text{ м}^3;$$

Объем водяных паров,

получ. в результате сжигания 1кг H_2 :

$$\frac{9\text{кг } H_2O}{\rho_{H_2O}} = \frac{9\text{кг}}{0,805\text{кг} / \text{м}^3} = 11,11 \text{ м}^3.$$

Горение серы



$$32\text{кг} + 32\text{кг} = 64\text{кг};$$

$$1\text{кг } S; \quad \frac{32}{32} = 1\text{кг } O_2; \quad \frac{64}{32} = 2\text{кг } SO_2.$$

Плотность сернистого газа:

$$\rho_{SO_2} = 2,86\text{кг} / \text{м}^3.$$

Расход O_2 в м^3 на 1кг S :

$$\frac{1\text{кг } O_2}{\rho_{O_2}} = \frac{1\text{кг}}{1,429\text{кг} / \text{м}^3} = 0,7 \text{ м}^3;$$

Объем сернистого газа,

получ. в результате сжигания 1кг S :

$$\frac{2\text{кг } SO_2}{\rho_{SO_2}} = \frac{2\text{кг}}{2,86\text{кг} / \text{м}^3} = 0,7 \text{ м}^3.$$

Теоретически необходимое количество воздуха

для сжигания 1кг C необходимо 1,866м³ O_2 ;

для сжигания 1кг S необходимо 0,7м³ O_2 ;

для сжигания 1кг H необходимо 5,55м³ O_2 .

Реакция горения:

$$V_{O_2} = \underbrace{1,866 \frac{C^p}{100} + 0,7 \frac{S^p}{100} + 5,55 \frac{H^p}{100}}_{\text{учитывает кислород воздуха}} - \underbrace{\frac{O^p}{100}}_{\text{учитывает кислород топлива}}.$$

Так как содержание O_2 в воздухе составляет 21%, то количество воздуха, теоретически необходимого для полного сжигания 1кг топлива составит:

расход теоретического воздуха

$$V_o^s = \frac{V_{O_2}}{0,21} = 0,0889C^p + 0,0333S^p + 0,265H^p - 0,0333O^p =$$
$$= 0,0889(C^p + 0,375S^p) + 0,265H^p - 0,0333O^p.$$

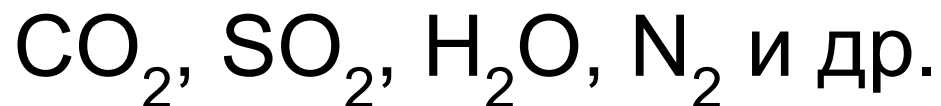
Коэффициент избытка воздуха

В действительности расход O_2 , необходимого для горения, превышает теоретически необходимое количество на какую-то величину.

Отношение действительного количества воздуха, подаваемого в топку, к теоретически необходимому называется **коэффициентом избытка воздуха**:

$$\alpha = \frac{V_{\text{в}}^{\text{Д}}}{V_{\text{в}}^{\text{О}}}.$$

- Продукты полного сгорания (полное окисление горючих элементов):



- Продукты неполного сгорания (в случае появления недожога):



Определение коэффициента избытка воздуха

1) «Азотная» формула:

- для полного сгорания

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - 3,76O_2};$$

- при наличии химич. неполноты горения

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - 3,76(O_2 + 2CH_4 - 0,5CO - 0,5H_2)}.$$

2) «Кислородная» формула:

- для полного сгорания

$$\alpha = \frac{21}{21 - O_2};$$

- при наличии химич. неполноты горения

$$\alpha = \frac{21}{21 - (O_2 + CH_4 - 0,5CO - 0,5H_2)}.$$

Все реакции протекающие при горении топлив подразделяются:

по тепловому эффекту:

экзотермические;

эндотермические;

по агрегатному состоянию:

гомогенные;

гетерогенные;

смешанные;

по характеру протекания реакции:

обратимые;

необратимые.

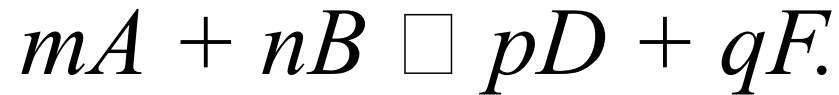
Горение

- сложный физико-химический процесс быстрого высокотемпературного окисления горючих элементов топлива, сопровождающийся выделением больших количеств тепла.

Закон действующих масс

- при постоянной температуре скорость реакции в однородной среде пропорциональна произведению концентраций реагирующих веществ.

В общем случае реакция типа:



Можно записать:

скорость прямой реакции - $w_{np} = k_{np} C_A^m C_B^n$;

скорость обратной реакции - $w_{обр} = k_{обр} C_D^p C_F^q$,

где C_A, C_B, C_D, C_F – концентрации реагирующих веществ;

m, n, p, q – число молекул реагирующих веществ;

$k_{np}, k_{обр}$ – константы скорости прямой и обратной реакций.

Константа равновесия химической реакции – $k_c = k_{np} / k_{обр}$ – является важной постоянной для данной реакции характеристикой.

Она характеризует состав смесей исходных веществ и продуктов реакции в их равновесном состоянии и отражает закон действующих масс.

Закон Аррениуса

Скорость реакции возрастает с повышением температуры – эта зависимость выражается законом Аррениуса.

$$k = k_0 e^{-\frac{E}{RT}},$$

k_0 – предэкспоненциальный множитель;

R – универсальная газовая постоянная, равная 8,32 кДж/моль·К;

T – температура, реагирующих веществ, К;

E – энергия активации, равная суммарной энергии атомов или молекул вступающих в химическую реакцию, кДж/моль.

$e = exp$ – ЭКСПОНЕНТА

Физическая сущность составляющих закона Аррениуса

k – количество соударений приводящих к химическому взаимодействию горючего и окислителя;

k_o – показывает число столкновений молекул;

$\left(e^{-\frac{E}{RT}} \right)$ – доля соударений, приводящих к химическому взаимодействию;

E – энергия активации – минимальный избыток внутренней энергии (среднее значение которой при данной температуре делает молекулы активными).

Цепные реакции

Протекание окислительных газовых реакций также не подчиняется классическим законам химической кинетики – закону действующих масс и закону Аррениуса, а подчиняется особо сложным, характерным только для этого типа реакций законам.

Все эти отклонения получили наиболее достоверное объяснение только после появления учения *Н. Н. Семенова* о так называемых **цепных реакциях**.

Согласно этому учению в ходе реакции активные молекулы могут порождать новые активные молекулы, которые образуют звено общей реакционной цепи, способной далее развиваться, порождая новые активные центры до тех пор, пока новые внешние обстоятельства не приведут к разрыву этой цепи.

Активные центры

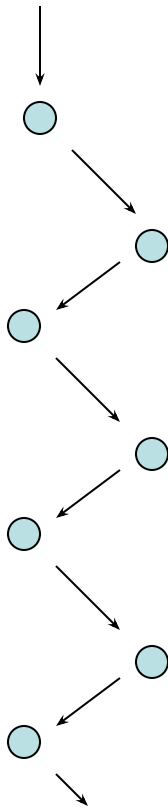
В качестве активных центров могут выступать атомы веществ (например, Н или О), радикалы типа ОН и HO_2 , перекиси H_2O_2 и т.п.

Цепные реакции, протекающие с неизменным числом активных молекул, продолжающих начатую цепь, называются ***неразветвленными***.

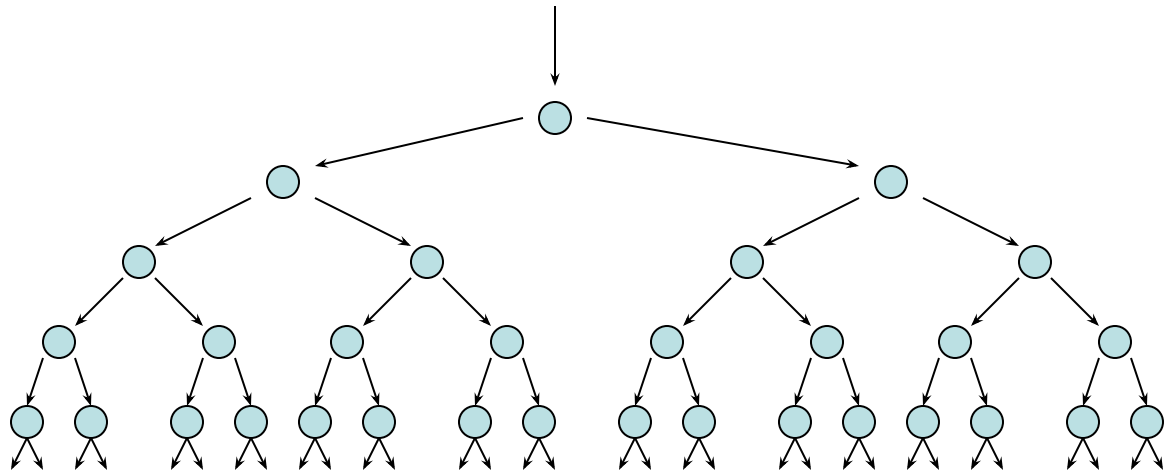
Если же в процессе реакций число активных молекул увеличивается и вновь возникающие активные молекулы образуют новые цепи, то такие цепные реакции носят название ***разветвленных***.

Типы реакций

неразветвленные



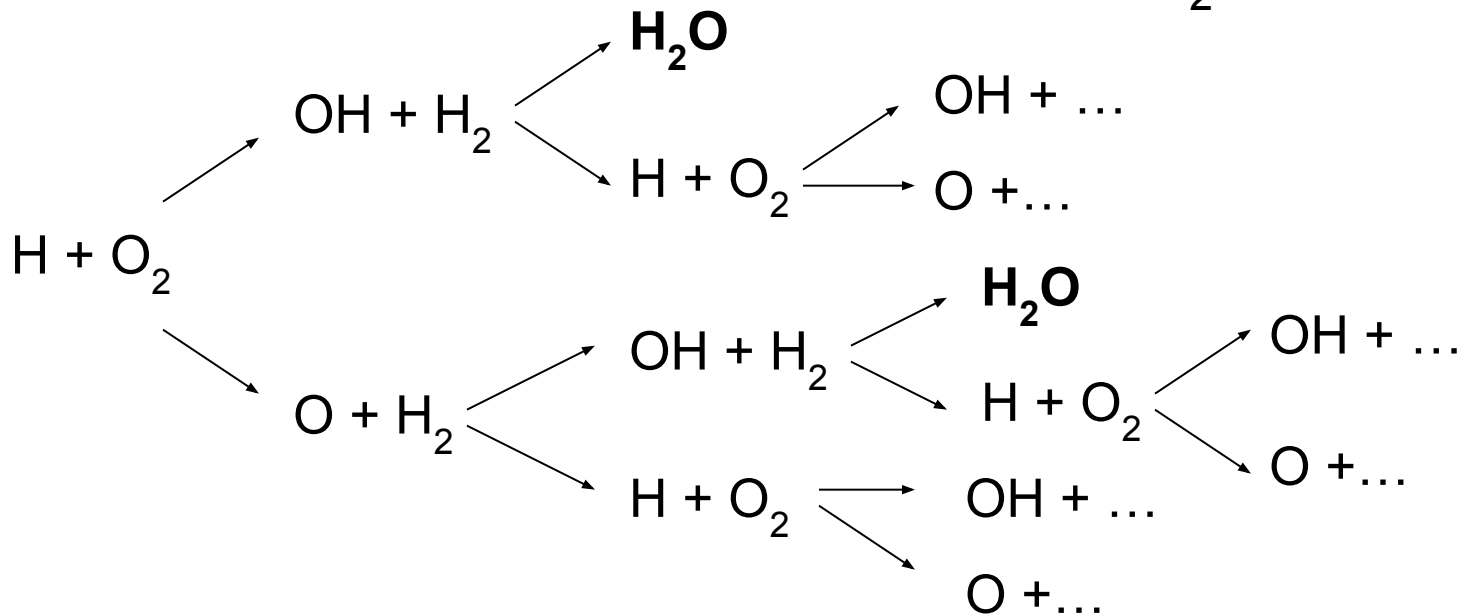
разветвленные



Процессы горения водорода, окиси водорода и углеводов являются разветвленными цепными реакциями.

Цикл цепной реакции горения водорода

Началом цепи является диссоциация молекулы водорода на два активных атома, возникающая за счет соударения молекулы водорода с какой-нибудь активной молекулой **M**, повышающей ее энергию до энергии активации: $\text{H}_2 + \text{M} = 2\text{H} + \text{M}$



$\text{H} + \text{O}_2 \rightarrow \text{OH} + \text{O}$, необходимая энергия активации $\varepsilon \sim 75$ кДж/моль;

$\text{O} + \text{H}_2 \rightarrow \text{OH} + \text{H}$, $\varepsilon \sim 25$ кДж/моль;

$\text{OH} + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H}$, $\varepsilon \sim 42$ кДж/моль.

Итоговое балансовое уравнение: $\text{H} + 3\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 3\text{H} + 2\text{H}_2\text{O}$, т.е. вместо одного H появляются три, поэтому реакция самоускоряется по времени.

Воспламенение горючей смеси

Существуют 2 режима реакций взаимодействия между горючим газом и кислородом в газовой смеси:

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ,

при котором реакция хотя и протекает, но настолько вяло, что практически ее заметить невозможно.

При протекании низкотемпературной реакции, называемой окислением, тепло выделяется в ничтожно – малых количествах и тут же рассеивается в окружающую среду, при этом температура смеси не меняется.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ,

при котором реакция хотя и протекает, но настолько бурно, что завершается практически мгновенно.

При протекании высокотемпературной реакции, называемой горением, тепло выделяется бурно и в большом количестве; поскольку оно не успевает рассеяться в окружающую среду за ничтожно малое время реакции и затрачивается в основном на подогрев конечных продуктов, горение сопровождается резким повышением температуры.

Воспламенение

Очевидно, что *между низкотемпературным и высокотемпературным режимами* должен существовать какой-то **промежуточный режим**, при котором процесс разветвления цепной реакции, (т. е. порождением одним активным центром нескольких новых) компенсируется процессом обрыва цепей (т. е. уничтожением всех новых активных центров, кроме одного, продолжающего цепь).

Этот переходный режим и называется **воспламенением газовой смеси**, а соответствующая ему переходная температура – **температурой воспламенения**.

Распространение пламени

Горение протекает в тонком слое, который в каждый момент отделяет ещё не сгоревшую смесь от продуктов сгорания этот тонкий слой носит название *фронта пламени*.

Фронт пламени перемещается, пока не сгорит вся смесь.

Указанный процесс горения называется ***нормальным горением***, а скорость распространения пламени – ***нормальной скоростью горения***.

Концентрационные пределы распространения пламени

Для каждого газа имеются:

нижний концентрационный предел

- минимальное содержание горючего газа в газозудушной смеси, при котором пламя еще распространяется в ней, выраженное в процентах по объему.

Для **водорода** нижний концентрационный предел составляет 4,1%. Это значит, что всякая смесь водорода с воздухом, в которой содержание водорода меньше 4,1% по объему, при поджигании не может взорваться, т.к. пламя в ней не распространяется.

верхний концентрационный предел

- максимальное содержание горючего газа в газозудушной смеси, при которой пламя еще распространяется в ней, выраженное в процентах по объему (***верхний предел взрываемости данного горючего газа***).

Верхний предел для смеси H_2 с воздухом составляет 74%.

Время сгорания топлива

Полное время сгорания любого топлива в топке τ_{Γ} складывается из времени, необходимой для подвода окислителя к топливу (смесеобразования), $\tau_{\text{см}}$, времени нагрева компонентов горения до температуры воспламенения и времени, необходимого для протекания самой химической реакции горения, $\tau_{\text{х}}$, т.е.

$$\tau_{\Gamma} = \tau_{\text{см}} + \tau_{\text{н}} + \tau_{\text{х}}$$

The diagram shows a horizontal line with a bracket underneath it. The bracket is divided into two sections by a vertical line. The left section is labeled $\tau_{\text{физ}}$ and the right section is labeled $\tau_{\text{хим}}$. This indicates that the sum of $\tau_{\text{см}}$ and $\tau_{\text{н}}$ is $\tau_{\text{физ}}$, and $\tau_{\text{х}}$ is $\tau_{\text{хим}}$.

Таким образом, $\tau_{\Gamma} = \tau_{\text{физ}} + \tau_{\text{хим}}$

если $\tau_{\text{физ}} \ll \tau_{\text{хим}}$, то $\tau_{\text{г}} \approx \tau_{\text{хим}}$ – процесс протекает в кинетической области горения;

если $\tau_{\text{физ}} \gg \tau_{\text{хим}}$, то $\tau_{\text{г}} \approx \tau_{\text{физ}}$ – процесс протекает в диффузионной области горения.

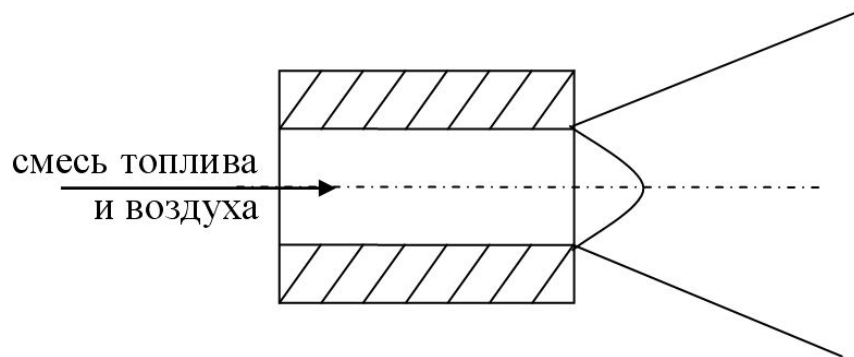
если $\tau_{\text{физ}} \approx \tau_{\text{хим}}$ – процесс находится в промежуточной области.

Принципы создания горелочных устройств

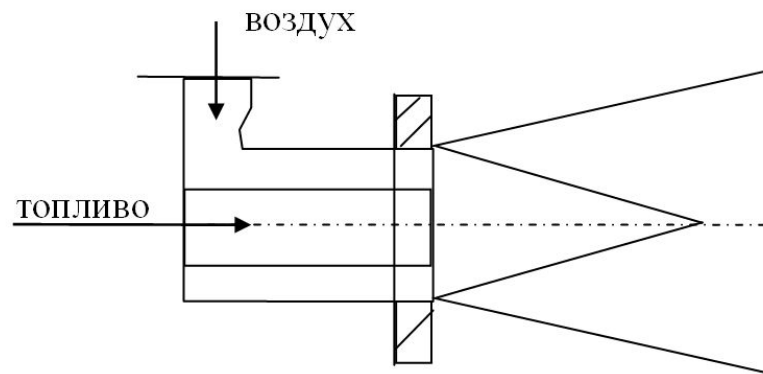
Время смесеобразования зависит от способа подачи в топку топлива и окислителя.

Существуют следующие принципы смесеобразования:

кинетический



диффузионный



СМЕШАННЫЙ

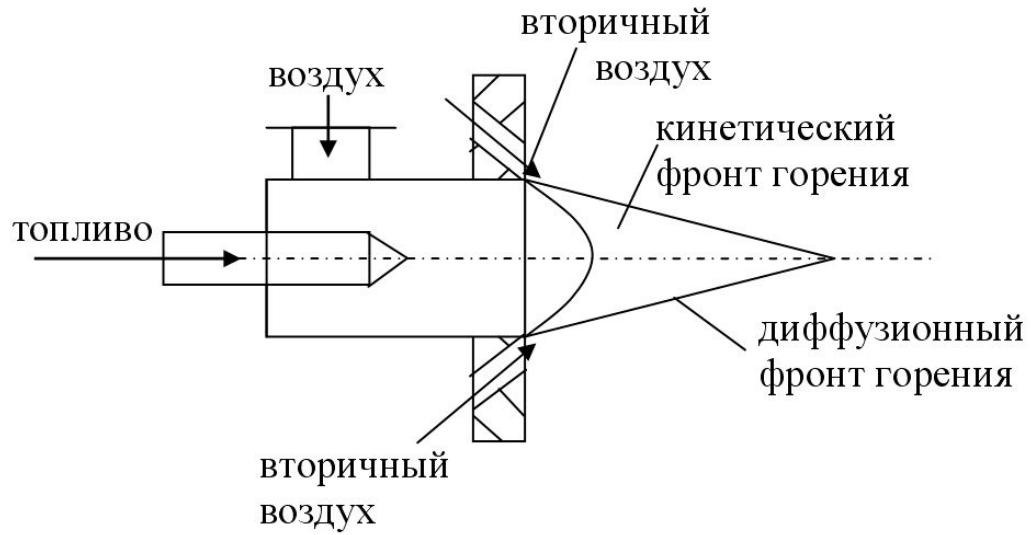
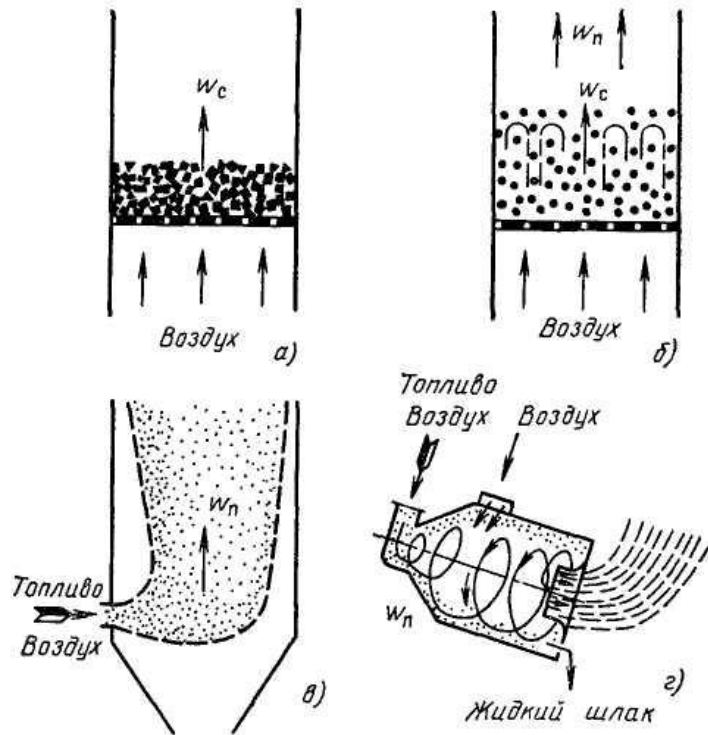


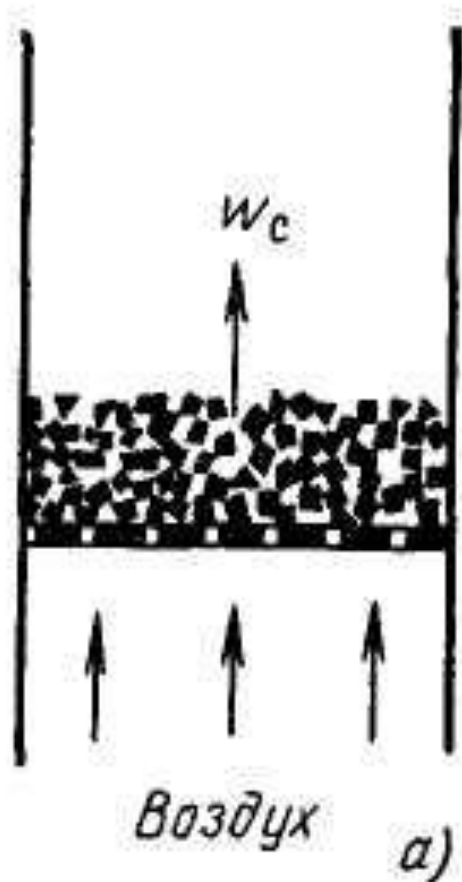
Схема организации топочных процессов (таблица)



- а) в плотном фильтрующем слое;
- б) в кипящем слое;
- в) факельный прямоточный процесс;
- г) вихревой (циклонный) процесс.

В основу данной классификации положены признаки аэродинамического характера, наиболее важные потому, что ими определяется подвод окислителя к реагирующей поверхности, что в наибольшей мере влияет на удельную производительность и экономичность топочного процесса.

Сжигание в плотном фильтрующем слое

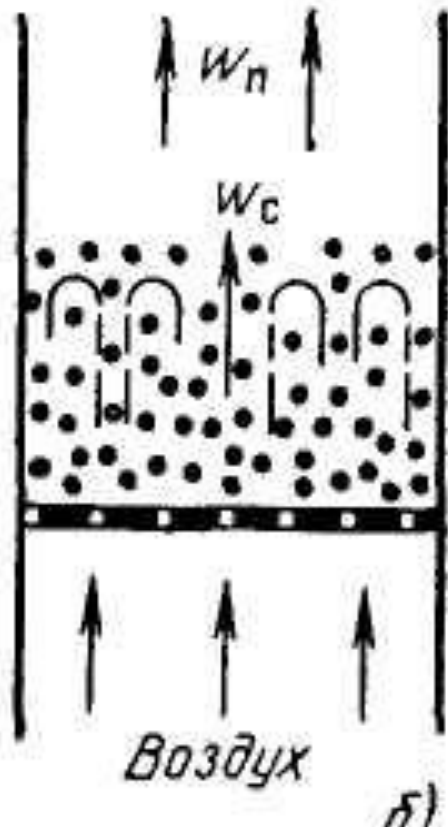


Размеры частиц топлива:
на практике в слоевых топках сжигают твердое топливо с частицами 20-30 мм.

Количество топлива:
горящего топлива на решетке составляет около 700–1000 кг на 1 м^3 объема слоя.

Скорость горения определяется скоростью подвода окислителя (т.е. скоростью обтекания частиц воздушным потоком).

Процесс в кипящем слое

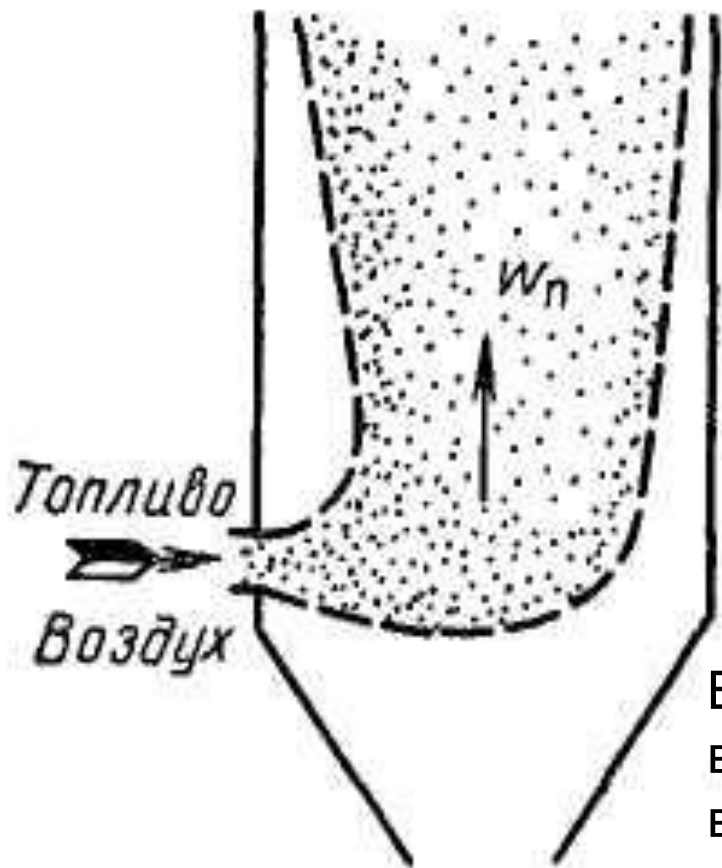


Размеры частиц топлива:
20-30 мм.

Количество топлива: в 1 м³
кипящего слоя одновременно
находится и реагирует около
400-600 кг топлива.

Частицы топлива совершают в слое возвратно-поступательные движения до тех пор, пока их масса не уменьшится настолько, что они выносятся из слоя газовым потоком и догорают в потоке газов над слоем.

Факельный прямоточный процесс



Размеры частиц топлива:

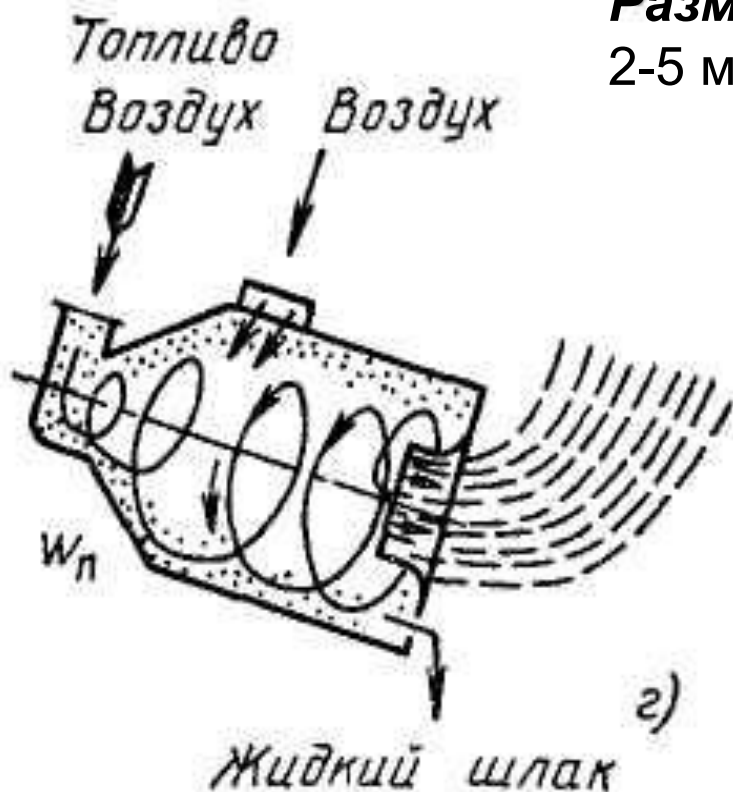
40 мкм.

Количество топлива:

в отличие от процессов с плотным и кипящим слоем при факельном прямоточном процессе в топочной камере находится и одновременно сгорает ничтожное количество твердого топлива - всего около 20-30 г на 1 м³ объема.

Время пребывания газа в топочной камере весьма ограничено, то для обеспечения выгорания за короткое время применяют топливо, измельченное до пылевидного состояния (размер пылинок – десятки микрометров).

Вихревой (циклонный) процесс



Размеры частиц топлива:
2-5 мм.

Количество топлива: время пребывания газа в топочной камере весьма ограничено, то для обеспечения выгорания за короткое время применяют топливо, измельченное до пылевидного состояния (размер пылинок – десятки микрометров).

При циклонном процессе в отличие от факельного частица циркулирует по организованному обтекаемому контуру столько, сколько необходимо для ее сгорания, или выносится в камеру догорания.

Условия полного сжигания горючего и окислителя:

- 1) температура в камере горения должна быть выше температуры воспламенения горючей смеси, в противном случае горение будет неустойчивым;
- 2) предварительный нагрев горючей смеси ускоряет зажигание и интенсифицирует процесс горения.

Топливоприготовление

На каждой пылеугольной электростанции имеется топливно-транспортное хозяйство (цех топливоподдачи).

Топливное хозяйство – система устройств и механизмов, предназначенных для приема, хранения, перемещения и первичной обработки топлива перед использованием.

При использовании для сжигания в котлах твердого топлива в системе топливного хозяйства осуществляются следующие операции:
прием поступающего топлива;
хранение запаса топлива на складе (в количестве, необходимом для бесперебойного топливоснабжения);
учет прибывающего и расходующего топлива.

На каждой ТЭС имеется топливное хозяйство, включающее в себя устройства для перемещения топлива по территории ЭС, совокупность средств разгрузки и приемки поступающего на неё угля, склад для хранения топлива, устройства для подготовки и подачи топлива в котельную.

Обычно топливо поступает на станцию в железнодорожных вагонах.

После разгрузки вагоноопрокидывателями твердое топливо транспортируется ленточными конвейерами:

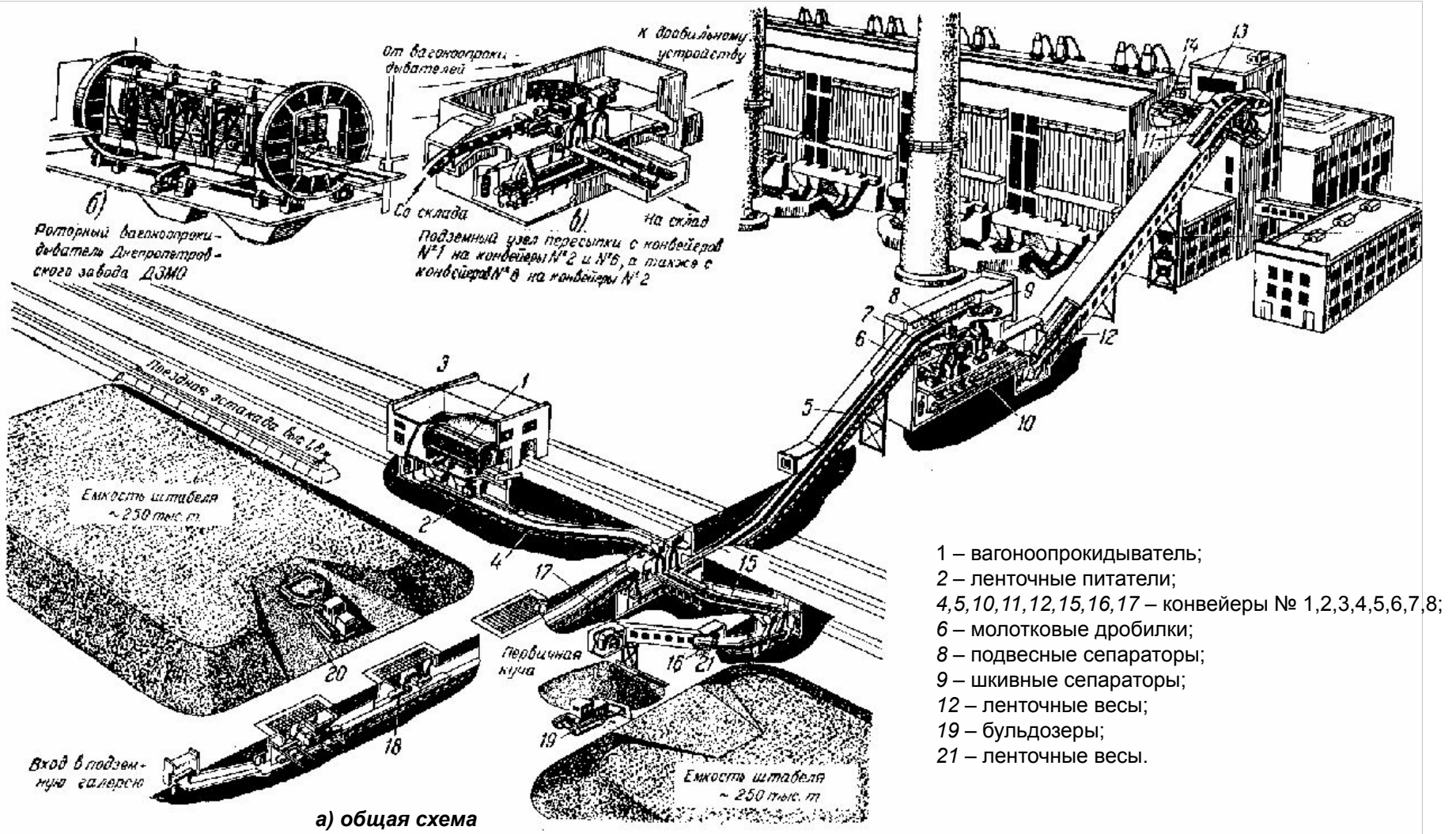
часть на складирование,

часть – на дробление в, так называемый, дробильный корпус, где происходит его измельчение в дробилках до размеров **25 мм**.

Затем по двум лентам конвейеров (одна лента резервная) твердое топливо подается в главный корпус ТЭС (в бункеры сырого угля (БСУ) котлов).

По пути движения топлива устанавливаются щепоуловители и магнитные сепараторы.

Общий вид топливного хозяйства электростанции









Очистка топлива

При добыче и транспортировке твердого топлива в него случайно попадают различные металлические и древесные включения.

Металлические включения – болты гайки, куски проволоки и пр.

Древесные включения – обломки крепежного леса, обычно в виде кусков досок и щепы.

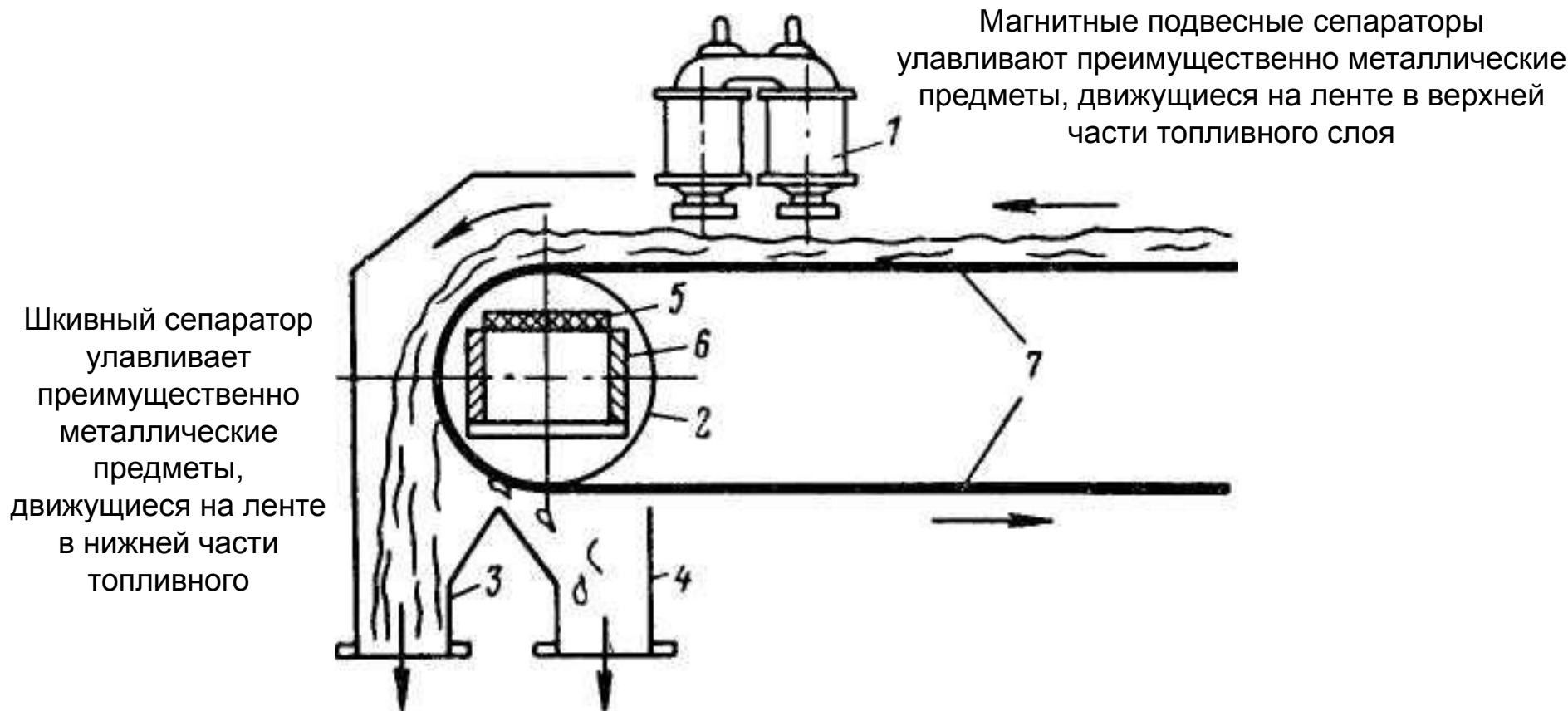
Во избежание поломки оборудования* необходимо в тракте топливоподачи выделять из топлива металлические и древесные включения с помощью специальных установок.

Для металлических включений – магнитные сепараторы.

Для древесных включений – щепоуловители

* Затрудняется измельчение топлива, понижается производительность агрегатов и повышается удельный расход электроэнергии на размол.

Схема установки и работы шкивного и подвесного магнитных сепараторов



1 – подвесной сепаратор; 2 – шкивный сепаратор; 3 – точка топлива; 4 – точка металла; 5 – магнит; 6 – намагничивающая катушка; 7 – транспортер.

При механизированном отборе щепы на сходе угля с ленточного конвейера топливоподачи устанавливают вращающийся барабан с лопастями 2 (гребенками), располагая его параллельно оси приводного барабана транспортера 3.

Перед барабаном устанавливают щелевую решетку 1 .

Гребенка посредством цепной передачи связана с валом приводного барабана.

При включении транспортера гребенка вращается и, прочесывая поток угля, захватывает щепу и сбрасывает ее в специальную точку.

Основным элементом любой пылесистемы является углеразмольная мельница.

В мельницы топливо должно поступать согласно «Правилам технической эксплуатации электростанций», размером **не более 25 мм**; и только для бурых высоковлажных топлив допускаются размеры кусочков до 60 мм.

Мельница предназначена для измельчения топлива до нужного размера и подсушки топлива.

В отечественной энергетике преимущественное распространение получили быстроходные молотковые (шахтные) и шаровые мельницы. Для размола высоковлажных углей применяют мельницы-вентиляторы.

Мельничные устройства

Для приготовления угольной пыли применяют следующие мельничные устройства:

1) ТИХОХОДНАЯ

- шаровая барабанная мельница (ШБМ).

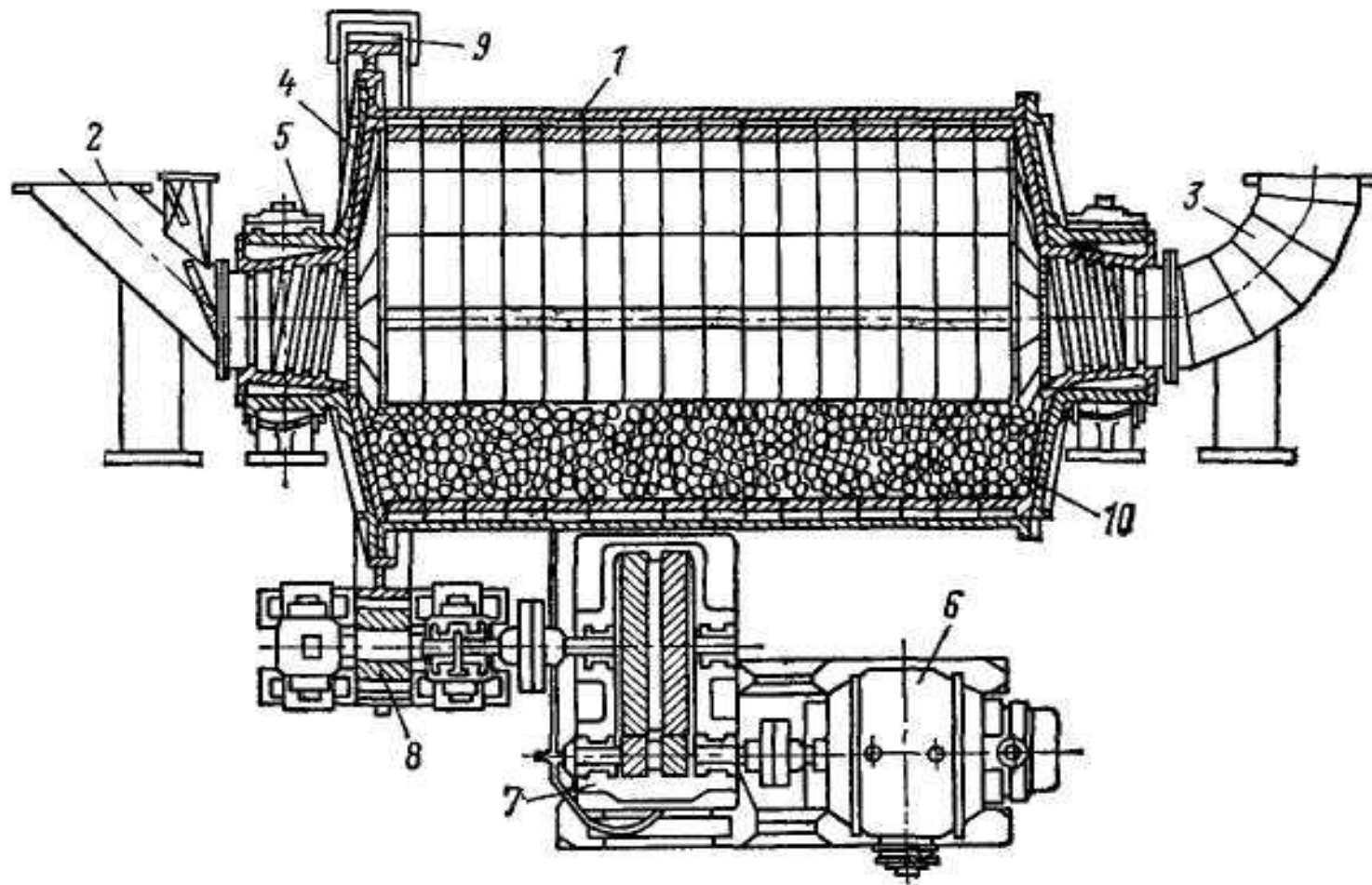
2) СРЕДНЕХОДНАЯ

- шаровая среднеходная мельница (ШСМ);
- валковая среднеходная мельница (ШВС).

3) БЫСТРОХОДНАЯ

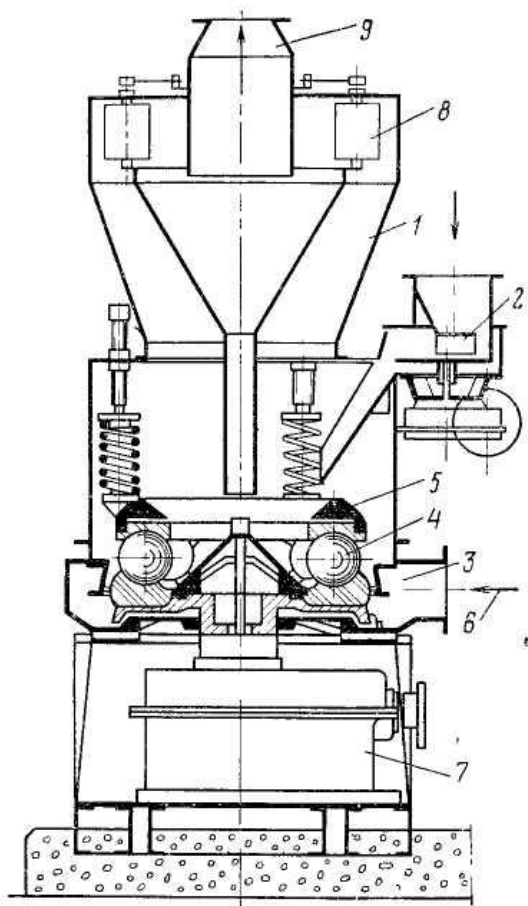
- молотковая мельница (ММ):
 - ~ тангенциальная (ММТ);
 - ~ аксиальная (ММА);
- мельница-вентилятор (МВ).

Шаровая барабанная мельница

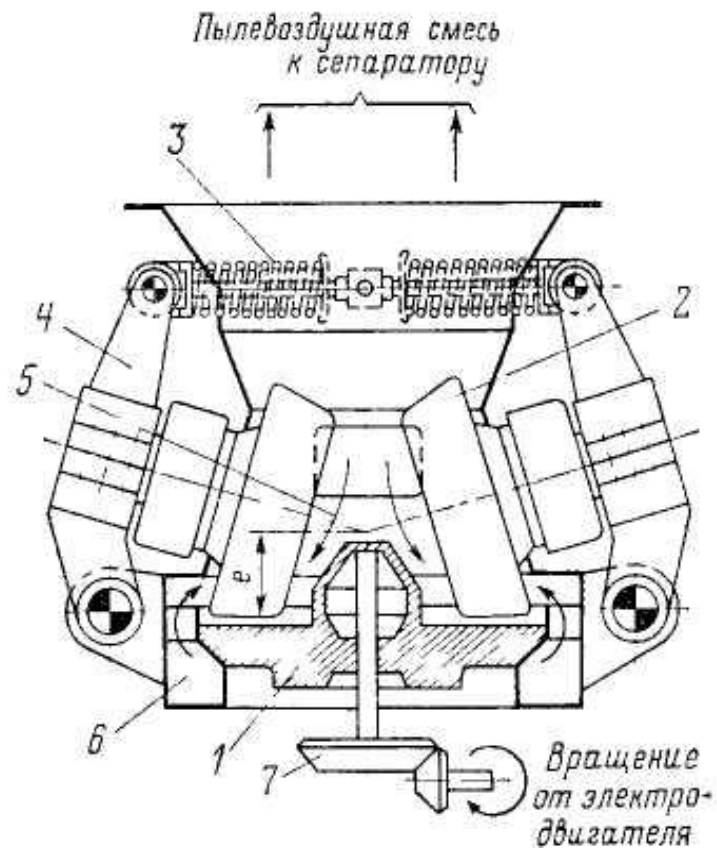


Среднеходные мельницы

Шаровая среднеходная

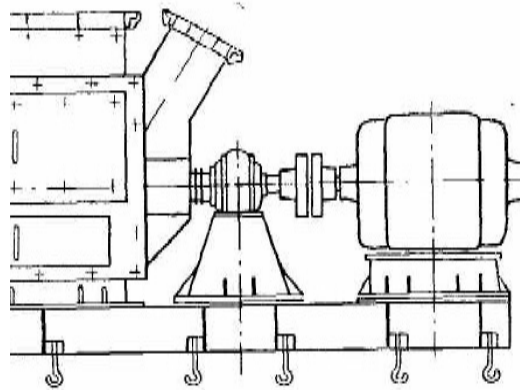


Валковая среднеходная

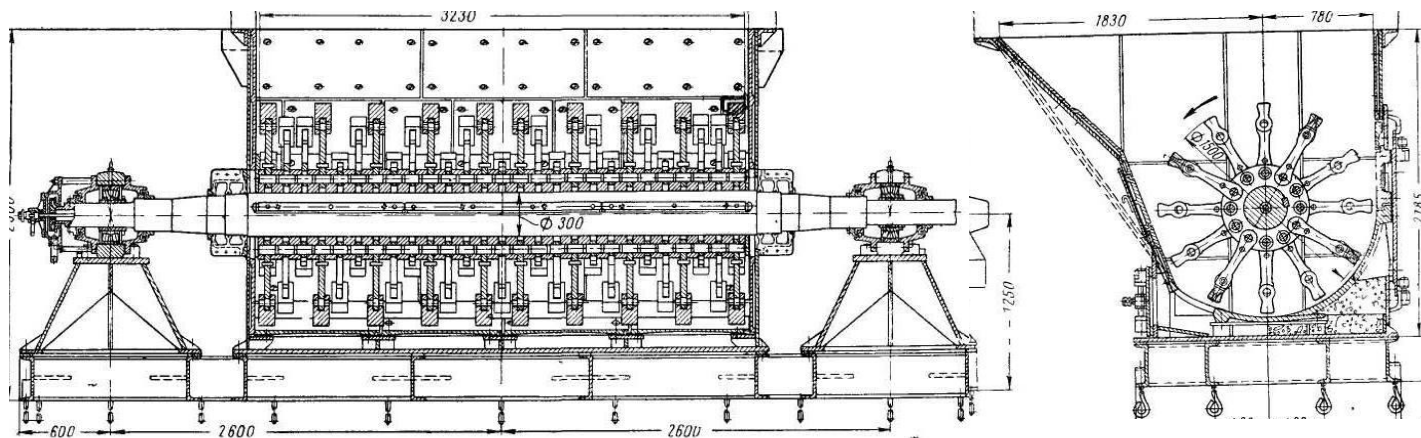


Молотковые мельницы

Аксиальная молотковая



Тангенциальная молотковая



Мельница-вентилятор

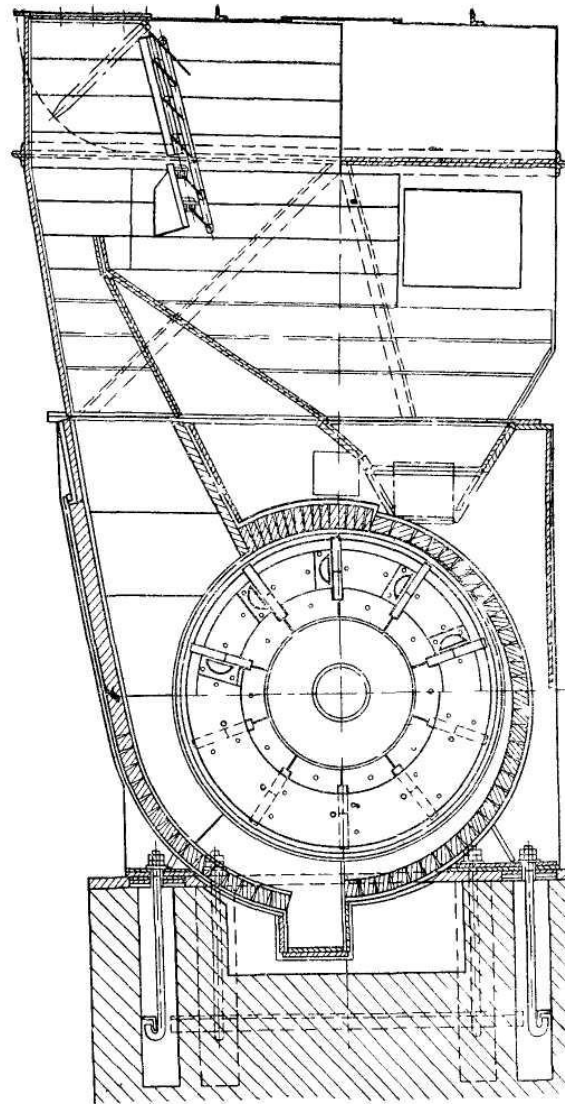
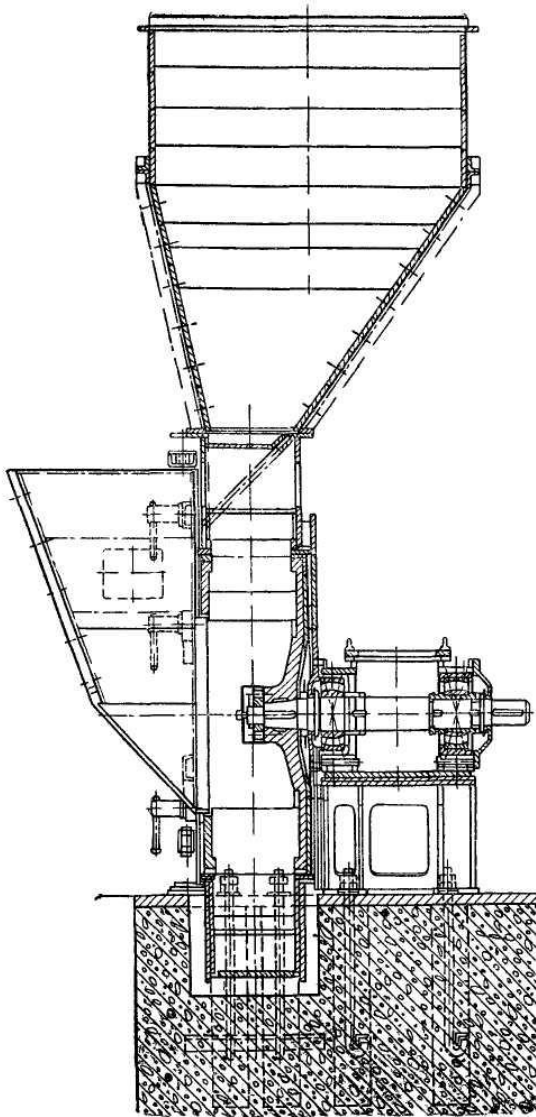


Таблица с основными характеристиками

В таблице приведены некоторые характеристики наиболее распространенных мельниц для размола топлива.

Они различаются по принципу измельчения топлива и по частоте вращения подвижной части мельницы.

| мельница параметр | ШБМ | СМ | ММ | МВ |
|------------------------------------|--|--|--|--|
| частота вращения, об/мин | 16-23 | 50-150 | 735-980 | 590-1470 |
| принцип измельчения | удар, истирание | раздавливание | удар | удар |
| t_{возд}, °C | 450 | 350 | 300-400 | 900-1000 |
| ТОПЛИВО | антрацит и некоторые каменные угли | каменные угли с малой влажностью | высокорреакционное топливо, бурые угли, сланцы, фрезерный торф, молодые каменные угли с $V^r \geq 30\%$ | высоковлажные бурые угли, фрезерный торф |

Угольная пыль и ее характеристики

После размола топлива в мельнице получается полидисперсный угольный порошок (*угольная пыль*), т. е. смесь частиц различных размеров, примерно от 0,1 до 300-500 мкм, а при грубом размоле бурых углей – до 1000 мкм.

Преобладают же зерна размером от 200 до 500 мкм.

Согласно ГОСТ 3584-73 тонкость пыли характеризуется остатком на ситах с ячейками 90, 200 и 1000 мкм.

Остаток обозначается буквой R_x .

В процессе размола топлива образуется смесь мельчайших пылинок (от нескольких микрометров) с более крупными (размером до 300-500 мкм).

Тонкость размола пыли

Ее определяют по рассеву взятой порции полученного порошка на ситах.

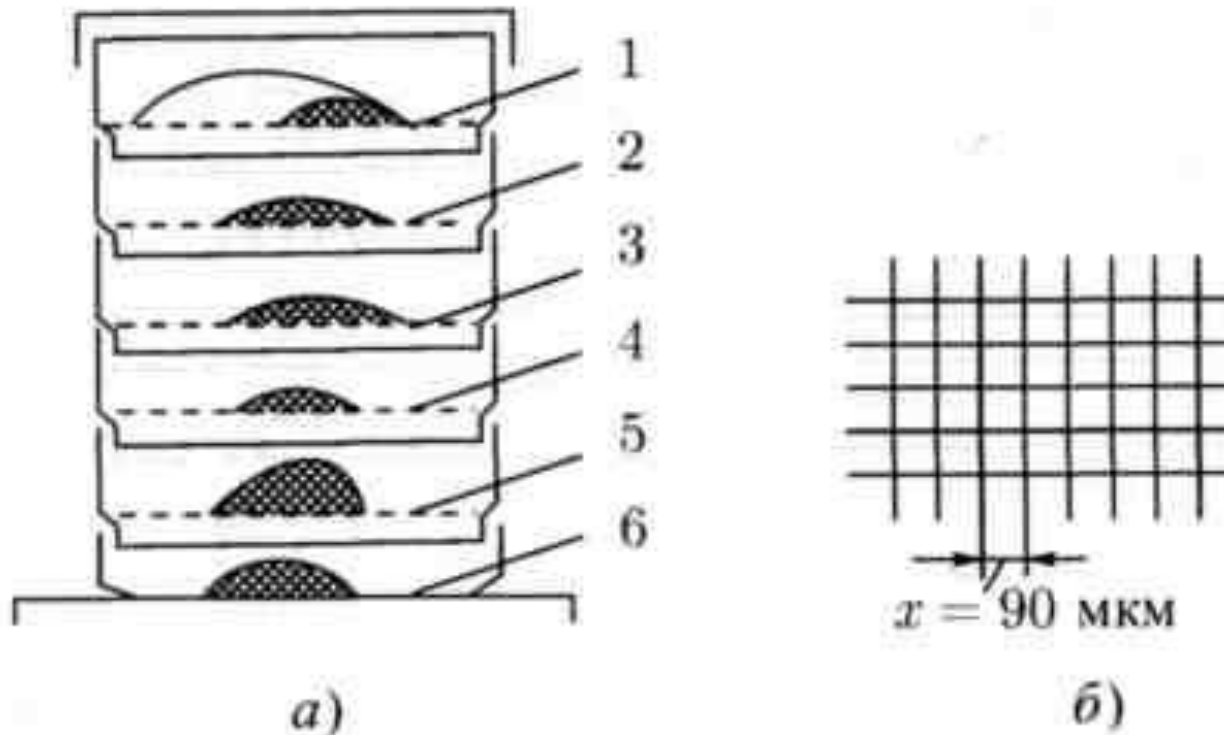
Отобранную порцию пыли* (25 или 50 г) просеивают через 4-5 сит с постепенно убывающим размером ячеек сита.

Рассев производят на вибрационной машине.

Сита нумеруют по размеру отверстия в свету x , выраженному в микрометрах.

* для просева берут пробу пыли (25 или 50 г) и доводят в сушильном шкафу до воздушно-сухого состояния

Производство ситового анализа пыли на комплекте из пяти сит



a – комплект сит с рассевом пыли; *б* – вид решетки сита;

1-5 – сита с размерами ячейки соответственно 1 000, 500, 200, 90, 50 мкм;

6 – поддон; x – размер ячейки сита

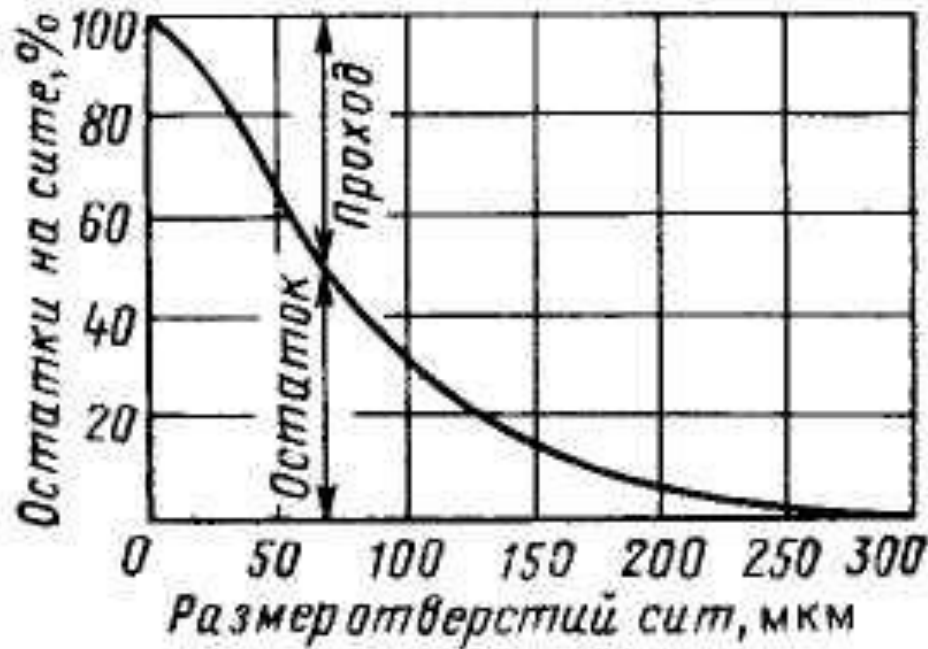
В эксплуатационном контроле качества топливной пыли пользуются ситами двух размеров: сита с размером ячеек 200,500 или 1000 мкм для грубого размола и с размером ячеек 90 или 200 мкм для тонкого размола.

Остаток на ситах обозначают через R_x .

Так, обозначение $R_{90} = 10\%$ указывает, что на сите с размером ячеек 90 мкм остается 10 % пыли, а вся остальная пыль проходит через это сито.

По данным рассева строят зерновую характеристику, т.е. зависимость остатков R_x от размера частиц x .

Зерновая характеристика пыли



Зерновая характеристика описывается уравнением:

$$R_x = 100e^{-bx^n}$$

R_x - полный остаток на сите с размером ячеек сита x мкм;

b - коэффициент тонкости измельчения: $b=0,0025-0,1$ (чем тоньше пыль, тем меньше коэффициент b);

n - коэффициент полидисперсности пыли: $n = 0,7-1,5$ (зависит от типа мельничного устройства);

e - основание натуральных логарифмов

R_{90}

В эксплуатации для быстрой (оперативной) оценки качества угольной пыли пользуются обычно ситом 90 мкм, дающим четкое представление о характере пыли (тонкая или грубая), то есть интегральным остатком R_{90} .

При известных для данной пылесистемы значений b и n по полученному R_{90} легко рассчитать полную зерновую характеристику, а также оценить качество пыли:

при $R_{90} < 15\%$ - пыль относится к тонкой,

при $R_{90} > 40\%$ - пыль является грубой,

при $R_{90} = 15-40\%$ - пыль считается среднего состава.

Размолоспособность топлива

Механические (прочностные) свойства различных твердых топлив не одинаковы. Одна и та же мельница при их размолу будет иметь разную производительность по готовой пыли.

Для характеристики топлив по их способности к размолу введено понятие о **лабораторном относительном коэффициенте размолоспособности $K_{ло}$** .

$K_{л.о.}$

– это отношение расходов электроэнергии при размоле эталонного топлива ($\mathcal{E}_{\text{эт}}$) и исследуемого топлива ($\mathcal{E}_{\text{исп}}$) при воздушно-сухом их состоянии и измельчении от одинаковой крупности до одной и той же тонкости помола.

$$K_{\text{ло}} = \frac{\mathcal{E}_{\text{эт}}}{\mathcal{E}_{\text{исп}}}$$

В качестве эталона принят антрацит (донецкий антрацитовый штыб (АШ)),

$$K_{\text{ло}} = 1, R_{90} \approx 70\%$$

Значения $K_{ло}$

если $K_{ло} \leq 1,1$ – то топлива имеют высокую твердость;

если $K_{ло} > 1,5$ – топлива относятся к мягким (легко разрушающимся при ударе или раздавливании);

остальные значения $K_{ло}$ – соответствуют топливам средней твердости.

Взрывобезопасность угольной пыли

Оценка взрываемости пыли твердых топлив осуществляется по **критерии взрываемости K_T** , представляющему собой отношение выхода летучих на сухую массу топлива к нижнему концентрационному пределу распространения пламени летучих при наличии негорючего остатка в виде золы и кокса.

Критерии взрываемости K_T

$$K_T = \frac{V^d}{\mu_{\Gamma\sigma}^H}$$

- выход летучих на сухую массу топлива

- нижний концентрационный предел распространения пламени летучих при наличии негорючего остатка

Критерий взрываемость топлива отражает меру химической активности его летучих.

Указанное значение K_T относится к сухой массе топлива.

Группы взрывоопасности топлив

Топлива подразделяются на четыре группы взрывоопасности:

I группа - $K_T \leq 1,0$;

II группа - $1,0 < K_T \leq 1,5$;

III группа - $1,5 < K_T \leq 3,5$;

IV группа - $K_T > 3,5$.

Если $K_T < 1$, то топлива не взрывоопасны.

Если $K_T \geq 1$, топливо взрывоопасно тем в большей степени, чем выше значение K_T .

В зависимости от группы взрывоопасности устанавливаются необходимые средства взрывопредупреждения и взрывозащиты.