

Инж. В. Н. СМИРЕНСКИЙ.

К ВОПРОСУ О НОВОЙ МЕТОДИКЕ ИСПЫТАНИЙ И ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПОТЕРЬ КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК.

Принятая сейчас в котельной практике методика производства испытаний паровых котлов и связанный с ней метод подсчета теплового баланса далеко еще неточны. Основную неприятность представляет здесь одна величина, это—механическая неполнота горения q_4 . Эта потеря до сих пор обычно определяется по так называемому золотому балансу, который, как известно, весьма неточен и ненадежен. В самом деле, если одна часть общей потери q_4 и поддается учету в пределах топочного устройства (потеря со шлаком и провалом), то другая часть, иногда преобладающая (потеря с уносом), для непосредственного определения ее является „неуловимой“ величиной.

При определении q_4 уноса практикуют улавливание уноса, принимают затем этот унос за среднюю пробу его, техническим анализом находят горючую массу в уносе и, зная ее же в шлаке и провале и веса их, методом золотого баланса находят q_4 .

Если бы мы были уверены в правильности отбора средней пробы уноса, тогда при определении q_4 указанным методом мы были бы весьма близки к истине. Но в том-то и заключается вся беда, что отобрать действительно среднюю пробу уноса мы не в состоянии. На это имеется ряд причин. Прежде всего унос, улавливаемый непосредственно в том или ином газоходе котла, может частично выгорать, при чем условия выгорания его в приборе—улавливателе будут иными, нежели в „естественных“ условиях. Наоборот, в приборе, отсасывающем унос вместе с газом из газохода котла, процесс догорания части уноса может быть прекращен несколько ранее, чем в самом дымоходе. Кроме того, здесь должен быть соблюден ряд дополнительных условий, способствующих улавливанию действительно средней пробы уноса, хотя бы в данной точке газохода, т. к. иначе могут ускользнуть или очень мелкие или, наоборот, крупные частицы уноса. Так, например, должна быть выбрана надлежащая форма простейшего улавливателя (противень) в одном случае, или надлежащая скорость засасывания в другом и т. д. Несоблюдение соответствующих условий неизбежно влечет уже к неправильности при определении средней пробы уноса. Затем состав и распределение тока уноса неодинаков по сечению газохода. На это тоже имеется ряд причин: наличие разных площадей свободных сечений по газоходу и, следовательно, скоростей, неодина-

ковое распределение температур и т. п. Наконец, в некоторых местах газоходов мы не имеем даже возможности взять пробу уноса во время работы котла.

Все это вместе взятое говорит за то, что определяя механическую неполноту сгорания q_4 методом золотого баланса, можно очень легко и очень далеко отойти от истинной величины ее, не смотря на тщательность всех наблюдений. И не удивительно после этого, что часто при испытаниях— q_4 дает весьма неожиданные скачки в довольно широких пределах, ничем часто не оправдаваемые.

Такое явление особенно бывает заметным при проведении серии опытов на одном и том же топливе.

Имея в виду методику подсчетов теплового баланса, которая до сих пор пользуется широким применением, нужно отметить, что неправильное определение потери q_4 неизбежно влечет за собой неточность и в определении других потерь. В самом деле, по найденному значению механической неполноты горения Q_4 кал/кг ($q_4\%$) определяются:

фиктивное количество сгоревшего углерода

$$K_1^p = C^p - \frac{Q_4}{80,5} + 0,368 \cdot S_2^p;$$

характеристика сгоревшего топлива, которая служит для определения окиси углерода, если последняя не наблюдается из опыта непосредственно

$$\beta' = 2,38 \frac{H^p - \frac{O^p}{8}}{K_1^p} + 0,005;$$

потеря с уходящими газами

$$Q_2 = \left[1,86 \frac{K_1^p}{RO_2 + CO} + 0,0124 (9 \cdot H^p + W^p) \right] C_g (T_g - t_g) - C_m (t_m - t_g)$$

и потеря от химической неполноты горения

$$Q_3 = 56,7 \frac{CO}{RO_2 + CO} K_1^p.$$

Следовательно, точность определения потерь q_2 и q_3 находится в прямой связи с точностью определения потери q_4 . В тех случаях, когда потеря в окружающую среду q_5 находится как остаточный член, тогда уже все без исключения потери могут быть определены недостаточно точно, в особенности, если приходится иметь дело с большим количеством уноса.

Но если потеря q_4 , необходимая для более правильного сведения всего баланса, не поддается непосредственному определению, то для ее определения может быть предложен иной путь. Этот путь даст одновременно возможность более правильного определения потерь q_2 и q_3 .

Все дело сводится здесь к постановке некоторой дополнительной несложной аппаратуры и дополнительных наблюдений. Сам-же метод включает в себя определение объема газов за котлом. Однако непосредственное определение объема газов V_2 м³/кг представляет собой трудность неменьшую, чем непосредственное определение q_4 . Но объем V_2 может быть определен из опыта с помощью установки, схематично изображенной на черт. 1, назначение которой заключается в конденсации и улавливании водяных паров из газов, отсасываемых эжектором f .

Газ, отсасываемый из последнего газохода котла эжектором f , проходит через сухой фильтр a , задерживающий механически взвешенные частицы в газах. Фильтром может служить обычная стеклянная вата. Фильтр лучше помещать в самом газоходе котла на конце заборной трубки, чтобы избежать преждевременной конденсации водяных паров в нем и лишнего взвешивания. Из этих же соображений конденсатор b должен быть установлен возможно ближе к месту забора газа. Охлаждающая вода должна иметь возможно более низкую температуру, так как подсчеты показывают, что при температуре воды в 5° С для среднего рабочего состава каменных углей количество водяных паров, которое останется в газах после конденсатора, составит примерно 10% от полного содержания их в газах до конденсатора. Поэтому появляется необходимость установки добавочного поглотителя водяных паров d_1 . Поглощающим веществом здесь может служить фосфорный ангидрид (P_2O_5), серная кислота (H_2SO_4) или хлористый кальций ($CaCl_2$), который следует применять с некоторой осторожностью из-за возможности частичного поглощения CO_2 после неудачного прокаливания.

Второй поглотитель влаги d_2 устанавливается, как контрольный, и для поглощения водяных паров, не осевших в первом поглотителе d_1 , в случае возможного насыщения его. Таким образом, через газовые часы e пройдут сухие газы, количество которых будет известно V_{c2} м³ 1). (V_{c2} —объем газа, приведенный к нормальным условиям). Известен также будет и вес водяных паров, осевших в приборе— g_3 г, соответствующих объему сухих газов V_{c2} .

$$g_3 = g_1 + g_2 + g_3 \text{ г,}$$

где g_1 , g_2 и g_3 соответственно вес сконденсировавшихся водяных паров в сборнике конденсатора c , в первом и втором поглотителе d_1 и d_2 в граммах.

Дальше необходимо учесть, что конденсат, образовавшийся в приборе g_3 , получен не только за счет влаги топлива W_p и в результате горения водорода топлива H_p , но также за счет водяных паров, пришедших к газоходу котла с воздухом. Соответствующие подсчеты показывают, что недоучет этой величины дает ошибку при определении объема сухих газов V_{c2} м³/кг примерно

1) В случае установки мокрого газомера, при определении V_{c2} нужно вводить поправку на изменение объема от увлажнения газа в часах. В этом случае, после часов устанавливается добавочный поглотитель влаги.

в 6% при абсолютной влажности воздуха $\gamma_d = 3 \text{ г/м}^3$ для среднего рабочего состава каменных углей.

Если обозначить

V_g^s — действительное количество воздуха, приходящееся на 1 кг топлива в последнем газоходе котла с учетом присоса через обмуровку, в $\text{м}^3/\text{кг}$;

d — содержание влаги в воздухе в г/м^3 ;

H^p и W^p — содержание водорода и влаги в рабочем топливе в %, то полное количество влаги, приходящееся на 1 кг топлива, будет

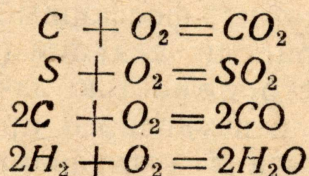
$$G_s = 90 H^p + 10 W^p + V_g^s d \text{ г./кг.}$$

Тогда полный объем сухих газов найдется из выражения

$$V_{c2} = v_{c2} \frac{G_s}{g_s} = v_{c2} \frac{90 H^p + 10 W^p + V_g^s d}{g_s} \dots (1)$$

здесь V_{c2} , g_s и d — определены из опыта; H^p , W^p — известны по составу рабочего топлива. Объем воздуха V_g^s может быть выражен через V_{c2} следующим путем.

Из реакций горения



следует, что каждый куб. метр кислорода, идущего с воздухом, вступая в реакцию с горючими элементами топлива, дает в результате полного горения C , S и H — $1 \text{ м}^3 CO_2$, $1 \text{ м}^3 SO_2$ и $2 \text{ м}^3 H_2O$ и в результате неполного горения C — $2 \text{ м}^3 CO$.

Следовательно изменение объема сухих газов V_{c2} против действительного количества подведенного воздуха V_g^s произойдет только за счет неполного горения углерода C в CO и за счет горения водорода H^p в H_2O (предполагаем горение водорода полным). От сгорания C в CO произойдет увеличение объема на величину кислорода, необходимого для горения C кг углерода в CO . Так как количество углерода, сгоревшего в CO , равно

$$0,536 \frac{CO}{100} V_{c2} \text{ кг/кг,}$$

а на 1 кг углерода при горении его в CO необходимо подвести кислорода (по реакции горения)

$$\frac{\mu_{O_2}}{\mu_{2C} \cdot \gamma_{O_2}} = \frac{32}{24 \cdot 1,429} = 0,93 \text{ м}^3/\text{кг,}$$

то увеличение полного объема газов от неполного горения углерода C в CO составит

$$0,93 \cdot 0,536 \frac{CO}{100} V_{c2} = 0,005 \cdot CO \cdot V_{c2} \text{ м}^3/\text{кг},$$

что равно объему кислорода (0,760), необходимому для горения C кг углерода в CO .

При сгорании водорода H^p в H_2O произойдет уменьшение объема на величину кислорода, необходимого для горения H^p . Так как на каждый кг водорода при его полном горении необходимо подвести 5,6 м³ кислорода, а количество водорода в 1 кг топлива равно 0,01 H^p кг/кг, то уменьшение объема газов составит при этом $5,6 \cdot 0,01 H^p = 0,056 H^p$ м³/кг.

Следовательно объем сухих газов в данном газоходе будет

$$V_{c2} = V_g^b + 0,005 \cdot CO \cdot V_{c2} - 0,056 \cdot H^p \text{ м}^3/\text{кг},$$

откуда

$$V_g^b = V_{c2} + 0,056 H^p - 0,005 \cdot CO \cdot V_{c2} \dots \dots \dots (2)$$

Подставляя значение V_g^b из уравнения (2) в уравнение (1), будем иметь

$$V_{c2} = v_{c2} \frac{90 H^p + 10 W^p + [V_{c2} (1 - 0,005 CO) + 0,056 H^p] d}{g_s}.$$

Решая данное уравнение относительно V_{c2} , получим

$$V_{c2} = v_{c2} \frac{90 H^p + 10 W^p + 0,056 H^p d}{g_s v_{c2} d (1 - 0,005 \cdot CO)} \dots \dots \dots (3)$$

Так как величина CO обычно незначительна, то множителем, стоящим в знаменателе в скобках можно пренебречь. Тогда не является обязательным непосредственное определение из опыта процентного содержания CO .

Дальше, из уравнения для объема сухих газов

$$V_{c2} = 1,86 \frac{K_1^p}{RO_2 + CO} \text{ м}^3/\text{кг},$$

зная состав газов из газового анализа, можно определить фиктивное количество сгоревшего углерода

$$K_1^p = 0,54 V_{c2} (RO_2 + CO) \% \dots \dots \dots (4)$$

В том случае, если CO непосредственно по газовому анализу не определяется (а определение его анализом кропотливо и ненадежно), величина K_1^p может быть подсчитана следующим образом. Окись углерода может быть определена по известной формуле

$$CO = \frac{1}{0,6 + \beta'} [21 - \beta' RO_2 - (RO_2 + O_2)] \%,$$

где характеристика сгоревшего топлива

$$\beta' = \frac{D}{K_1^p} + 0,005; \quad D = 2,38 \left(H^p - \frac{O^p}{8} \right).$$

Подставляя значение β' в выражение для CO , будем иметь

$$CO = \frac{1}{0,605 + \frac{D}{K_1^p}} \left[21 - \frac{D}{K_1^p} RO_2 - (1,005 RO_2 + O_2) \right] \% .$$

Приняв обозначение $E = 1,005 RO_2 + O_2$ и сделав соответствующие преобразования, имеем

$$CO = \frac{(21 - E) K_1^p - D \cdot RO_2}{0,605 K_1^p + D} \%$$

Подставляя найденное значение CO в уравнение (4) и вводя обозначение $F = 0,54 V_{cз}$, будем иметь

$$K_1^p = F \cdot RO_2 + \frac{F(21 - E) K_1^p - F \cdot D \cdot RO_2}{0,605 K_1^p + D} \%$$

откуда после соответствующих преобразований получим квадратное уравнение

$$0,605 K_1^{p2} - [(21 - E) F - D + 0,605 \cdot F \cdot RO_2] K_1^p = 0.$$

Обозначая выражение в квадратных скобках через M и разрешая данное уравнение относительно K_1^p , имеем

$$K_1^p = \frac{M + \sqrt{M^2}}{2 \cdot 0,605} = \frac{M}{0,605} = \frac{(21 - E) F - D + 0,605 \cdot F \cdot RO_2}{0,605} \% .$$

Заменяя D , E и F через их значения и делая соответствующие преобразования, получим выражение для K_1^p в окончательном виде

$$K_1^p = \frac{V_{cз} (11,34 - 0,54 \cdot O_2 - 0,216 \cdot RO_2) - 2,38 \left(H^p - \frac{O^p}{8} \right)}{0,605} \% \dots (5)$$

В выражениях для K_1^p (4) и (5) подставляется значение $V_{cз}$, определяемое по уравнению (3). По K_1^p , найденному из выражения (5), определяется β^1 и затем CO , необходимое для подсчета потери Q_3 .

Теперь имеются данные для определения всех потерь котельной установки. После определения по формуле (3) объема сухих газов $V_{cз}$, подсчитываются потери тепла с уходящими газами

$$Q_2 = [V_{cз} + 0,0124 (9 H^p + W^p)] C_2 (T_y - t_a) - C_m (t_m - t_a) \text{ кал/кг} . (6)$$

и от химической неполноты горения

$$Q_3 = 30,5 \cdot V_{cз} \cdot CO \text{ кал/кг} \dots \dots \dots (7)$$

Итак, потери Q_2 и Q_3 определяются теперь вне зависимости от потери Q_4 , неправильное определение которой при методе золотого баланса сразу сказывается на значениях других потерь.

Полная потеря от механической неполноты горения найдется после подсчета величины K_1^p (по уравнению 5 или 4) из выражения

$$Q_4 = 80,5 (C^p + 0,368 S_n^p - K_1^p) \text{ кал/кг} \dots (8)$$

Таким образом при определении этой потери Q_4 , совершенно не требуется знать вес шлака, провала, не нужно также средних проб и технического анализа шлака, провала и уноса.

Это обстоятельство может иногда в значительной степени облегчить проведение опыта и особенно, когда приходится иметь дело с крупными установками, дающими большое количество шлака, так как в виду большой неоднородности последнего средняя проба должна отбираться очень тщательно.

При более детальном проведении испытаний потери со шлаком Q_4^w и провалом Q_4^n могут быть определены отдельно обычным методом

$$Q_4^w = 80,5 \frac{G_w \cdot Z_w}{B} \text{ кал/кг} \dots (9)$$

$$Q_4^n = 80,5 \frac{G^n \cdot Z^n}{B} \text{ кал/кг} \dots (10)$$

где G_w , G^n и B — часовое (или за весь опыт) количество шлака, провала и топлива в кг.

Z_w и Z^n — горючее шлака и провала в %, определяемое техническим анализом.

Здесь теплотворная способность горючих шлака и провала принята 8050 кал/кг.

Потеря с уносом найдется тогда, как разность

$$Q_4^y = Q_4 - (Q_4^w + Q_4^n) \text{ кал/кг} \dots (11)$$

Потеря Q_5 в окружающую среду, если для определения величины ее нет данных, может быть найдена как остаточный член

$$Q_5 = Q_n^p - (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4) \text{ кал/кг} \dots (12)$$

При проведении опыта по данному здесь методу должно соблюдать следующее:

1) Необходимо следить за тщательным отбором средней пробы топлива и определением влажности его.

2) Также является обязательным тщательное определение влажности воздуха, так как недоучет этих обстоятельств неизбежно повлечет за собой неточность всех последующих подсчетов.

3) Улавливание водяных паров из газов должно проводиться непрерывно с момента начала до окончания опыта по топливу.

Кроме того, для более полного приближения к действительно среднему составу газа, необходимо отсос газа производить одно-

временно в нескольких точках по сечению газохода, согласовав скорость засоса с общей скоростью газов в канале.

4) Для более точного проведения опыта нужно пропускать через прибор примерно $8-10 \text{ м}^3$ газа (0,760), что для среднего рабочего состава каменных углей даст около 0,5 кгр. воды в приборе. Тогда возможная при опыте неточность будет сведена до минимума.

5) Из тех же соображений нужно до начала опыта, при установлении режима работы котла пропускать некоторое время газ через установку (но помимо хим. поглотителей), дабы в начале и конце опыта состояние прибора, на внутренних стенках трубопроводов которого будет находиться роса, было одинаковым.

В заключение необходимо отметить, что

1) данный метод предполагает полное горение водорода, что не совсем соответствует действительности, и

2) описанная схема установки для улавливания водяных паров не является окончательно принятой. Она принимается в качестве первой для осуществления изложенной здесь мысли о новой постановке опыта. Усовершенствование ее и, может быть, создание специального прибора для определения количества влаги в отходящих газах должны осуществляться параллельно с широкой экспериментальной проверкой данного метода, которая намечается кафедрой ТСУ ТИИ в 1935 году.

SUMMARY.

In the present paper an idea of a new way of running an experiment in testing boiler plants and a way of determining the heat balance is given. The essential feature of this method consists in the following: in testing a boiler plant the volume of dry gases falling to 1 kg of burned fuel is ascertained. The gas, the amount of which is measured by means of a clocktype volumeter gas during the whole trial is continuously sucked off by means of an ejector from the gaspipe of the boiler plant. On the passage of the gas, before the gas volumer, a condenser and chemical absorbers, catching the water vapours from the gases which are sucked off, are installed. During the trial the dampness of the air entering the furnace is carefully determined and an average sample of the fuel is also very carefully selected in order to ascertain most precisely the dampness of its power composition. All these data including the composition of the working fuel allow to determine the volume of dry gases falling to 1 kg of the burned fuel. By the volume of dry gases found in this way a fictitious amount of the burned carbon (sulphur being reduced to carbon) is determined, after this the total heat balance may be entirely settled up.

In the presented procedure of the trial the further calculation of the heat balance offers the possibility to determine the stack losses of heat and those due to the chemical incompleteness of combustion, this being quite independant from the mechanical incompleteness of combustion which, as it is known, is not as yet to be exactly determine, especially in those cases when the loss from flue gases forms a considerable value.

The loss from the mechanical incompleteness of combustion is determined in this case very simply, there being no need during the trial to weigh or take average samples of clinker ashes and flue gases. There is also no need in their technical analysis.

The advantages of this method so simple by its conception consist in the following.

1. The determination of particular losses of the heat balance of a boiler plant is not related to the but as yet imperfectly defined loss due to the mechanical incompleteness of combustion.

2. In those cases when no differential determination of losses from the mechanical incompleteness of combustion by its components is required the procedure of the trial is considerably simplified, as all the operations with clinker ashes and flue gases usual in boiler tests drop off when carrying the trial out by the method given. This being of a greatest meaning when testing large plants giving a great amount of hearth residues very heterogenous in their composition.

3. The entire heat balance of the boiler plant may be estimated with a greater accuracy.

