

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС КОТЛА

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС КОТЛА

Уравнение теплового баланса:

$$Q_P^P = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad \text{кДж/кг(м}^3\text{)}$$

Q_P^P – располагаемое тепло, вносимое в котел

Q_1 – полезно используемое тепло, которое идет на нагрев воды, ее испарение и перегрев пара

Q_2 – потери тепла с уходящими газами

Q_3 – потери тепла с химическим недожогом

Q_4 – потери тепла с механическим недожогом

Q_5 – потери тепла в окружающую среду через обмуровку

Q_6 – потери тепла с физическим теплом шлака

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС КОТЛА

Относительные доли затрат теплоты в процентах:

$$q_i = 100 \cdot Q_i / Q_P^P$$



Уравнение теплового баланса в процентах:

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

4,5 – 7 %

2 – 5 %
(низкорреакц. тв.т)

< 1 %

< 1 %

< 1 %

ПОЛЕЗНО ИСПОЛЬЗОВАННОЕ КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ

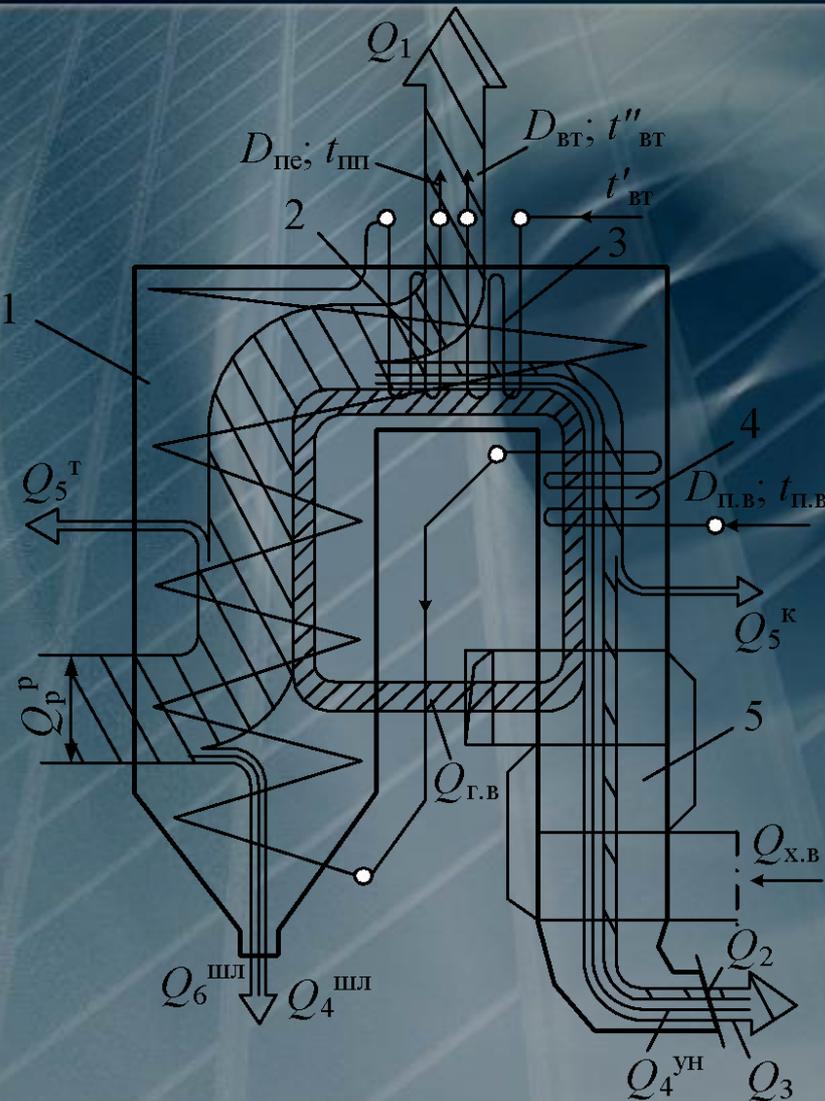
$$Q_{\text{т.к}} = Q_{\text{пе}} + Q_{\text{вт}}^{\text{к}} + Q_{\text{эк}} + Q ,$$

$Q_{\text{тк}}$ – тепловосприятие рабочей среды в поверхностях топочной камеры, кДж/кг;

$Q_{\text{пе}}^{\text{к}}$, $Q_{\text{вт}}^{\text{к}}$ – тепловосприятие пара в конвективных поверхностях основного и промежуточного (вторичного) перегревателей, кДж/кг;

$Q_{\text{эк}}$ – тепловосприятие экономайзера, кДж/кг.

ПОЛЕЗНО ИСПОЛЬЗОВАННОЕ КОЛИЧЕСТВО ТЕПЛОТЫ



Тепловосприятие воздухоподогревателя прямо не входит в тепловой баланс котла. Это связано с тем, что теплота, отданная продуктами сгорания воздуха в этой поверхности, возвращается снова в топочную камеру в виде горячего воздуха и дополнительно увеличивает теплосодержание газов в топке.

ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС КОТЛА

Располагаемое тепло:

$$Q^P_P = Q^P_H + Q_{Тл} + Q_{ф} + Q_{В.ВН} + Q_{проч}$$

$Q_{внеш}$

Q^P_H

– низшая теплота сгорания топлива

$Q_{Тл}$

– физическая теплота топлива, поступающего на сжигание в горелки (учитывается при сжигании мазута)

$Q_{ф}$

– теплота пара, поступающего в форсунки для распыливания пара

$Q_{В.ВН}$

– теплота, поступающая в котёл с воздухом при подогреве его вне агрегата

ПОТЕРЯ ТЕПЛА С УХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ

Потери с уходящими газами, кДж/кг:

$$Q_2 = I_{\text{ух}} - I_{\text{х.в}}$$

$$Q_2 = I_{\text{ух}} - I_{\text{х.в}} = I_{\text{г}}^0 + (\alpha_{\text{ух}} - 1) \cdot I_{\text{в}}^0 - \alpha_{\text{ух}} \cdot I_{\text{х.в}}^0$$

$I_{\text{г}}^0 = V_{\text{г}}^0 \cdot c_{\text{г}} \cdot \vartheta_{\text{ух}}$ – энтальпия теоретического объёма уходящих газов при $\alpha=1$

$(\alpha_{\text{ух}} - 1) \cdot I_{\text{в}}^0$ – энтальпия избыточного воздуха в потоке газов при $\vartheta_{\text{ух}}$

$I_{\text{х.в}}^0 = V_{\text{в}}^0 \cdot c_{\text{в}} \cdot t_{\text{х.в}}$ – энтальпия теоретического объёма холодного воздуха

ПОТЕРЯ ТЕПЛА С УХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ

Потери с уходящими газами, кДж/кг:

$$Q_2 = I_{ух} - I_{х.в} = V_{г}^0 \cdot c_{г} \cdot \vartheta_{ух} + (\alpha_{ух} - 1) \cdot I_{в}^0 - \alpha_{ух} \cdot I_{х.в}^0$$

На Q_2 влияют

$V_{г}^0, \vartheta_{ух}$

топливо



*конвективные
поверхности
нагрева*

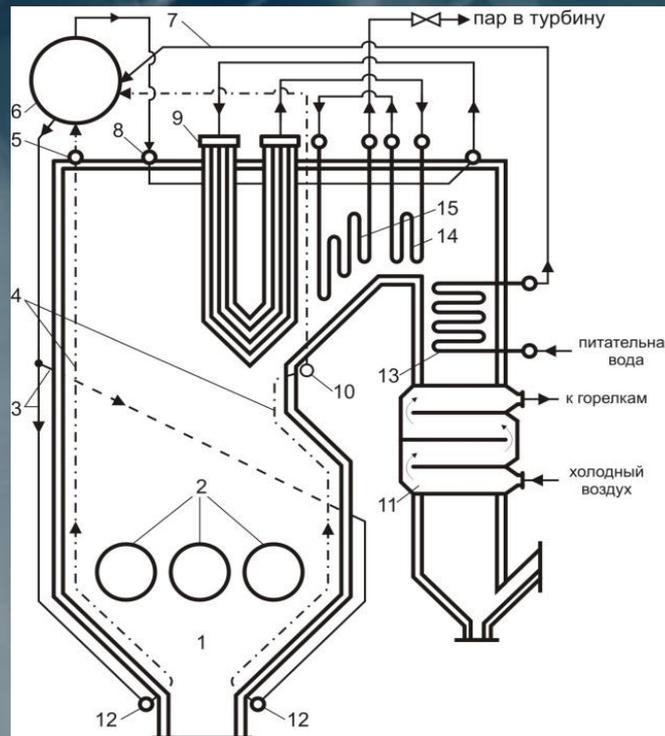
$\alpha_{ух}$



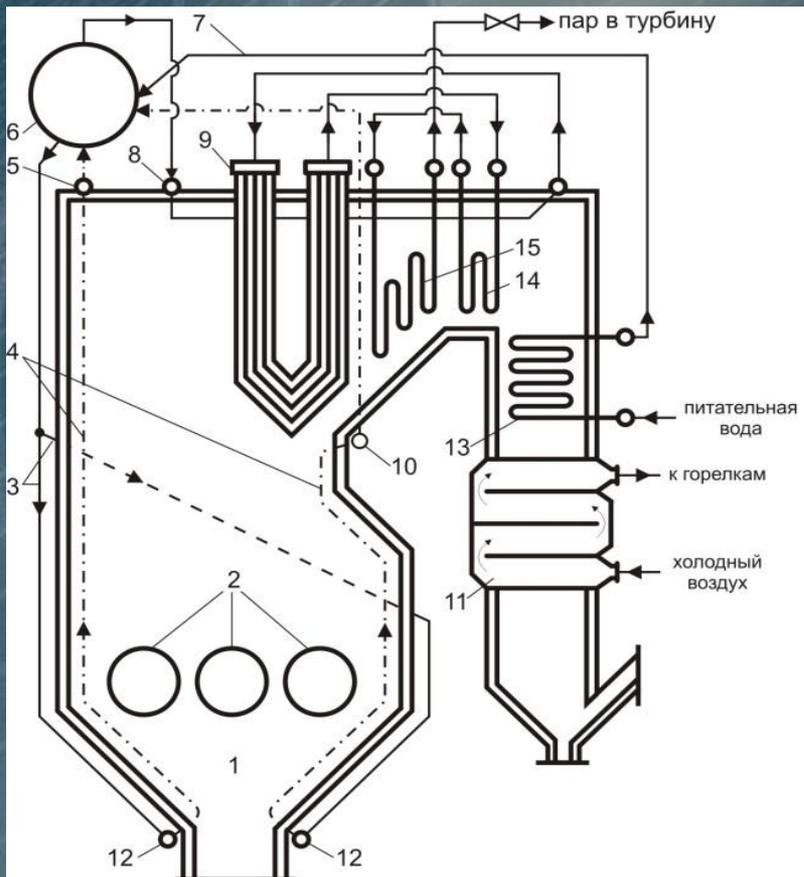
присосы

ПОТЕРЯ ТЕПЛА С УХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ

Для снижения $Q_{ух}$ необходимо увеличить
поверхность нагрева
экономайзера и воздухоподогревателя



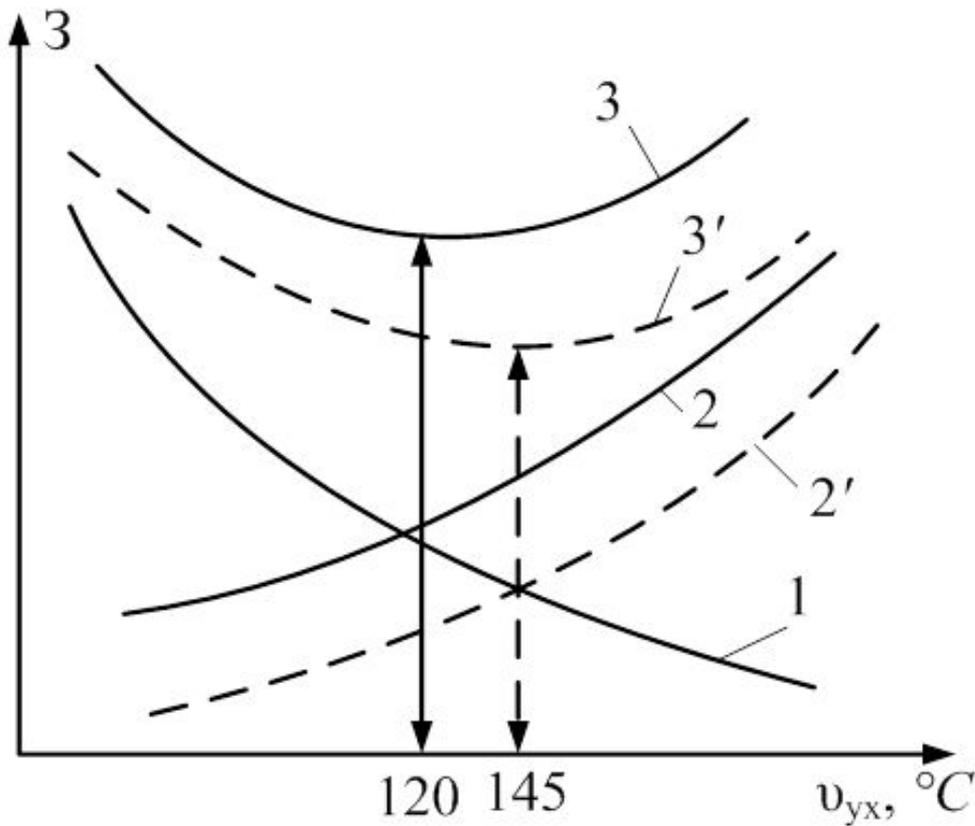
ПОТЕРЯ ТЕПЛА С УХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ



**Негативные
последствия**

- 1. дополнительные затраты на металл и увеличение размеров котла**
- 2. увеличение аэродинамического сопротивления газового тракта и увеличение затрат эл.энергии на тягу и дутье**
- 3. увеличение интенсивности сернокислотной коррозии**

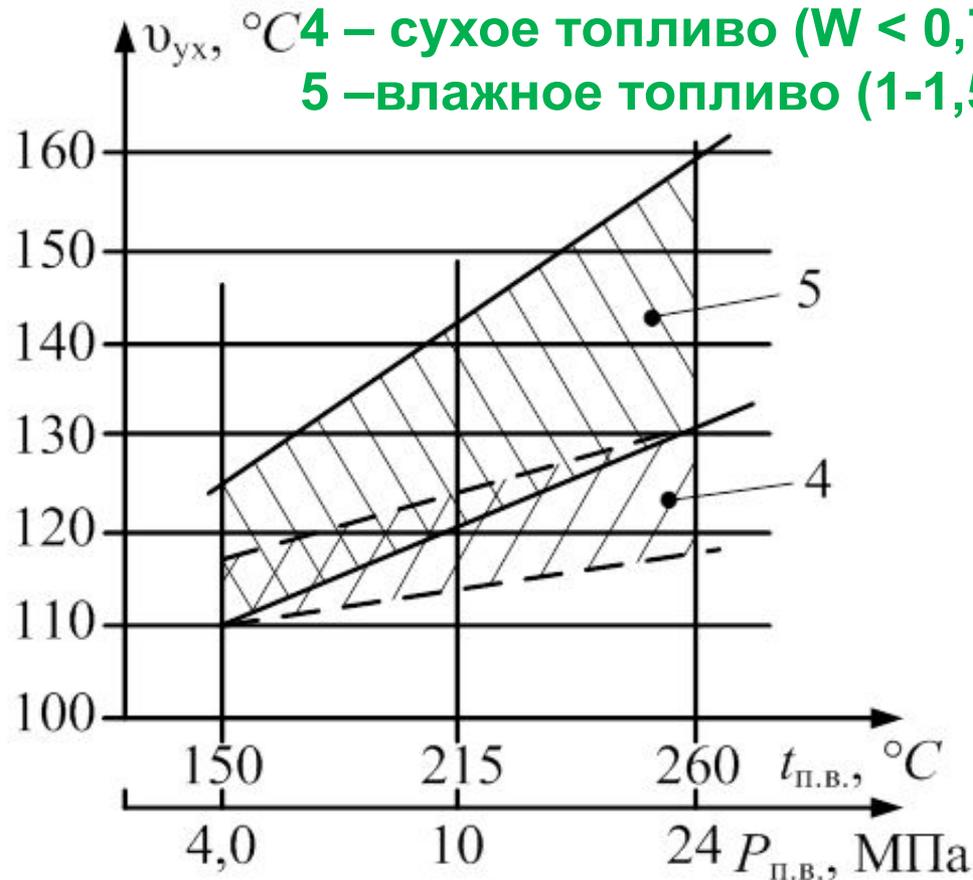
ПОТЕРЯ ТЕПЛА С УХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ



1 – затраты на поверхности нагрева;
2 и 2' – затраты на дорогое и дешевое топливо;
3 и 3' – суммарные расчетные затраты;

Зависимость от стоимости поверхностей и стоимости сжигаемого топлива

ПОТЕРЯ ТЕПЛА С УХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ



При большой влажности растет объем продуктов сгорания топлива и их удельная теплоемкость. Поэтому при охлаждении газов на одинаковое число градусов Δv_{yx} при большой влажности необходимо отвести большее количество теплоты, что требует дополнительного увеличения поверхности нагрева по сравнению с сухим топливом. При более низкой стоимости влажного топлива увеличение поверхности не окупается, в результате оптимальная температура уходящих газов с повышением влажности растет

**Зависимость от температуры
питательной воды и влажности
топлива**

ПОТЕРЯ ТЕПЛА С УХОДЯЩИМИ ГАЗАМИ

Влияние присосов на Q_2 :

1. Чем выше избыток воздуха в топке и больше присос в газоходах, тем больше объем продуктов сгорания за агрегатом, что увеличивает Q_2
2. Присос холодного атмосферного воздуха в газоходах охлаждает продукты сгорания и снижает теплоотдачу за счет уменьшения температурного напора
3. Увеличению нагрузки на дымососы, а следовательно, и расхода электроэнергии на собственные нужды.

ПОТЕРЯ ТЕПЛА ОТ ХИМИЧЕСКОЙ НЕПОЛНОТЫ ГОРЕНИЯ

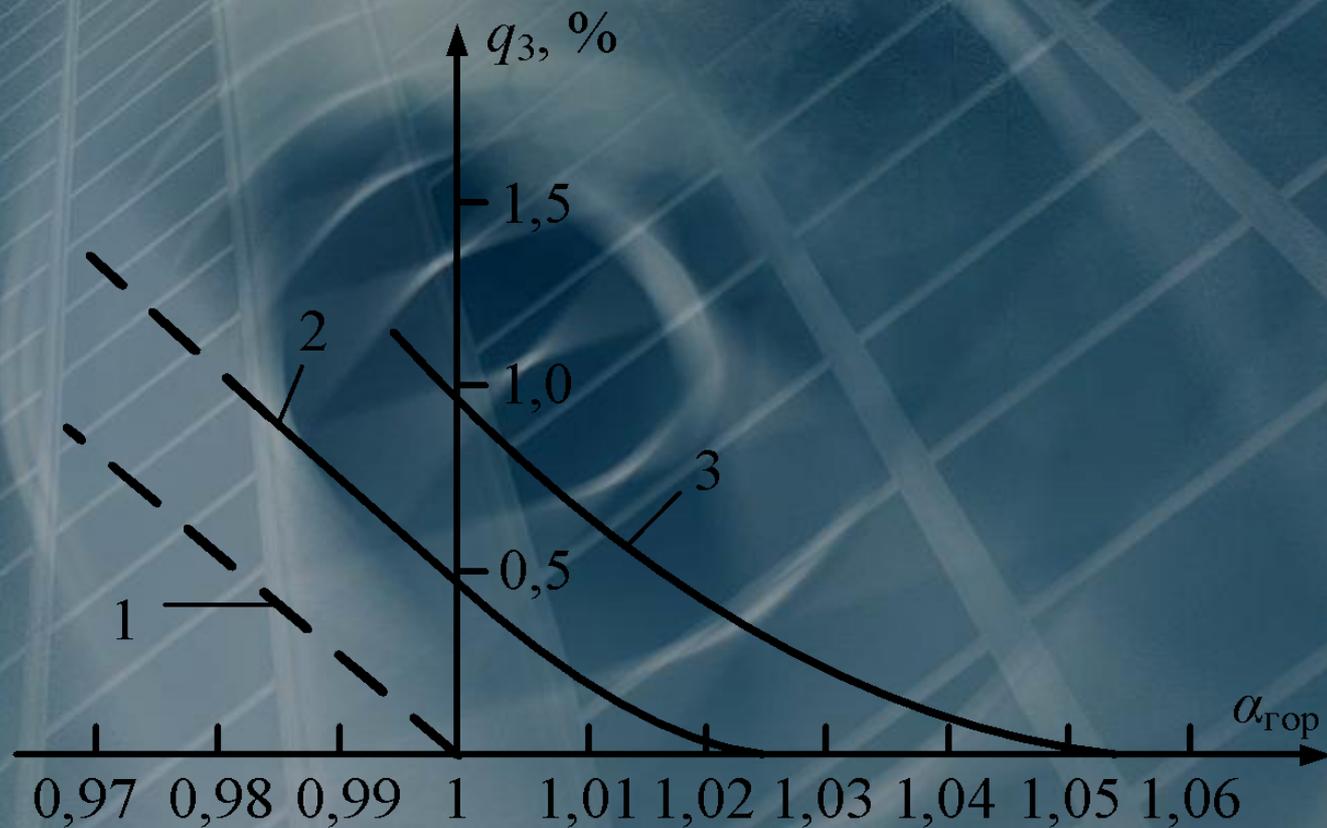
Тепло, которое могло бы выделиться при дожигании продукты неполного окисления, составляет:

$$Q_3 = V_{\text{CO}} \cdot Q_{\text{CO}} + V_{\text{H}_2} \cdot Q_{\text{H}_2} + V_{\text{CH}_4} \cdot Q_{\text{CH}_4}$$

В нормальных режимах для низкорреакционных твердых топлив эта потеря равна 0 ($q_3 = 0$).

Для высокорреакционных каменных углей, бурых углей, газа и мазута $q_3 < 0,5\%$

ПОТЕРЯ ТЕПЛА ОТ ХИМИЧЕСКОЙ НЕПОЛНОТЫ ГОРЕНИЯ



1 – идеальные условия смесеобразования

2 – реальная зависимость при номинальной нагрузке

3 – реальная зависимость при пониженной нагрузке

ПОТЕРЯ ТЕПЛА ОТ ХИМИЧЕСКОЙ НЕПОЛНОТЫ ГОРЕНИЯ

Величина Q_3 зависит от:

- 1.коэффициента избытка воздуха в топке
- 2.качества смесеобразования
- 3.времени пребывания топлива в топке
- 4.температуры процесса горения, которая зависит от теплотворной способности топлива, нагрузки котла, температуры горячего воздуха.

ПОТЕРЯ ТЕПЛА ОТ МЕХАНИЧЕСКОЙ НЕПОЛНОТЫ ГОРЕНИЯ

Унос несгоревших частиц топлива потоком газов вместе с летучей золой

Тепло, которое могло бы выделиться при дожигании несгоревших частиц, составляет:

$$Q_4 = \alpha_{ун} \cdot A^p \cdot Q_{к.о} \cdot \Gamma_{ун} / (1 - \Gamma_{ун})$$

$\alpha_{ун}$ - доля уноса золовых частиц из топки

A^p - зольность рабочей массы топлива, %

$Q_{к.о}$ - расчётная теплота сгорания коксового остатка в уносе, МДж/кг

$\Gamma_{ун}$ - доля горючих элементов в общем уносе золы

ПОТЕРЯ ТЕПЛА ОТ МЕХАНИЧЕСКОЙ НЕПОЛНОТЫ ГОРЕНИЯ

Q_4 зависит от тонкости размола, α_T , V_r

Для газа и мазута

$$q_4 = 0 \%$$

Для тв.т. при $V_r > 25 \%$

$$q_4 = 0,5 - 1,5 \%$$

Для тв.т. при $V_r < 15 \%$
(антрацит)

$$q_4 = 4 - 6 \% \text{ (тв. золоуд.)}$$
$$q_4 = 2 - 4 \% \text{ (жид. золоуд.)}$$

ПОТЕРЯ С ТЕПЛОМ УДАЛЯЕМОГО ШЛАКА

Удаляемый из топки шлак имеет достаточно высокую температуру и уносит определённое количества тепла

Тепло, которое могло бы выделиться при дожигании несгоревших частиц, составляет:

$$Q_6 = \alpha_{\text{шл}} \cdot A^p \cdot (c \cdot \vartheta)_{\text{шл}}$$

$\alpha_{\text{шл}}$ - доля шлакоудаления в топке ($\alpha_{\text{шл}} + \alpha_{\text{ун}} = 1$)
 A^p - зольность рабочей массы топлива, %

ПОТЕРЯ С ТЕПЛОМ УДАЛЯЕМОГО ШЛАКА

При твёрдом шлакоудалении $\alpha_{\text{шл}} = 0,05,$ $\vartheta_{\text{шл}} = 600-700 \text{ } ^\circ\text{C}$



$$q_6 = 0$$

При жидком шлакоудалении $\alpha_{\text{шл}} = 0,15-0,30,$ $\vartheta_{\text{шл}} = 1400-1600 \text{ } ^\circ\text{C}$



$$q_6 = 0,5 - 1,5 \%$$

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ПАРОВОГО КОТЛА

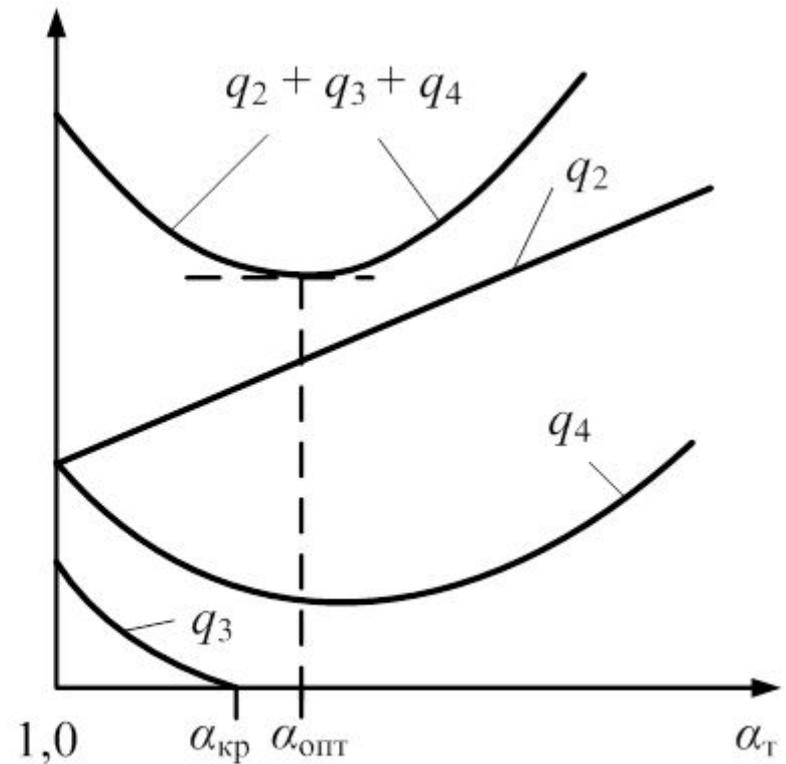
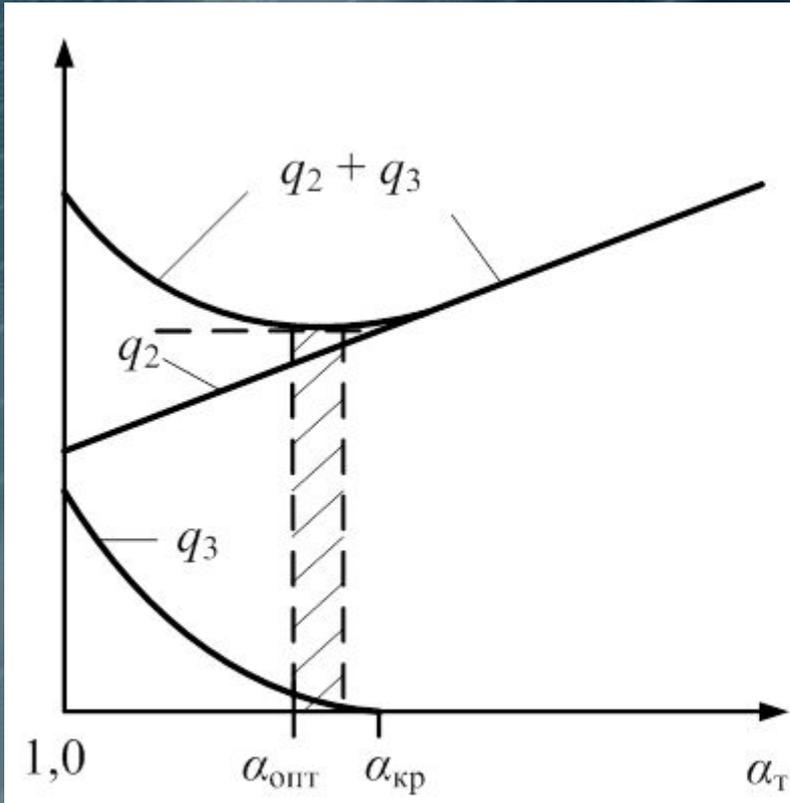
Анализ тепловых потерь показывает, что величина q_2, q_3, q_4 существенно и по-разному зависит от избытка воздуха.

Необходимо установить оптимальное значение α_T

ОПТИМИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ПАРОВОГО КОТЛА

при сжигании природного газа и мазута определяющими являются $q_2 + q_3$

при сжигании твердого топлива определяющими являются $q_2 + q_4$



ОПТИМИЗАЦИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ПАРОВОГО КОТЛА

на природном газе

на каменном угле

на антраците с жидким
шлакоудалением

