

# ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО

# ВИДЫ ТОПЛИВА

**Органическое топливо** – это вещество, способное активно вступать в реакцию с кислородом воздуха, обладающее значительным удельным тепловыделением, происходящим при высокой температуре продуктов горения.

# ВИДЫ ТОПЛИВА

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ТОПЛИВО

### твердое

антрацит

каменный уголь

бурый уголь

торф

сланцы

### жидкое

мазут

дизельное

газотурбинное

### Газообразное

природный газ

# СОСТАВ ТОПЛИВА



**Твердое и жидкое органическое топливо**

**Горючая часть**

- Углерод
- Водород H
- Сера летучая S<sub>л</sub>

**Внутренний балласт**

- Кислород O
- Азот N

**Внешний балласт**

- Влага W
- Минеральная часть A

**Топливо**

**Газообразное топливо**

**Горючая часть**

- CH<sub>4</sub> = 80÷95%
- C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> = 4÷9%
- H<sub>2</sub>
- CO
- H<sub>2</sub>S

**Негорючая часть**

- CO<sub>2</sub>
- N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

*Один килограмм водорода выделяет при сгорании тепла в несколько раз больше, чем углерод. Один килограмм серы выделяет при сгорании тепла в 3,5 раза меньше, чем углерод.*

# СОСТАВ ТОПЛИВА

## Содержание

## Теплота сгорания

углерод

от 50 % у древесины  
до 93 % у антрацита

около 33 МДж/кг

водород

от 2 до 6 %

парообразное  
состояние -

120 МДж/кг

жидкое состояние -

142 МДж/кг

сера

9,05 МДж/кг

# СОСТАВ ТОПЛИВА

## Содержание

## Теплота сгорания

кислород

от 2 % у антрацита  
до 42 % у древесины

*снижает  
горючую часть*

азот

до 3 %

*снижает  
горючую часть*

# СОСТАВ ТОПЛИВА

Сера, содержащаяся в  
твердом топливе

**Органическая**  
(входит в состав  
органических  
соединений)

**Колчеданная**  
(входит в состав  
колчедана  
или пирита  $\text{FeS}_2$ )

**Сульфатная**  
(входит в состав  
сульфатов, не горит  
и переходит в золу  
и шлаки )

Горючая

# СОСТАВ ТОПЛИВА

Сера, содержащаяся  
в мазуте

```
graph TD; A[Сера, содержащаяся в мазуте] --> B[Малосернистый (до 0,5 %)]; A --> C[Сернистый (0,5 - 1,7 %)]; A --> D[Высокосернистый (более 1,7 %)]
```

**Малосернистый**  
(до 0,5 %)

**Сернистый**  
(0,5 - 1,7 %)

**Высокосернистый**  
(более 1,7 %)

# СОСТАВ ТОПЛИВА

**Зола** - представляет собой твердый минеральный остаток после сжигания топлива и состоит из топочных шлаков и летучей золы.

**Содержание минеральных примесей в топливе** изменяется в широких пределах: от 1–2 % у древесины до 55 % в углях, а в горючих сланцах до 70 %.

# ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ МАССЫ ТОПЛИВА

Различают пять элементарных масс топлива:

$C^0 + H^0 + S^0 + N^0 + O^0 = 100\%$     **Органическая масса**     $W=A=S_k=0$

$C^Г + H^Г + S^Г + N^Г + O^Г = 100\%$     **Горючая масса**     $W=A=0$

$C^C + H^C + S^C + N^C + O^C + A^C = 100\%$     **Сухая масса**     $W=0$

$C^A + H^A + S^A + N^A + O^A + A^A + W^A = 100\%$     **Аналитическая масса**

$C^P + H^P + S^P_{л} + N^P + O^P + A^P + W^P = 100\%$     **Рабочая масса** (на складе)

# ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ МАССЫ ТОПЛИВА



# КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕСЧЕТА МАСС ТОПЛИВА

Пересчет состояния топлива с одной массы на другую ведется с помощью коэффициента пересчета:

$$X^P = KX^Y$$

При хранении и транспортировке топлива его зольность и влагосодержание могут изменяться  $A_1^P, W_1^P \rightarrow A_2^P, W_2^P$ :

$$K = (100 - A_2^P - W_2^P) / (100 - A_1^P - W_1^P)$$

# КОЭФФИЦИЕНТ ПЕРЕСЧЕТА МАСС ТОПЛИВА

Искомая масса топлива	Заданная масса топлива			
	Рабочая	Сухая	Горючая	Органическая
Рабочая	1	$\frac{100 - W^p}{100}$	$\frac{100 - W^p - A^p}{100}$	$\frac{100 - W^p - A^p - S^p}{100}$
Сухая	$\frac{100}{100 - W^p}$	1	$\frac{100 - A^c}{100}$	$\frac{100 - A^c - S^c}{100}$
Горючая	$\frac{100}{100 - W^p - A^p}$	$\frac{100}{100 - A^c}$	1	$\frac{100 - S^e}{100}$
Органическая	$\frac{100}{100 - W^p - A^p - S^p}$	$\frac{100}{100 - A^c - S^c}$	$\frac{100}{100 - S^e}$	1

# ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ

Теплотой сгорания называется количество теплоты, выделившейся при полном сгорании единицы массы или объема топлива [Кдж/кг], [Кдж/м<sup>3</sup>]:

**высшая теплота сгорания** - количество тепла, выделяемое при полном сгорании единицы топлива с учетом теплоты конденсации, образующейся при горении водяных паров

**низшая теплота сгорания** – это количество тепла без учета теплоты конденсации

# ПЕРЕСЧЕТ НИЗШЕЙ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ВНЕШНЕГО БАЛЛАСТА

1. **при изменении зольности** ( $A_1^P \rightarrow A_2^P$ ) пересчет ведется аналогично составу топлива:

$$Q_{H_2}^P = Q_{H_2}^P \times K, \text{ где } K = (100 - A_2^P) / (100 - A_1^P)$$

2. **при изменении влажности** пересчет низшей теплоты ведется через высшую теплоту сгорания, которая пересчитывается аналогично составу топлива:

$$Q_{H_2}^P \rightarrow Q_{B1}^P \rightarrow Q_{B2}^P \rightarrow Q_{H_2}^P$$

$$Q_{H_2}^P = (Q_{H_1}^P + 0,025 W_1^P) \times ((100 - W_2^P) / (100 - W_1^P)) - 0,025 W_2^P$$

Для *твердого и жидкого топлив* теплота сгорания может быть примерно рассчитана по полуэмпирической формуле Менделеева.

$$Q_H^P = 0,039 C^P + 1,03 H^P - 1,109 (O^P - S^P_{л}) - 0,025 W^P, \text{ [Мдж/кг]}$$

Теплота сгорания *природного газа* может быть рассчитана следующим образом:

$$Q_H^C = 0,01 (CH_4 \cdot Q_{CH_4} + \sum_{n=2} C_n H_m \cdot Q_{C_n H_m} + H_2 \cdot Q_{H_2}) + CO \cdot Q_{CO} + H_2 S \cdot Q_{H_2 S}, \quad \text{[ккал/кг или кДж/нм}^3\text{]}$$

# ПЕРЕСЧЕТ НИЗШЕЙ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ

Для **твердого** и **жидкого** топлив теплота сгорания может быть примерно рассчитана по полуэмпирической **формуле Менделеева**:

$$Q_H^P = 0,039C^P + 1,03 H^P - 1,109 (O^P - S^P_{л}) - 0,025 W^P, \text{ [Мдж/кг]}$$

Теплота сгорания **природного газа** может быть рассчитана:

$$Q_H^C = 0,01(C \cdot Q_{CH_4} + \sum_{n=2} C_n \cdot H_m \cdot Q_{C_nH_m} + H_2 \cdot Q_{H_2}) + CO \cdot Q_{CO} + H_2S \cdot Q_{H_2S},$$

[ккал/кг или кДж/нм<sup>3</sup>]

# ТЕПЛОТА СГОРАНИЯ РАЗНЫХ ТОПЛИВ

Вид топлива	$W^P$	$A^P$	$V^Г$	$Q_H^P$ (Мкал/кг)
	%			
антрацит	8..10	20..30	4..6	5,2..5,5
каменный уголь	5..25	10..50	8..45	3..6
бурый уголь	20..50	6..30	40..70	2,2..4,5
сланцы	10..20	55..60	80..90	2..2,7
торф	40..50	6..8	70	1,8..2
мазут	1..3	0,1..0,3		9..9,1
газ				8..11

# **ХАРАКТЕРИСТИКИ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА**

# ЗОЛЬНОСТЬ

В состав минеральной части топлива входят соединения:

**.алюмосиликаты** глина  $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

**.кремнезём**  $\text{SiO}_2$ ;

**.оксиды железа**  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ;

**.сульфаты**  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ ,  $\text{FeSO}_4$ ;

**.карбонаты**  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{FeCO}_3$ ;

**.сульфиды**  $\text{FeS}_2$ ,  $\text{CaS}$ ;

**.соли щелочных металлов**

$\text{NaCl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ ;

**.органоминеральные вещества**

соли гумановых кислот.

от 1–2 % -

в древесине

до 55 % -

в углях

до 70 % -

в горючих

сланцах

# ЗОЛЬНОСТЬ

**Плавкость золы**

**тугоплавкая**

температура плавления выше  
1425 °C

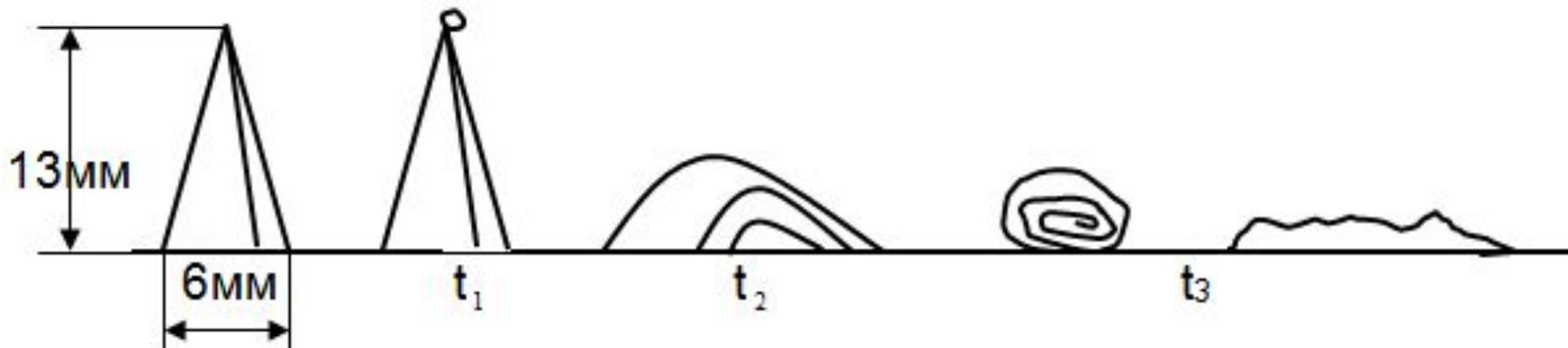
**среднеплавкая**

температура плавления  
1200-1425 °C

**легкоплавкая**

температура плавления  
ниже 1200 °C

# ЗОЛЬНОСТЬ



**Температура  
начала  
деформации**  
(1000÷1200°C)  
оплавляется  
вершина  
пирамиды

**Температура  
размягчения**  
(1100÷1400°C)  
образец теряет  
форму

**Температура  
жидко-  
плавкого  
состояния**  
(1200÷1500°C)

**Температура истинно жидкого состояния (при которой шлак подчиняется законам движения жидкости)**

**При организации жидкого шлакоудаления температура газов в нижней части топки должна быть на 100° выше, чем  $t$**

# ЗОЛЬНОСТЬ

При сжигании топлива его минеральная часть путем физико-химических преобразований превращается в **золу**. Состав и содержание золы отличаются от состава минеральной части. **Зола** представляет собой смесь минералов, которые при высокой температуре превращаются в шлаки, которые по своему химическому составу отличаются от золы.

**Шлак** – это твердый раствор минералов.

## Зольность

1. Повышается расход топлива подаваемого на сжигание
2. Повышается расход энергии на собственные нужды
3. Возрастает нагрузка на золоулавливающее устройство
4. Увеличивается загрязнение окружающей среды

# ВЛАЖНОСТЬ

## ВНЕШНЯЯ

**Поверхностная влага**  
(сохраняется на поверхности топлива за счет смачивания)

**Капиллярная влага**  
(скапливается в каналах и трещинах кусков топлива)

## ВНУТРЕННЯЯ

**Гигроскопическая влага**  
(равномерно распределена в массе топлива)

**Гидратная влага**  
(входит в состав молекул минеральных примесей)

# ВЛАЖНОСТЬ

- Увеличение влажности топлива вызывает:
- .снижается теплота сгорания
  - .растут расходы топлива и объемы продуктов сгорания
  - .увеличиваются потери теплоты с уходящими газами и затраты энергии на привод дымососов
  - .растет влажность дымовых газов, что вызывает усиление коррозии металла воздухоподогревателя
  - .в тракте доставки топлива и при его переработке нарушается нормальное движение топлива вследствие потери сыпучести, а в зимнее время топливо смерзается

# ВЫХОД ЛЕТУЧИХ

При нагревании твердого топлива без доступа воздуха из топлива выходят:

1. **горючие** ( $\text{CO}$ ,  $\text{C}_n\text{H}_m$ ,  $\text{H}_2$ ) и **негорючие газы** ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ )
2. **водяной пар**
3. **твердый остаток** – **кокс** (образуется из углерода и минеральной части)

**Летучие** - выход газов без водяных паров, выраженных в процентах массы топлива.

*Наибольшая часть летучих выделяется при нагреве топлива до  $850^\circ\text{C}$ .  
Полное выделение при  $1100-1200^\circ\text{C}$ .*

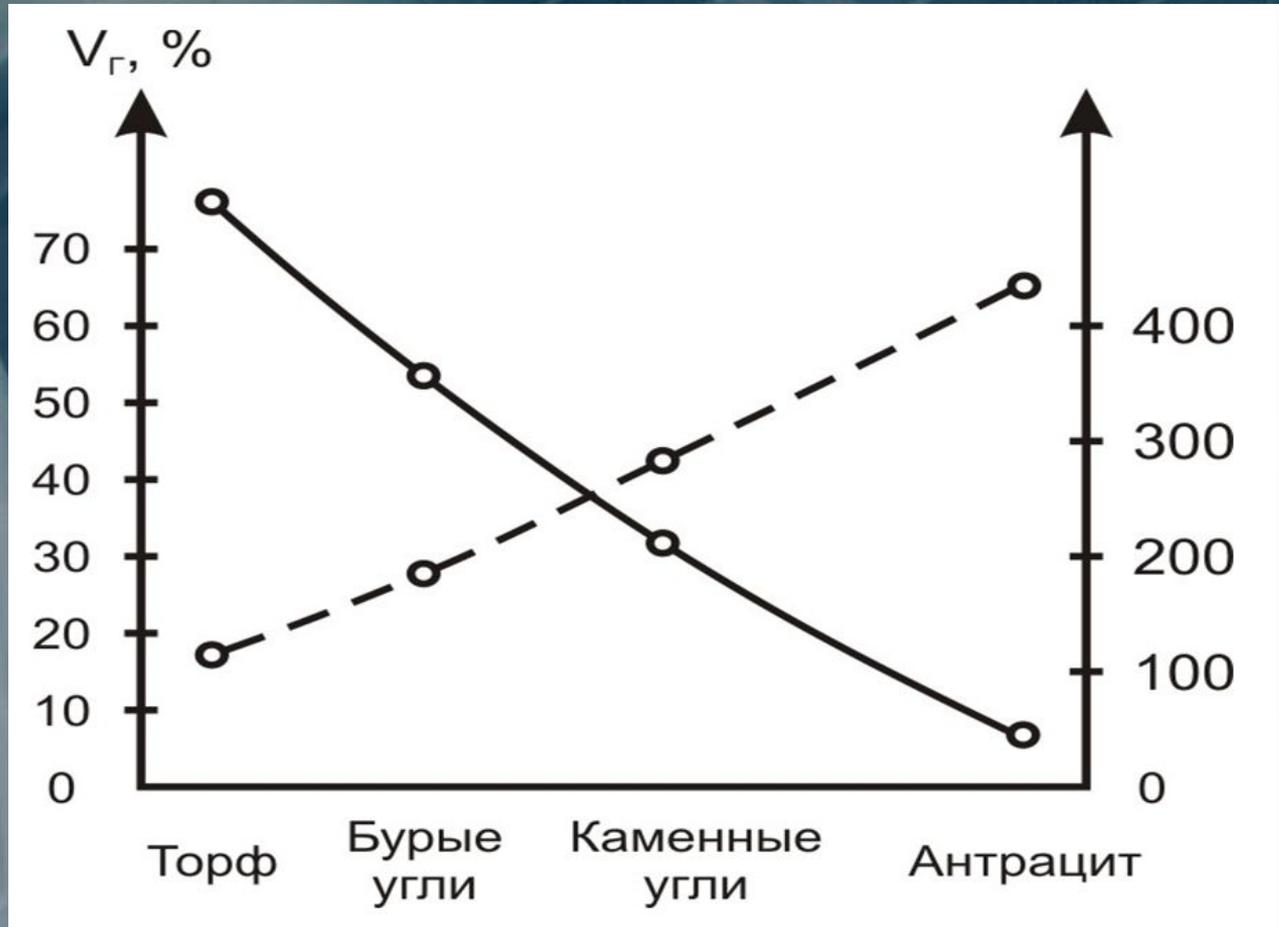
# ВЫХОД ЛЕТУЧИХ

Влияет на  
способность  
топлива  
воспламеняться

Высокорреакционное  
топливо

Низкорреакционное  
топливо

Связь выхода летучих с температурой воспламенения



# КЛАССИФИКАЦИЯ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ

## ПО УБЫВАНИЮ ЛЕТУЧИХ

Д – длиннопламенный  $V_{\Gamma} > 40\%$

Г – газовый

ГЖ – газовый жирный

КЖ – коксовый жирный

ОС – отощенный спекающийся

СС – слабоспекающийся

Т – тощий

А – антрацит  $V_{\Gamma} = 4-8\%$

## ПО РАЗМЕРУ КУСКОВ

П – плиты ( $\delta > 100$ )

К – крупный ( $\delta = 100-50$  мм)

О – орех ( $\delta = 50-25$  мм)

М – мелкий ( $\delta = 25-13$  мм)

С – семечка ( $\delta = 13-6$  мм)

Ш – штыб ( $\delta = 6-0$  мм)

Р – рядовой (без ограничения размера).

# БУРЫЙ УГОЛЬ

- высокий выход летучих  $V^Г > 40\%$
- теплота сгорания влажной беззольной массы  $Q_H < 5700$  ккал/кг
- большая пористость
- высокая гигроскопической влажность и большой общей влажностью
- пониженное содержанием  $C$  и повышенное  $O$
- удельная теплота сгорания  $Q^P_H = 2000 - 4000$  ккал/кг
- малая механическая прочность
- плохо выдерживают длительное хранение
- превращаются в мелочь и самовозгораются из-за самоокисления



# БУРЫЙ УГОЛЬ



# СЛАНЦЫ

Горные породы обычно светло-коричневого или серого цвета, которые на 15 - 40% состоят из органического вещества (продуктов разложения водорослей и живых организмов)

**По составу схож с нефтью**

$$V_{\Gamma} = 80 - 90 \%$$

$$A^P > 55 \%$$

$$W^P \leq 20 \%$$

$$Q^P_{\text{H}} = 2000 \text{ ккал/кг}$$

# СЛАНЦЫ





# СВОЙСТВА МАЗУТА

**1. Вязкость** мазута принято измерять в градусах условной вязкости:

$$УВ = \frac{\tau_{\text{м}}^t}{\tau_{\text{H}_2\text{O}}^{t=20^\circ\text{C}}} \left[ ^\circ\text{ВУ} \right]$$

время истечения мазута при температуре  $t$  через калиброванное отверстие вязкозиметра

время истечения дистиллированной воды при  $t=20^\circ\text{C}$  через то же отверстие (постоянная вязкозиметра)

# СВОЙСТВА МАЗУТА

**2. Относительная плотность мазута** – это отношение плотности мазута при данной температуре к плотности воды при температуре 4°C.

$$\rho_4^t = \frac{\rho_m^t}{\rho_{H_2O}^{t=4^\circ C}}$$

*В мазуте, приходящем на станцию, влагосодержание 1-5%, однако при разогреве мазута в цистернах перегретым паром происходит обводнение мазута до 10-15% за счет конденсации греющего пара.*

## 3. Плотность мазута марки М100

$$\rho_M = \left[ 0,881 - 0,00304 \cdot (t_M - 68) \right] \cdot 1000$$

<i>При 40 °С</i>	<i>0,96 т/м<sup>3</sup></i>
<i>При 75 °С</i>	<i>0,86 т/м<sup>3</sup></i>
<i>При 122 °С</i>	<i>0,71 т/м<sup>3</sup></i>

# МАЗУТНОЕ ХОЗЯЙСТВО

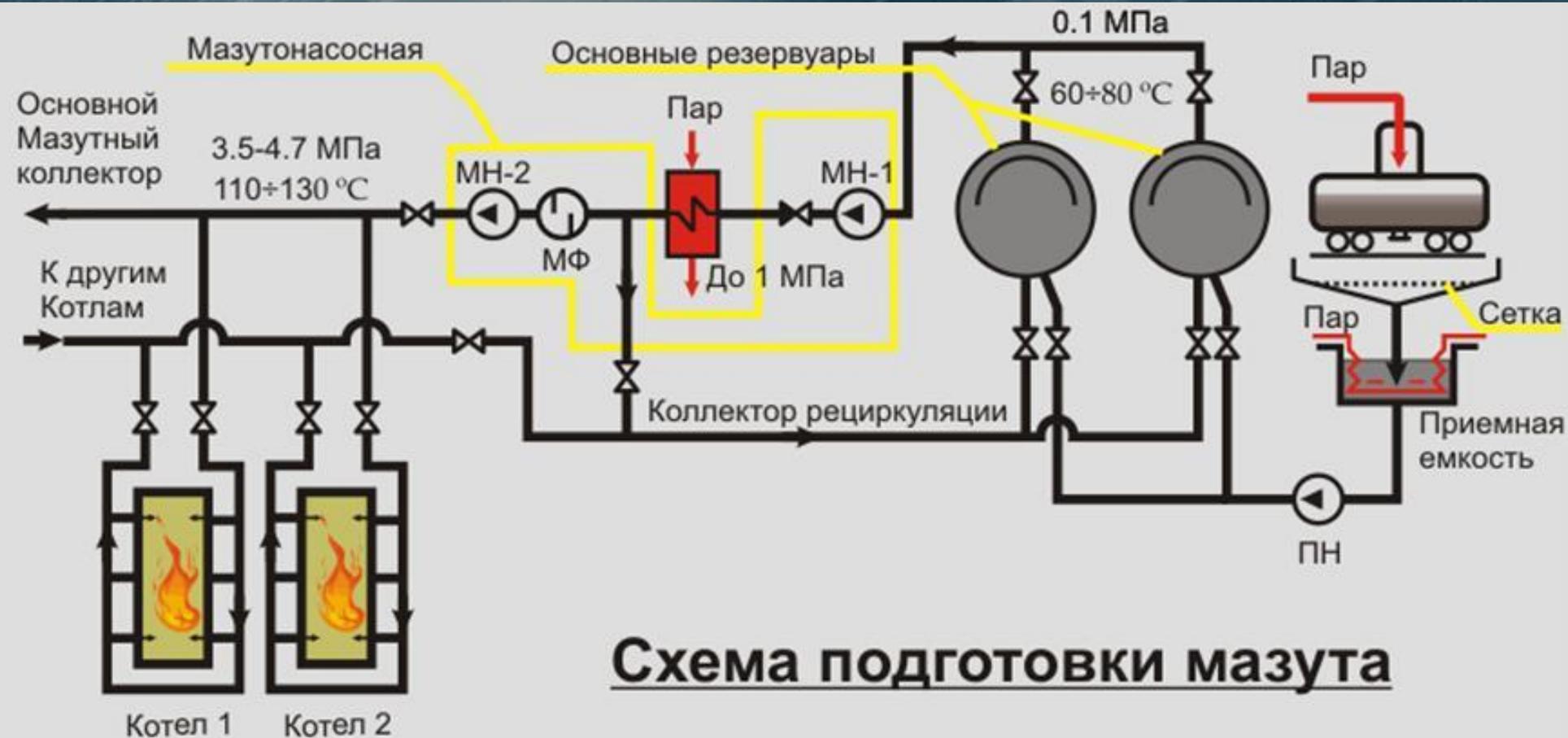


Схема подготовки мазута

# СВОЙСТВА МАЗУТА

**3. Сернистость** – составляет 0,5 – 3 % в мазуте

$S \leq 0,5$  мазут малосернистый

$0,5 < S < 1,7$  мазут сернистый

$S \geq 1,7$  мазут высокосернистый

# СВОЙСТВА МАЗУТА

## 3. Сернистость – составляет 0,5 – 3 % в мазуте

*В процессе сжигания сера соединяется с кислородом воздуха и водяными парами:*

$S + O_2 = SO_2$  - при наличии избыточного кислорода

$SO_2 + O = SO_3$  - при соединении с водяными парами

$SO_3 + H_2O = H_2SO_4$  - имеем пары серной кислоты в продуктах сгорания

# СВОЙСТВА МАЗУТА

**4. Реологическое свойство** – это свойство мазута налипать и плотно удерживаться на вертикальных стенках хранилища.



*М100 при температуре 5°C образует слой толщиной  $\delta=5$  мм. Для полного удаления такого слоя нужно подогреть мазут до температуры 70°C.*

# СВОЙСТВА МАЗУТА

## 5. Зольность

Мазут – это продукт переработки нефти, соответственно основная часть минеральных примесей нефти переходит в мазут ( $A^c = 0,1-0,3\%$ ).

Зольность зависит от глубины обезвоживания и обессоливания нефти, ее состава и способа переработки. В состав минеральной части нефти входят ванадий и натрий. Именно они обуславливают протекание *высокотемпературной коррозии*.

## 6. Температура вспышки

это температура, при которой пары нефтепродуктов в смеси с воздухом вспыхивают и горят менее 5 сек. при поднесении открытого пламени.

# СВОЙСТВА МАЗУТА

## 7. Температура воспламенения

это температура, при которой пары нефтепродуктов в смеси с воздухом при поднесении пламени горит дольше пяти секунд

*+ 15÷20 °C к температуре вспышки*

## 8. Температура застывания

это температура, при которой мазут теряет свойства текучести. Для мазута поступающего на ТЭС

*до 40 °C*

# СОСТАВ ГАЗОВОГО ТОПЛИВА

## Горючие компоненты

метан  $CH_4$

этан  $C_2H_6$

пропан  $C_3H_8$

водород  $H_2$

угарный газ  $CO$

сероводород  $H_2S$

## Негорючие компоненты

азот  $N_2$

углекислый газ  $CO_2$

кислород  $O_2$

Теплота сгорания природного газа

$$Q_H^c = 0,01 \cdot (CO \cdot Q_{CO} + CH_4 \cdot Q_{CH_4} \dots C_m H_n \cdot Q_{C_m H_n})$$

# ПРЕИМУЩЕСТВА ГАЗОВОГО ТОПЛИВА

1. имеет высокую теплоту сгорания ( $Q_H^c = 34\text{--}38 \text{ МДж/м}^3$ );
2. легко транспортируется по трубопроводу;
3. легко воспламеняется и имеет устойчивое горение;
4. отсутствует внешний балласт ( $W + A = 0$ );
5. имеет незначительную величину внутреннего балласта ( $N_2 < 5 \%$ ,  $CO_2 + O_2 < 2 \%$ ).

# СВОЙСТВА ГАЗОВОГО ТОПЛИВА

## 1. Плотность газового топлива

$$\rho_r = 0,7-0,85 \text{ кг/м}^3$$

*это топливо легче воздуха, и поэтому проникший в помещение газ скапливается под верхними перекрытиями*

**2. Взрываемость** - смесь горючего газа с воздухом в определенных пропорциях при вводе в эту смесь источника огня или даже искры может взорваться

# СВОЙСТВА ГАЗОВОГО ТОПЛИВА

**3. Токсичность** - способность газового топлива вызывать отравление.

Предельная объёмная доля CO 0,0024 %

Предельная концентрация CO 0,03 мг/л

Опасная объёмная доля CO 0,4 %

*Для своевременного обнаружения утечки газа, до поступления в газовую магистраль одорируют, т.е. придают характерный острый запах введением сернистого соединения – меркаптана в расчете 10 г на 1 000 м<sup>3</sup>*