

Лекция 5

5. Тепловой баланс теплогенератора

5.1. Уравнение теплового баланса

Расход сжигаемого топлива должен обеспечивать получение необходимого количества полезной теплоты, а также восполнение тепловых потерь, сопровождающих работу котельной установки. Полезно используемая теплота в котельной установке Q_1 идет на подогрев воды, ее испарение, получение и перегрев пара. Соотношение, связывающее приход и расход теплоты, носит название *теплового баланса*.

Тепловой баланс составляется на 1 кг твердого или жидкого топлива, на 1 м³ газообразного топлива или в % от введенной теплоты. Суммарное количество введенной в топку теплоты называется располагаемой теплотой $Q_{рп}$ и соответственно включает в себя:

- $Q_{рн}$ – низшую рабочую теплоту сгорания топлива;
- $Q_{ф.т}$ – физическую теплоту, вводимую в теплогенератор с топливом, если топливо предварительно нагревается (мазут);
- $Q_{ф.в}$ – физическую теплоту, вводимую в теплогенератор с воздухом, если нагрев воздуха происходит вне котельного агрегата (воздухоподогреватель);
- $Q_{пар}$ – физическую теплоту, вводимую в теплогенератор с паром, при паровом распылении топлива (паромеханические форсунки).

Следовательно,

$$Q_{рп} = Q_{рн} + Q_{ф.т} + Q_{ф.в} + Q_{пар}.$$

Расходная часть теплового баланса $Q_{расх}$ включает в себя полезно использованную теплоту Q_1 , а также потери теплоты с уходящими топочными газами Q_2 , химической Q_3 и механической Q_4 неполнотой сгорания топлива, от наружного охлаждения Q_5 , с физической теплотой шлаков Q_6 , на аккумуляцию ограждающих конструкций $Q_{ак}$ (при нестационарных условиях работы установки). Следовательно,

$$Q_{расх} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_{ак}.$$

Уравнение теплового баланса имеет вид

$$Q^{рр} = Q_{расх.}$$

Разделив, каждый член уравнения теплового баланса на $Q^{рр}$ и умножив на 100 %, получим другую запись уравнения теплового баланса:

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

5.2. Коэффициент полезного действия и расход топлива теплогенератора

Коэффициентом полезного действия брутто $\eta_{бр}$, %, называется отношение полезно используемой теплоты Q_1 к располагаемой $Q^{рр}$:

$$\eta_{бр} = (Q_1 / Q^{рр}) \cdot 100, \%$$

Доля полезно используемой теплоты

$$q_1 = (Q_1 / Q^{рр}) 100, \%$$

Тогда имеем, что $q_1 = \eta_{бр}$.

Следовательно, коэффициент полезного действия брутто

$$\eta_{бр} = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6), \%$$

При выработке тепловой энергии следует учитывать расход тепловой энергии на собственные нужды $q_{с.н}$ (привод насосов, тягодутьевых устройств, на обдувку, деаэрацию, мазутное хозяйство и т.д.). В связи с этим введено понятие КПД нетто

$$\eta_{нетто} = \eta_{бр} - q_{с.н}, \%$$

Натуральный расход топлива V_H , кг/с, м³/с, при нормальных условиях сжигания (при $t = 0$ °С и $P = 760$ мм рт. ст.), в паровом и водогрейном котельном агрегате определяется по формулам:

- для парового котла

$$V_H = (D \Delta i_H) / (Q^{рр} \eta_{бр}),$$

- для водогрейного котла

$$V_H = (G \Delta i_B) / (Q^{рр} \eta_{бр}),$$

где D – паропроизводительность теплогенератора, кг/с; $\Delta i_{п}$ – прирост энтальпии пара и питательной воды, кДж/кг; $Q_{р}$ – располагаемая теплота, кДж/кг, кДж/м³; $\eta_{бр}$ – КПД брутто; G – расход воды через водогрейный котел, кг/с; $\Delta i_{в}$ – прирост энтальпии горячей и холодной воды, кДж/кг.

При сжигании газа и мазута, расчетный расход топлива V_p равен натуральному расходу V_n , так как потери теплоты от механической неполноты сгорания $q_4 = 0$.

Для увеличения $\eta_{бр}$ необходимо снижать потери теплоты, а именно:

- работать по режимной карте, температурному графику, с наименьшим коэффициентом избытка воздуха: 1,05...1,1 – для природного газа; 1,1...1,15 – для мазута; 1,4...1,8 – для твердого топлива;
- следить за температурой уходящих топочных газов, полнотой сгорания топлива, обмуровкой котла.

5.3. Тепловые потери теплогенератора

Работа теплогенерирующей установки сопровождается потерями теплоты, выраженными обычно в долях, %:

$$q_i = (Q_i / Q_{р}) \cdot 100.$$

1. Потери теплоты с уходящими топочными газами теплогенератора

$$q_2 = (Q_2 / Q_{р}) \cdot 100, \%$$

В теплогенераторе это, чаще всего, наибольшая часть тепловых потерь. Потери теплоты с уходящими топочными газами можно понизить за счет:

- снижения объема дымовых топочных газов, путем поддержания требуемого коэффициента избытка воздуха в топке α_t и уменьшения присосов воздуха;
- снижения температуры уходящих топочных газов, для чего применяют хвостовые поверхности нагрева: водяной экономайзер, воздухоподогреватель, контактный теплообменник.

Температура уходящих топочных газов (140...180 °С) считается рентабельной и во многом зависит от состояния внутренней и внешней поверхности нагрева труб котла, экономайзера. Отложение накипи на внутренней

поверхности стенок труб котла, а также сажи (летучей золы) на внешней поверхности нагрева существенно ухудшают коэффициент теплопередачи от топочных газов к воде и пару. Увеличение поверхности экономайзера, воздухоподогревателя для более глубокого охлаждения дымовых газов не является целесообразным, так как при этом уменьшается температурный напор ΔT и увеличивается металлоемкость.

Повышение температуры уходящих топочных газов может произойти в результате неправильного процесса эксплуатации и сжигания топлива: большой тяги (топливо догорает в кипятельном пучке); наличия неплотности в газовых перегородках (газы напрямую идут по газоходам котельного агрегата, не отдавая теплоты трубам – поверхностям нагрева), а также при большом гидравлическом сопротивлении внутри труб (за счет отложения накипи и шлама).

2. Химический недожог

$$q_3 = (Q_3 / Q_{\text{Pp}}) \cdot 100, \%$$

Потери теплоты от химической неполноты сгорания топлива определяются по результатам анализа летучих горючих веществ H_2 , CO , CH_4 в уходящих дымовых топочных газах. Причины химической неполноты сгорания: плохое смесеобразование, недостаток воздуха, низкая температура в топке.

3. Механический недожог

$$q_4 = (Q_4 / Q_{\text{Pp}}) \cdot 100, \%$$

Потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива характерны для твердого топлива и зависят от доли провала топлива через колосниковую решетку в систему шлакозолоудаления, уноса частичек несгоревшего топлива с дымовыми газами и шлаком, который может оплавить частицу твердого топлива и не дать ей полностью сгореть.

4. Потери теплоты от наружного охлаждения ограждающих конструкций

$$q_5 = (Q_5 / Q_{\text{Pp}}) \cdot 100, \%$$

Возникают ввиду разности температуры наружной поверхности теплогенератора и окружающего наружного воздуха. Они зависят от качества изолирующих материалов, их толщины. Для поддержания q_5 в заданных пределах необходимо, чтобы температура наружной поверхности теплогенератора – его обмуровки не превышала $50\text{ }^\circ\text{C}$.

Потери теплоты q_5 уменьшаются по ходу движения топочных газов по газовому тракту, поэтому для теплогенератора введено понятие коэффициента сохранения теплоты

$$\varphi = 1 - 0,01q_5.$$

5. Потери с физической теплотой шлака

$$q_6 = (Q_6 / Q_{рп}) \cdot 100, \%$$

Возникают за счет высокой температуры шлаков порядка 650 °С, и характерны только при сжигании твердого топлива.

Таблицы расчета тепловых потерь, коэффициента полезного действия брутто, натурального, расчетного и условного расхода топлива теплогенератора приведены в справочной литературе.