

НОВЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ПРИ ИСПЫТАНИИ КОТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ

В. Н. СМИРЕНСКИЙ

Проведение балансовых испытаний котельных агрегатов связано с известными трудностями. Затруднения возникают в процессе наблюдений и замеров, проводимых во время самого опыта, и, как следствие, при обработке материалов испытания—определении отдельных потерь и сведениях теплового баланса. Поэтому достоверность полученных результатов опыта нередко вызывает сомнения.

Имеется несколько методик сведения тепловых балансов, но все они в той или иной степени обладают различного рода недостатками. В то же время известно, что составление теплового баланса значительно упростилось бы, если бы представилась возможность определить объем газов. Непосредственный замер количества газов применительно к испытаниям котельных агрегатов не может быть осуществлен, но объем газов можно найти косвенным путем. Это может быть сделано во всех случаях, когда имеется возможность во время опыта организовать замеры, позволяющие достаточно надежно определить использованное тепло какой-либо поверхностью нагрева (экономайзер или часть его, пароперегреватель, воздухоподогреватель, экономайзер низкого давления). Эта поверхность нагрева должна находиться в газоходе, где уже закончился процесс горения. Наиболее удобным случаем будет, очевидно, установка с некипящим экономайзером, причем никаких специальных замеров и наблюдений во время опыта не потребуется. Что касается анализа газов на RO_2 и O_2 , то он должен проводиться достаточно тщательно. Суммарная потеря от механической неполноты горения в этом методе определяется без замеров количества шлака, провала и уноса и без анализа их при прямом сведении теплового баланса.

Для нахождения объема сухих газов может быть использовано балансовое уравнение теплоиспользующей поверхности нагрева, написанное в следующем виде:

$$(cVt)'_{c2} + (cVt)'_{gn} + Q_{np} - (cVt)''_{c2} - (cVt)''_{gn} - Q_5 = Q_u \text{ ккал/кг.} \quad (1)$$

Все обозначения в этом уравнении понятны.

Если данное уравнение относится, например, к некипящему экономайзеру, то

$$Q_u = \frac{D_{эк}}{B} (i_2 - i_1) \text{ ккал/кг.}$$

Имея в виду, что объем сухих газов за поверхностью нагрева в „а“ раз больше объема до нее, можно из уравнения (1) получить:

$$V'_{c2} = \frac{Q_u - (cVt)'_{gn} + (cVt)''_{gn} - Q_{np} + Q_5}{(ct)'_{c2} - a(ct)''_{c2}} \text{ мм}^3 \text{ кг.} \quad (2)$$

В этих выражениях $D_{эк}$, B , i_2 , i_1 , t' , t'' , $c'_{вн}$ и $c''_{вн}$ известны из опыта или берутся по справочным данным. Теплоемкости сухих газов определяются на основе анализа газов на RO_2 до поверхности нагрева и за ней. Если состав сухих газов перед поверхностью — $RO'_2 + R'_2 = 100\%$, за поверхностью нагрева — $RO''_2 + R''_2 = 100\%$, то

$$c'_{сг} = \frac{c'_3 RO'_2 + c'_2 R'_2}{100} \text{ ккал/нм}^3\text{град}, \quad (3)$$

где c'_3 и c'_2 — теплоемкости трех- и двухатомных газов при температуре t' . Аналогично определяется и $c''_{сг}$.

Величина $a = \frac{RO'_2}{RO''_2}$. Подсчет величин $V'_{вн}$ и $V''_{вн}$ производится по известной формуле:

$$V_{вн} = \frac{8,94 H^p + W^p + 0,13 \alpha V_0 d + 100 W_{\phi}}{80,5} \text{ нм}^3/\text{кг}. \quad (4)$$

В данном случае можно считать, что

$$\alpha' = \frac{RO_{2 \text{ макс}}}{RO'_2} \quad \text{и} \quad \alpha'' = \frac{RO_{2 \text{ макс}}}{RO''_2},$$

или лучше определять α по известному выражению (10), но без учета CO .

Величину V_0 определять по составу рабочего топлива, а тепло присосанного в газоход воздуха по выражению:

$$Q_{пр} = (\alpha'' - \alpha') V_0 c_{в} t_{в} \text{ ккал/кг}. \quad (5)$$

Принятые выше допущения в отношении α и V_0 практически не окажут влияния на искомую величину объема газов. Потеря тепла во внешнюю среду Q_5 может быть оценена в соответствии с конкретными условиями.

Примечание 1. В выражении (2) величины $Q_{пр}$ и Q_5 малы и имеют противоположные знаки. Кроме того, так как Q_5 обычно несколько больше $Q_{пр}$, то выражение для $V'_{сг}$ можно записать в упрощенном виде:

$$V'_{сг} = \frac{Q_u - V_{вн}(c'_{вн} t' - c''_{вн} t'')}{(ct)'_{сг} - a(ct)''_{сг}} \text{ нм}^3/\text{кг},$$

где $V_{вн}$ считать при $\alpha = 1$. При нахождении объема газов по этому выражению расхождения в результатах расчета, как правило, не превышают сотых долей кубометра для крупных котлоагрегатов.

Найденный таким путем объем сухих газов значительно упрощает дальнейшее определение отдельных членов теплового баланса.

Для определения всех основных потерь котлоагрегата необходимо знать условное количество сгоревшего углерода K^p_1 и содержание CO в газах. Известно, что

$$K^p_1 = 0,539 V_{сг} (RO_2 + CO) \%. \quad (6)$$

Если в это выражение подставить значение для CO [1]:

$$CO = 34,71 - 1,66 RO_2 - 1,65 O_2 - \frac{7,25 H^p - 0,91 O^p + 0,28 N^p + 0,015 S^p_{л}}{V_{сг}} \%, \quad (7)$$

то получим:

$$K^p_1 = (18,71 - 0,356 RO_2 - 0,89 O_2) V_{сг} - 3,91 H^p + 0,49 O^p -$$

$$-0,15 N^p - 0,008 S^p_{д} \% . \quad (8)$$

После этого определяется количество несгоревшего углерода $C_{MH} = K^p - K^p_1 \%$.

Так как непосредственный анализ газов на CO мало надежен, то для определения окиси углерода могут быть использованы аналитические выражения (7) или более простое

$$CO = \frac{K^p_1}{0,539 V_{c2}} - RO_2 \% .$$

После подстановки в данное выражение соответствующих значений V'_{c2} и RO_2' определяется процентное содержание CO' перед поверхностью нагрева. Содержание окиси углерода в уходящих газах будет:

$$CO^{yx} = CO' \frac{RO_2^{yx}}{RO_2'} \% . \quad (9)$$

Дальше для уходящих газов подсчитываются следующие величины: Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha_{yx} = \frac{1}{1 - \frac{79}{21} \frac{O_2^{yx} - 0,5 CO^{yx}}{N_2^{yx}}} ; \quad (10)$$

объем водяных паров по выражению (4) и объем сухих газов

$$V_{c2}^{yx} = V'_{c2} \frac{RO_2'}{RO_2} \text{ н.м}^3/\text{кг} .$$

После этого обычным путем последовательно находятся отдельные члены теплового баланса: $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_{\phi}, Q_5$ определяется как остаточный член баланса.

Рассмотрим теперь случай, когда в продуктах горения кроме CO имеются H_2 и CH_4 и анализ газов при испытании производится с дожиганием. В этом случае в некоторые из приведенных формул должны быть внесены соответствующие дополнения. При наличии метана должна быть дополнена формула (3) для теплоемкости и формула (10) для коэффициента избытка воздуха.

При подсчете объема водяных паров по формуле (4) вместо H^p следует подставить величину $H^p - H^p_{газ}$, где количество водорода в H_2 и CH_4

$$H^p_{газ} = 0,09 (H_2 + 2 CH_4) V_{c2} \% .$$

Учитывая далее, что $(H_2 + CH_4)' = \frac{(H_2 + CH_4)^t}{a}$, получим следующее выражение для объема сухих газов перед поверхностью:

$$V_{c2}' = \frac{Q_u - (cVt)'_{bn} + (cVt)''_{bn} - Q_{np} + Q_5}{(ct)_{c2}^1 - a (ct)''_{c2} - 0,01 (H_2 + CH_4)' [(ct)'_{bn} - (ct)''_{bn}]} \text{ н.м}^3/\text{кг} . \quad (11)$$

В этом выражении V'_{bn} и V''_{bn} определяются, как и в первом случае, по выражению (4) без внесения каких-либо поправок, то-есть с подстановкой только водорода рабочего топлива H^p .

Условное количество сгоревшего углерода может быть определено из выражения:

$$K^p_1 = 0,539 V_{c2} (RO_2 + CO + CH_4) \% .$$

Примечание 2. Для проверки процентного содержания CO в газах может быть использовано выражение (7), дополненное в правой части на основании [1] слагаемым $+ (0,306 H_2 + 0,96 CH_4)$. Соответственно и выражение (8) для проверки Kp дополнится членом $+ (0,165 H_2 + 1,06 CH_4) V_{c2}$.

При сведении баланса тепла по данному методу получаемые результаты будут тем точнее, чем больше выбранная теплоиспользующая поверхность и меньше значение потери тепла во внешнюю среду. Обычно это соответствует крупным котлоагрегатам.

В помещенной ниже таблице приведены результаты подсчетов испытания котла Шухова-Берлина А-7. В одном случае (А) теплоиспользующей поверхностью был водяной экономайзер, в другом (Б)—воздухоподогреватель. Потеря тепла во внешнюю среду принята для случая (А)—0,6% и для случая (Б)—0,35%. Там же для сравнения приведены цифры (В), полученные в результате обработки материалов испытания того же котла по методу золотого баланса [2].

	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5
А	70,5	7,1	3,95	12,58	5,87
Б	70,5	7,1	3,88	12,9	5,62
В	70,5	6,62	5,07	12,4	5,41

ЛИТЕРАТУРА

1. Смиренский В. Н.—О новой методике исследования работы котельных установок, „Известия ТПИ“, том 63, 1944.
2. Гатеев С. Б.—Теплотехнические испытания котельных установок, Госэнергоиздат, 1954.