

ИЗМЕРЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ КОМПОНЕНТОВ В ДЫМОВЫХ ГАЗАХ ГАЗОАНАЛИЗАТОРАМИ С РАЗЛИЧНЫМИ СИСТЕМАМИ ПРОБОАНАЛИЗА

Канд. техн. наук, доц. НАЗАРОВ В. И.

Белорусский национальный технический университет

С появлением приборов газового анализа, имеющих погружные датчики, возникла проблема сопоставимости результатов их измерений с результатами измерений традиционными приборами газового анализа, имеющими выносные первичные преобразователи. Она в первую очередь была поднята в связи с определением технико-экономических показателей работы котельного оборудования, рассчитываемая в настоящее время по данным измерений в сухих газах (хотя во внимание не берется тот факт, что водяные пары являются продуктом горения газомазутного топлива, так же как и CO_2 и RO_x). В связи с этим проблему измерения концентрации продуктов горения в реальных (влажных) и нереальных (сухих) газах следует рассматривать в двух аспектах.

Первый аспект – это сам процесс измерения в реальных (влажных) газах, и второй – влияние результатов измерений на управляемость работой котельного агрегата.

Широкое распространение практикуемого в настоящее время способа измерения концентраций продуктов горения в сухих газах объясняется тем, что в тот момент еще не были разработаны высокотемпературные сенсоры. С появлением же приборов газового анализа встала задача сопоставимости их измерений с измерениями, произведенными газоанализаторами в нереальных (сухих) газах. Причем ей не было уделено должного внимания, хотя вопрос исследования сопоставимости результатов измерений в реальных и нереальных топочных газах скорее является чисто идеологическим, чем техническим.

В данной статье рассмотрена оценка влияния влажности дымовых газов на погрешность измерения таких компонентов, как O_2 и CO , ибо наибольшее распространение в Республике Беларусь получили в настоящее время твердоэлектродные газоанализаторы на O_2 и электрохимические – на CO .

Известно, что дымовые топочные газы в результате сгорания топлива в основном состоят из RO_x ; N_2 ; O_2 ; H_2O . Приборы газового анализа с погружными датчиками, которые находятся в потоке дымовых газов, определяют концентрацию O_2 и CO при температуре, когда все продукты сжигания топлива находятся в газообразном состоянии, в том числе и водяные пары.

При анализе газа традиционными приборами газового анализа, имеющими выносные первичные преобразователи (МН, АГТ, ОРСА, TESTO, IMR и т. д.), концентрации O_2 и CO определяются при температуре ниже точки росы. В отбираемой пробе вследствие конденсации H_2O происходит замещение освободившегося объема оставшимися газообразующими продуктами. При контроле же O_2 и CO автоматическими газоанализаторами,

имеющими в схеме отбора газа водоструйные эжекторы, следует учесть, что принятая на большинстве электростанций и котельных данная схема отбора газа существенно влияет на состав газа:

- во-первых, происходит конденсация водяного пара;
- во-вторых, наблюдается частичное уменьшение концентрации RO_2 в пределах 30...60 % первоначального объема [1] (что в первую очередь связано с высокой растворимостью CO_2 в воде – при $t = 20$ °С и $P_6 = 760$ мм рт. ст. растворимость составляет 0,878 у. е., для сравнения растворимость N_2 при тех же условиях – 0,0154).

С учетом вышеприведенного запишем изменение объемного содержания как

$$C^{сух} = C^{вп}/(1 - W_r/100 - K_n RO_2), \quad (1)$$

где $C^{сух}$ – содержание измеряемого компонента, отнесенное к объему сухих газов, % об.; $C^{вп}$ – то же в реальных топочных газах, % об.; W_r – влажность дымовых газов, % об.; RO_2 – объемная концентрация трехатомных газов, % об.; K_n – коэффициент поглощения водой трехатомных газов, для автоматических газоанализаторов с водоструйными эжекторами $K_n = 0,0045$, для остальных газоанализаторов $K_n = 0$.

Влажность дымовых газов находим согласно [2]

$$W_r = V_{вп} \cdot 100 / (V_{вп} + V_{сг}). \quad (2)$$

Здесь $V_{вп}$ – объем водяных паров, $м^3/кг$; $V_{сг}$ – то же сухих дымовых газов, $м^3/кг$,

$$V_{вп} = [\Delta + (21 - x)/100\alpha + 0,016\alpha\alpha](Q_H^P + 6W^P)/1000 + 0,0124W^P; \quad (3)$$

$$V_{сг} = [\alpha - (21 - x)/100]\alpha(Q_H^P + 6W^P)/1000; \quad (4)$$

α , Δ , x – константы, принимаемые согласно [1] в зависимости от вида топлива; W^P – рабочая влажность топлива, %; Q_H^P – низшая теплота сгорания топлива, $ккал/кг(м^3)$; α – коэффициент избытка воздуха в месте замера концентрации O_2 и CO .

После соответствующих преобразований запишем выражения (3), (4) и (2) в виде:

топливо–газ

$$V_{вп}/Q_H^P \approx 0,23544 \cdot 10^{-3} + 0,01776 \cdot 10^{-3}\alpha; \quad (5)$$

$$V_{сг}/Q_H^P \approx 1,11 \cdot 10^{-3}\alpha - 0,11544 \cdot 10^{-3}; \quad (6)$$

$$W_r = (196,2 + 14,8\alpha)/(1 + 9,4\alpha); \quad (7)$$

топливо–мазут

$$V_{вп}/Q_H^P \approx 0,1235 \cdot 10^{-3} + 0,0176 \cdot 10^{-3}\alpha; \quad (8)$$

$$V_{cr}/Q_H^P \approx 1,11 \cdot 10^{-3} \alpha - 0,0605 \cdot 10^{-3} \alpha; \quad (9)$$

$$W_r = (197 + 27,7\alpha)/(1 + 17,6\alpha). \quad (10)$$

Тогда для приборов газового анализа без водоструйных эжекторов имеем (компонент O_2):

топливо–газ

$$O_2^{вл} = O_2^{сух}(174,1 + 0,96O_2^{сух})/(218,4 - O_2^{сух}); \quad (11)$$

топливо–мазут

$$O_2^{вл} = O_2^{сух}(343,41 + 0,97O_2^{сух})/(390,6 - O_2^{сух}). \quad (12)$$

Для приборов газового анализа с водоструйными эжекторами (компонент O_2):

топливо–газ

$$O_2^{вл} = O_2^{сух}(162,5 + 1,5635O_2^{сух})/(218,4 - O_2^{сух}); \quad (13)$$

топливо–мазут

$$O_2^{вл} = O_2^{сух}(314,41 + 2,4195O_2^{сух})/(390,6 - O_2^{сух}). \quad (14)$$

Здесь $O_2^{сух}$ – содержание O_2 , отнесенное к объему сухих газов, % об.

Для вывода выражений (13), (14) было принято, что $RO_2 \approx CO_2 = 11,8 - 0,56168 O_2^{сух}$ [2].

Выражения (11)–(14) позволяют осуществлять пересчет концентрации измеряемого компонента для различных систем пробоподготовки.

Аналогичные результаты были получены и для CO (промежуточные выкладки здесь опущены):

топливо–газ

$$CO^{сух} = \frac{1 + 9,4\alpha}{9,252\alpha - 0,962} CO^{вл}; \quad (15)$$

топливо–мазут

$$CO^{сух} = \frac{1 + 17,6\alpha}{17,323\alpha - 0,97} CO^{вл}. \quad (16)$$

Для подтверждения полученных теоретических результатов был проведен ряд экспериментальных исследований по измерению данных компонентов приборами газового анализа с различными системами пробоанализа.

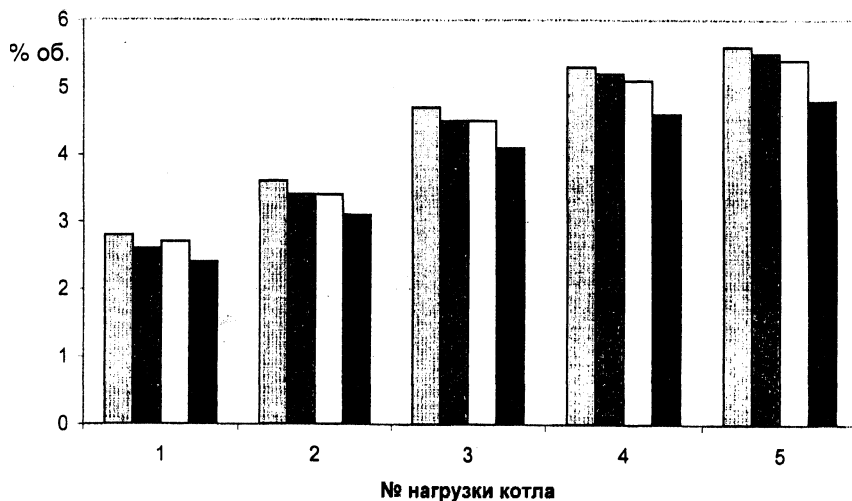


Рис. 1. Объект испытаний – котел БКЗ-75-39, топливо – мазут:
 ■ – O₂, МН; ■ – O₂, Орса; □ – O₂, TESTO; ■ – O₂, АГТ

Экспериментальные исследования проводились на барабанных и прямоточных котельных агрегатах производительностью от 25 до 1000 т/ч, сжигающих как газовое, так и жидкое топливо. Для сопоставления концентраций O₂ и СО в дымовых газах использовались следующие приборы газового анализа:

- стационарные газоанализаторы АГТ-O₂ и АГТ-СО с погружной системой пробоподготовки, класс точности – 4, диапазон измерений O₂ – 0...10,0 % об.; СО – 0,005...0,1 % об.;

- переносной газоанализатор TESTO-342 с выносной системой пробоподготовки, погрешность измерения O₂ – ±0,2 % об., СО – ±20 ppm (до 400 ppm) и 5 % (свыше 400 ppm);

- штатные стационарные газоанализаторы типа МН-5106 с выносной системой пробоподготовки и водяным эжектором в качестве побудителя расхода, класс точности 2,5, диапазоны измерения O₂ – 0...2,0; 5,0...10 % об.;

- переносной газоанализатор ГХП-100 (типа Орса) с выносной системой пробоподготовки, класс точности 4, диапазон измерения O₂ – 0...21 % об.

С целью получения корректных результатов измерения концентраций O₂ и СО всеми приборами проводились в области сенсоров газоанализаторов АГТ-O₂ и АГТ-СО. Для этого в защитном кожухе данных газоанализаторов были размещены газоотборные штуцера.

Измерения концентрации кислорода в дымовых газах проводились на котельных агрегатах согласно их режимным картам; концентрации оксида углерода в дымовых газах – на котельных агрегатах на одном из режимов их работы с варьированием избытка воздуха в топке.

Для исключения динамической погрешности измерения проводились с 15-минутной стабилизацией режима работы оборудования.

Некоторые результаты измерений приведены на рис. 1–6.

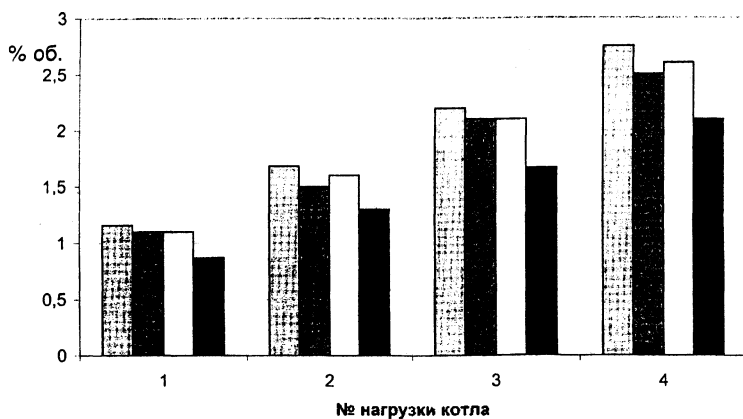


Рис. 2. Объект испытаний – котел БКЗ-210-140, топливо – газ:
 ■ – O₂, МН; ■ – O₂, Орса; □ – O₂, TESTO; ■ – O₂, АГТ

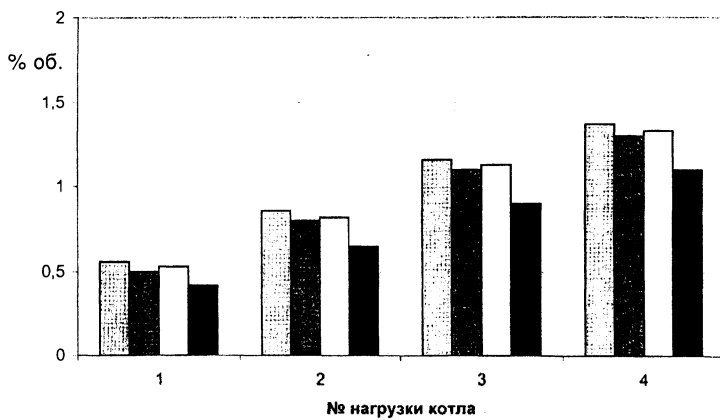


Рис. 3. Объект испытаний – котел ТГМП-344-255, топливо – газ:
 ■ – O₂, МН; ■ – O₂, Орса; □ – O₂, TESTO; ■ – O₂, АГТ



Рис. 4. Объект испытаний – котел БКЗ-75-39, топливо – мазут:
 ■ – CO, TESTO; ■ – CO, АГТ



Рис. 5. Объект испытаний – котел БКЗ-210-140, топливо – газ:
 ■ – CO, TESTO; ■ – CO, АГТ

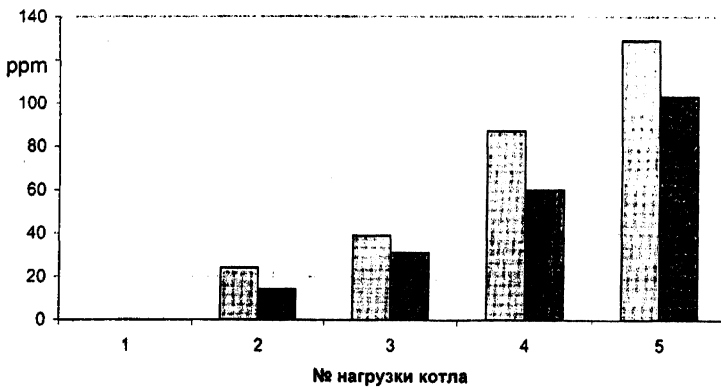


Рис. 6. Объект испытаний – котел ТГМП-344-255, топливо – газ:
 ■ – CO, TESTO; ■ – CO, АГТ

ВЫВОДЫ

1. Проведены экспериментальные исследования по измерению компонентов O_2 и CO приборами газового анализа с различными системами пробоподготовки.

2. Получены аналитические выражения, позволяющие сопоставлять результаты измерения компонентов O_2 и CO как во влажных, так и в сухих дымовых газах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тхоржевский В. П. Автоматический анализ химического состава газов. – М.: Химия, 1969.
2. Трёмбовля В. И. и др. Теплотехнические испытания котельных установок. – М.: Энергия, 1977.

Представлена кафедрой ТЭС

Поступила 29.03.2002