4 Лекция

Эффективность использования теплоты топлива. Тепловой баланс котельной установки. КПД котельной установки. Потери теплоты.

4.1Тепловой баланс котельной установки

Распределение теплоты, вносимой в котельную установку при сжигании топлива, на полезно использованную теплоту и тепловые потери носит название *теплового баланса*. При сжигании 1 кг (или 1 м^3) рабочей массы топлива полное количество теплоты, которое может выделиться в топке, называют *располагаемой теплотой топлива*:

$$Q_Р^Р = Q_р^н + Q_{доп}, \quad (4.1)$$

где $Q_р^н$ - низшая удельная теплота сгорания топлива, кДж/кг;

$Q_{доп}$ – дополнительные источники теплоты при сжигании топлива:

$$Q_{доп} = Q_{внш} + Q_{тл} + Q_п - Q_к, \quad (4.2)$$

где $Q_{внш}$ - теплота, поступившая в котел с воздухом при подогреве его вне агрегата;

$Q_{тл}$ - физическая теплота топлива, поступающего в горелки;

$Q_п$ - теплота пара для распыления мазута в горелках;

$Q_к$ - теплота, затраченная на разложение карбонатов рабочей массы сланцев, содержащей $CaCO_3$ и $MgCO_3$, с образованием газообразного $CO_2^к$.

Располагаемая теплота расходуется на получение некоторого количества рабочего тела с нужными параметрами, которое называют *использованным* и обозначают через Q_1 , кДж/кг (кДж/м^3). Для 1 кг (или 1 м^3) топлива, уравнение теплового баланса имеет вид:

$$Q_Р^Р = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (4.3)$$

где $Q_р^р$ – располагаемая теплота топлива;

Q_1 – полезно используемая теплота;

Q_2 – потери теплоты с уходящими газами;

Q_3 – потеря теплоты от химической неполноты сгорания топлива;

Q_4 – потеря теплоты от механической неполноты сгорания топлива;

Q_5 – потери теплоты от наружного охлаждения котла;

Q_6 – потери теплоты с физической теплотой шлака.

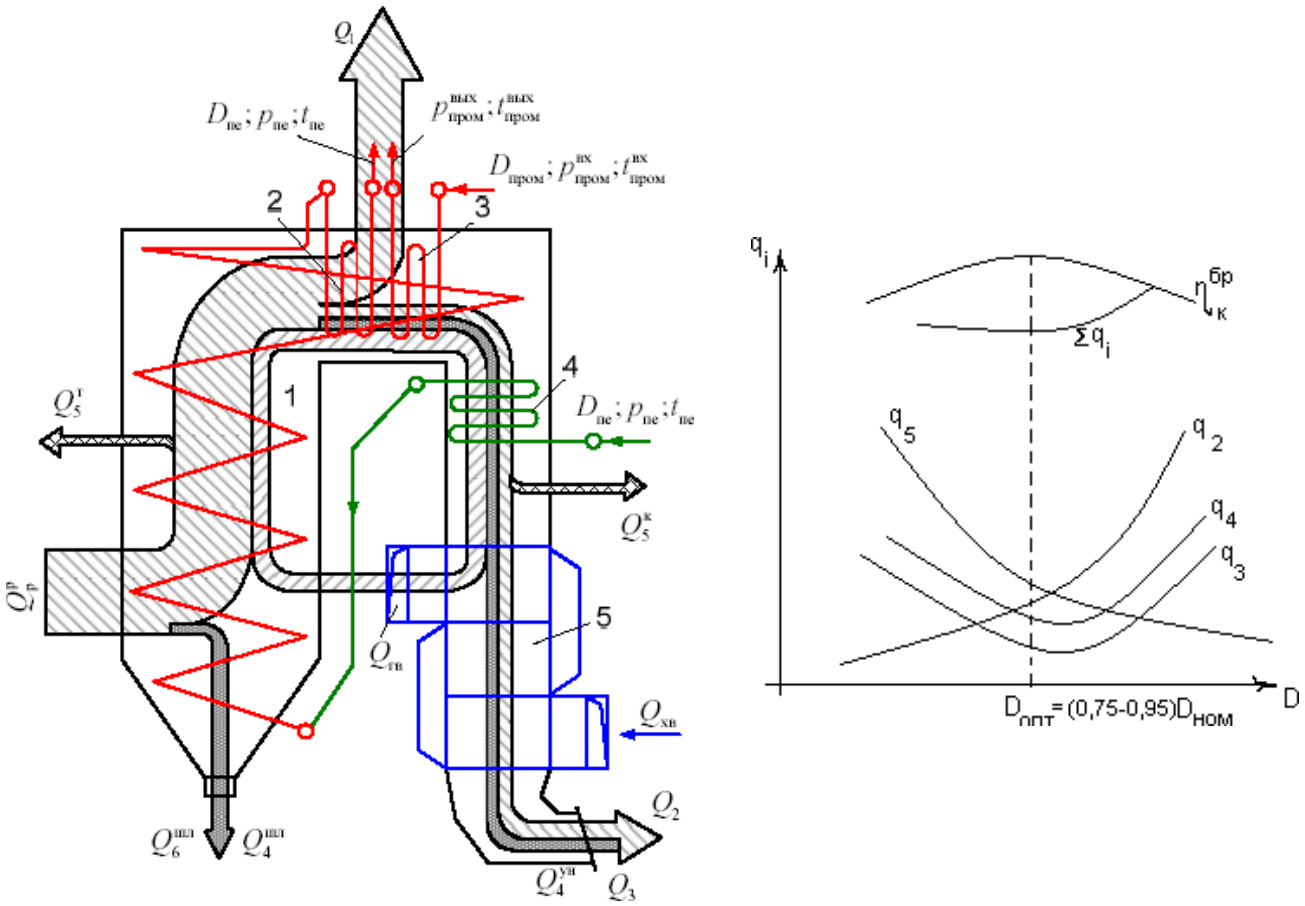


Рисунок 4.1 – Схема теплового баланса котельной установки

Если $q_i = \frac{Q_i}{Q_р^р} \cdot 100\%$, то $q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 100$ %.

4.2 Коэффициент полезного действия и потери теплоты

КПД брутто котла можно определить по прямому балансу:

$$\eta^{бр}_{ка} = q_1 = \frac{Q_1}{Q^р_н} \cdot 100 = \frac{D_{пе} \cdot (h'_{пе} - h_{пв}) + D_{вт} \cdot (h''_{вт} - h'_{вт})}{B_р * Q^р_н} \cdot 100, \qquad (4.4)$$

где $D_{пе}$, $D_{вт}$ – расходы свежего и вторично-перегретого пара, кг/с;
$h_{пе}$, $h_{пв}$, $h_{вт}$ и $h_{вт}$ - энтальпия перегретого пара, вторично-перегретого пара на выходе и на входе в промежуточный перегреватель, кДж/кг;

$B_р$ – расчетный расход топлива, кг/с;

$Q^р_н$ – низшая удельная теплота сгорания топлива, кДж/кг.

При балансовых испытаниях такой метод не находит применения из-за высокой погрешности. При подсчете по обратному балансу $\eta^{бр}_{ка}$ находится косвенным путем через потери тепла в виде:

$$\eta^{бр}_{ка} = 100 - \sum_{i=2}^{6} q_i, \% . \qquad (4.5)$$

У котельных агрегатов большой мощности $\sum_{i=2}^{6} q_i = 8 \div 12$ %.

Полезно используемая теплота Q_1 - это та теплота, которая расходуется на нагрев воды, парообразование и перегрев пара:

$$Q_1 = \frac{D_{\text{пе}}}{\text{В}} * \left(h''_{\text{пе}} - h_{\text{пв}}\right) + \frac{D_{BT}}{\text{В}} * \left(h''_{BT} - h'_{BT}\right) + \frac{D_{\text{пр}}}{\text{В}} * \left(h'_{\text{пр}} - h_{\text{пв}}\right)$$

$$q_1 = \frac{Q_1}{Q_p^p} * 100 \qquad (4.6)$$

где $D_{\text{пе}}$, $D_{\text{вт}}$, $D_{\text{пр}}$ – расходы свежего, вторично – перегретого пара и продувочной воды из барабана котла, кг/с;

$h''_{\text{пе}}, h_{\text{пв}}, h'_{\text{пр}}$ - энтальпия перегретого пара, питательной воды и воды на линии насыщения при давлении в барабане, кДж/кг;

$h''_{\text{в т}}, h'_{\text{вт}}$ - энтальпии вторично - перегретого пара на выходе из промежуточного перегревателя и на входе в него, кДж/кг.

1) Потери тепла с уходящими газами Q_2 - это теплота, уносимая газами через дымовую трубу в атмосферу (при t =120÷170 ºС).

$$Q_2 = J_{\text{ух}} - J_{\text{х.в.}} = \left(J^0_{\text{ух}} + (\alpha_{\text{ух}} - 1) * J^0_{\text{в}}\right) - (\alpha_{\text{ух}} * J^0_{\text{х.в.}})$$

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_p^p} * 100 = 4 \div 10\% \qquad (4.7)$$

Q_p

где

$J_{\text{ух}}$, $J_{\text{х.в.}}$ - энтальпия уходящих из котлов газов и поступающего холодного воздуха, кДж/кг топлива.

Факторы, влияющие на величину q_2:

1) температура уходящих газов (для ↓ $\upsilon_{\text{ух}}$ размещают дополнительные поверхности нагрева);

2) присосы холодного воздуха (с ↑ $\Delta\alpha_i$, ⇒ ↑ объем и температура уходящих газов, соответственно возрастает их энтальпия, а значит, растет q_2);

3) влажность топлива (с ↑ влажности, ↑ содержание воды в топливе ⇒ ↑q_2);

4) загрязнение поверхностей нагрева (с ↑ толщины загрязненного слоя ↓ коэффициент теплопередачи ⇒ ↓ $Q_{\text{отд}}$, ↑ $\upsilon_{\text{ух}}$ и как следствие ↑ q_2);

5) паропроизводительность котла (с ↑ паропроизводительности ↑: $Q_{\text{выд}}$ - пропорционально D^1, $Q_{\text{отд}}$ - пропорционально $D^{0,6}$.

Меры по ↓ q_2: чистота поверхностей нагрева; устранение присосов.

2) Потеря теплоты от химической неполноты сгорания топлива Q_3.

При сжигании топлива, кроме CO_2, H_2O и SO_2, образуются CO, H_2 и CH_4, сжигание которых за пределами топки невозможно в виду низких температур. Та теплота, которая выделилась бы при их сжигании, называется потерей от химического недожога - Q_3.

$$Q_3 = Q_{CO} \cdot V_{CO} + Q_{H_2} \cdot V_{H_2} + Q_{CH_4} \cdot V_{CH_4}, \qquad (4.8)$$

где V_{CO},·V_{H_2},·V_{CH_4} - объемы горючих газов в продуктах сгорания, м^3/кг;

Q_{CO}, Q_{H_2}, Q_{CH_4} - объемная теплота сгорания горючих газов, кДж/ м^3.

Исходя из величины объемной теплоты сгорания горючих газов, удельная величина тепловых потерь определяется по формуле:

$$q_3 = (126{,}4 \cdot V_{CO} + 108 \cdot V_{H_2} + 358.2 \cdot V_{CH_4}) \cdot \frac{(100 - q_4)}{Q_p^p}, \quad q_3 = 0{,}1 \div 1\,\%. \quad (4.9)$$

Факторы, влияющие на величину q_3:

1) коэффициент избытка воздуха $\alpha_т$ (при $\alpha_т < \alpha_{кр}$ появляются зоны с недостатком окислителя и как $\Rightarrow$ образуются CO, H_2 CH_4, что ведет к $\uparrow q_3$);

2) температура в топке (при $t_т \le 1000^oC \downarrow$ скорость реакции горения $\Rightarrow \uparrow$ содержание CO, H_2, $CH_4 \Rightarrow \uparrow q_3$. Если $t_т > 2000\,^oC$ - идет процесс диссоциации);

3) тепловые напряжение топочного объема (при $q_V < 0{,}1 \downarrow$ расход топлива $\Rightarrow \downarrow$ температуре в топке $\Rightarrow \downarrow$ скорость горения $\Rightarrow$ растет q_3. Если $q_V > 0{,}4 \Rightarrow \uparrow$ расход топлива, температура в топке, скорость горения $\downarrow \tau_{преб}$, $\Rightarrow$ растет q_3;

4) паропроизводительность котла;

5) скорость вторичного воздуха (при $\downarrow$ скорости вторичного воздуха $\downarrow$ скорость смесеобразования, а значит, $\uparrow$ CO, H_2, $CH_4 \Rightarrow$ растет q_3.

Меры снижения q_3: интенсивное предварительное смесеобразование при $\alpha_т$ - оптимальном, высокие температуры $\upsilon_2 = 1200 - 1700,^0 C$ - оптимальный расход для данной топки.

3) Потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива

При сжигании топлива часть его не сгорает в топке и выносится за ее пределы с частицами золы и шлака. Теплота, которая выделилась бы при дожигании горючих в шлаке и уносе называется потерей теплоты с механическим недожогом:

$$Q_4 = Q_4^{шл} + Q_4^{ун} = \frac{Г_{шл}}{100} \cdot \frac{G_{шл}}{B} \cdot Q_{гор}^{шл} + \frac{Г_{ун}}{100} \cdot \frac{G_{ун}}{B} \cdot Q_{гор}^{ун}, \quad (4.10)$$

с учетом золового баланса:

$$1 = a_{ун} + a_{шл} \Rightarrow Q_4 = \frac{Г_{шл}}{100 - Г_{шл}} \cdot \frac{A^p}{100} \cdot Q_{гор}^{шл} + \frac{Г_{ун}}{100 - Г_{ун}} \cdot \frac{A^p}{100} \cdot Q_{гор}, \quad (4.11)$$

где $Г_{шл}$ и $Г_{ун}$ – содержание горючих в шлаке и уносе;

$G_{шл}$ и $G_{ун}$– расход шлака и золовых частиц;

$Q_{гор}^{шл}$ и $Q_{гор}^{ун}$ – теплота сгорания горючих в шлаке и уносе.

$$q_4 = \frac{Q_4}{Q_p^p} \cdot 100 = 0{,}5 \div 6\,\%.$$

Факторы, влияющие на q_4:

1) марка топлива (с $\uparrow V^г \downarrow$ время воспламенения и $\uparrow$ пористость $\Rightarrow \downarrow q_4$);

2) зольность (с $\uparrow$ зольности ухудшается доступ O_2 к горючим и $\uparrow q_4$;

3) размер частицы топлива (с $\uparrow$ размер частицы $\uparrow$ толщина золовой оболочки $\Rightarrow \downarrow$ доступ кислорода, растет q_4;

4) тепловое напряжение топки; паропроизводительность котла;

5) коэффициент избытка воздуха (если $\alpha_т < 1{,}2 \Rightarrow$, q_4 растет из-за нехватки окислителя, а если $\alpha_т > 1{,}2 \Rightarrow$, q_4 растет из-за увеличения скорости газов и снижения времени пребывания топлива в камере сгорания).

4) Потери теплоты от наружного охлаждения котла, Q_5 – это потеря определяется тем, что обмуровка и обшивка котла и его элементы, имея более высокую температуру, чем окружающий воздух помещений, отдают часть теплоты во вне:

$$Q_5 = F_{ст} \cdot (\alpha_к + \alpha_л) \cdot (t_{ст} - t_{окр}) / B, \; q_{тепловогопотока} = 200 \div 300, \frac{Вт}{м^2}. \quad (4.12)$$

$$q_5 = \frac{Q_5}{Q_р^р} \cdot 100 \le 0{,}2\ \%.$$

5) Потери с физической теплотой шлака, Q_6

При сжигании твердого топлива образуется шлак, который выводится из топки при t=600÷1500 ºС), данное тепло передается воде, находящейся в шлаковой ванне, и безвозвратно теряется.

$$Q_6 = \alpha_{шл} \cdot A^р (c\vartheta)_{шл}, \; q_6 = \frac{Q_6}{Q_р^р} \cdot 100 = 0{,}5 \div 1{,}5\ \%, \quad (4.13)$$

где $\alpha_{шл}=1-\alpha_{ун}$ - доля шлакоудаления в топочной камере;

$(c\vartheta)_{шл}$ - энтальпия удаляемого шлака, включая теплоту плавления

шлака при температуре выше 1300°С, кДж/кг.

Значение потерь q_6 существенно зависит от способа удаления шлаков из топки. При организации твердого шлакоудаления принимают долю $\alpha_{шл}$=0,05, температура шлаков при этом составляет 600 - 700°С. Учет этих потерь при твердом шлакоудалении производится только для многозольных топлив (A^p>2,5 $Q^p_н$). В случае жидкого шлакоудаления температура вытекающего шлака определяются значением температуры плавления $t_{шл}=t_c$+100°С и в среднем составляет 1400-1600°С, доля шлакоудаления также возрастает до
$\alpha_{шл}$=0,15 - 0,3. В этом случае потери q_6 становятся заметными (q_6 до 1,5 %) и их учитывают обязательно.