

УДК 543.27.08

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ СТАЦИОНАРНОЙ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ ВЫБРОСОВ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ КОТЛОАГРЕГАТАМИ ТЭС

К. т. н. Ю. Н. Максименко

Всеукраинский НИИ аналитического приборостроения

Украина, г. Киев

analyt@ukranalyt.com.ua

Определен состав факторов, влияющих на погрешность измерения системы автоматизированного контроля выбросов. Приведена оценка погрешности измерения концентрации токсичных веществ и измерения валовых выбросов.

Ключевые слова: оценка погрешности, выбросы токсичных газов и пыли, котлоагрегаты.

Стационарные системы автоматизированного контроля выбросов (АКВ) токсичных веществ котлоагрегатами теплоэлектростанций (ТЭС), при всем их разнообразии, имеют обязательные элементы, входящие во все такие системы [1—3]:

- первичные приборы и датчики;
- цифровые устройства сбора и предварительной обработки информации (УСОИ);
- персональный компьютер (ПК).

Контролируемыми величинами системы АКВ являются [4]: концентрации токсичных газов и пыли, а также их валовые выбросы.

Минимальное количество и состав первичных приборов и датчиков, входящих в систему АКВ, можно ограничить следующими устройствами: один многокомпонентный газоанализатор (ГА) токсичных газов (NO, NO₂, CO, SO₂); один пылемер; один датчик скорости потока газа; один датчик температуры газа.

Вопросам синтеза систем АКВ уделялось большое внимание [4, 5], однако эти вопросы не рассматривались в корреляции с погрешностью измерения системы в целом. Вопросы погрешности исследовались только для отдельных приборов системы АКВ [6, 7]. Весьма актуальным остается вопрос оценки погрешностей измерений вышеперечисленных величин в составе системы АКВ.

Как известно, относительная погрешность измерения физических величин, для измерения которых используется несколько приборов или датчиков, выражается формулой

$$\Delta = \sqrt{\sum_i \Delta_i^2}, \quad (1)$$

где Δ_i — относительная погрешность (далее — погрешность) измерений i -го прибора;
 $i = 1 \dots N$ — количество приборов, используемых для измерений.

При измерении концентраций газов в базовой модели системы АКВ, разработанной в институте, используется многокомпонентный стационарный ГА "Марс-5" [8], внесенный в Государственный реестр средств измерительной техники, допущенных к применению в Украине, за № У 1307-04.

Погрешность измерения концентрации каждого компонента (Δ) не будет превышать значения

$$\Delta = \sqrt{\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + \Delta_3^2}, \quad (2)$$

где Δ_1 — погрешность измерений ГА "Марс-5"; Δ_2 — погрешность преобразований сигналов УСОИ; Δ_3 — погрешность преобразований сигналов ПК.

Если подставить в формулу (2) предельные значения составляющих погрешности $\Delta_1 \leq 10\%$; $\Delta_2 \leq 0,5\%$; $\Delta_3 \leq 0,5\%$, то получим значение $\Delta \leq 10,02\%$.

Полученная оценка дает возможность утверждать, что погрешность измерения концентрации токсичных газов (NO, NO₂, CO, SO₂) в системе АКВ не превышает 10%.

Для измерения концентрации пыли в базовой модели системы АКВ применен разработанный в институте измеритель оптической плотности ВОГ-1, аттестованный как измеритель оптической плотности с погрешностью, не превышающей 2% [9].

Пылегазовая среда является неустойчивой аэродисперсной системой и это вносит существенные трудности при создании средств метрологического обеспечения для достоверного измерения концентрации пыли. На практике градуировку пылемеров в единицах концентрации проводят на объекте эксплуатации путем сличения показаний исследуемого прибора с эталонным, чаще всего, гравиметрическим анализатором.

При оценке погрешности измерения концентрации пыли в формуле (2) добавится еще одна составляющая Δ_4 — погрешность аттестации оптического пылемера гравиметрическим методом: $\Delta = \sqrt{\Delta_2^2 + \Delta_3^2 + \Delta_4^2}$. Обычно предельное значение $\Delta_4 \leq 20\%$. Тогда погрешность измерения концентрации пыли в системе АКВ не будет превышать 20%.

Валовые выбросы токсичных веществ котлоагрегатами ТЭС определяются как $Q_i = C_i V S$, где C_i — концентрации анализируемых токсичных веществ, г/м³; V — скорость газа в измеряемом сечении газохода, м/с; S — площадь сечения газохода, в котором измерены анализируемые величины, м².

Величина $q = V S$ представляет собой расход анализируемого газа, м³/с, который может быть определен, например, по производительности дымососа. Однако погрешность измерения расхода в данном случае может оказаться очень большой и даже неконтролируемой (из-за наличия подсосов воздуха в газоходах, старения дымососа и изменения при этом его эксплуатационных характеристик — зависимости расхода газа от тока двигателя и др. факторов).

При измерении скорости газового потока V также возникают проблемы. Измеряя скорость ультразвуковым методом, получаем усредненное значение скорости, не принадлежащее данному сечению газохода. При измерении скорости по изменению динамического давления в газовом потоке, измеренное значение имеет точечный характер, и среднее значение определяется эпюрами скоростей в данном сечении газохода [10].

Для измерения скорости газового потока в базовой модели системы АКВ применен, разработанный в институте датчик скорости потока газа на основе калиброванной трубки Пито.

Для реального газохода, например с внутренним диаметром стальной трубы 4 м, расход газа через сечение газохода рассчитывается по формуле $q = \sum_i^n V_i S_i$,

где: V_i — средняя скорость газа в i -й кольцевой зоне сечения; S_i — площадь i -й кольцевой зоны сечения; n — количество зон (для газохода диаметром 4 м $n=16$).

Если значения площадей зон сечения S_i будут выбраны равновеликими, то расход газа можно вычислить по формуле $q = V S$,

где S — площадь сечения газохода; V — средняя скорость газа в измеряемой точке сечения газохода, $V = 1/16 \sum_i^n V_i$. Значение скорости V_i измеряется по методике, изложенной в ГОСТ 17.2.4.06-90 с по-

мощью аттестованной напорной трубки. Для приведения к нормальным условиям измерения (температура $20 \pm 2^\circ\text{C}$, давление 101,3 кПа [11]) непрерывно измеряется температура газового потока и вводится поправка в формулу для расчета скорости: $V_i = \sqrt{2P_d / \rho}$, где P_d — динамическое давление газа

$P_d = pK$, p — показания микроманометра в кПа; K — коэффициент напорной трубки, определенный при ее аттестации. Плотность газа ρ при рабочих условиях вычисляется как $\rho = 2,892 \rho_N (P_a + P_{ст}) / (273 + t)$, кг/м³,

здесь: P_a — атмосферное давление, кПа; $P_{ст}$ — статическое давление газа, кПа; t — температура газа, °C; ρ_N — плотность газа при нормальных условиях измерения, равная $\rho_N = 0,01 \sum m_i C_i / 24,05$, где m_i — значение молекулярной массы i -го компонента газовой смеси; C_i — объемная доля i -го компонента, %;

24,05 — молярный объем газа при нормальных условиях измерения, м³/кмоль.

Возникшие проблемы неопределенности измерения скорости потока газа решаются путем конкретизации условий аттестации датчиков скорости и определения эмпирической погрешности измерения скорости.

Для наиболее точной оценки величины валовых выбросов должны соблюдаться условия:

— газоход в сечении представляет собой круг;

— газовый поток должен быть линейным и однородным на участке длиной не менее 5 диаметров газохода (см. ГОСТ 17.2.4.06-90) по обе стороны от точки измерения, находящейся в сечении газохода;

— измерения проводятся калиброванной трубкой Пито;

— погрешность измерения площади сечения не превышает 0,1%, а температуры — 1%;

— погрешность измерения скорости газа не превышает 5% (с учетом влияния температуры);

— измеряются скорости потока газа, соответствующие середине диапазона измерения скорости (диапазон 0 — 40 м/с).

В таком случае погрешность измерения валовых выбросов токсичных газов будет составлять: $\Delta \leq 12\%$ (с учетом малости Δ_2 и Δ_3), а валовых выбросов пыли $\Delta \leq 21\%$.

В других случаях (газоход в сечении, например, прямоугольный; не выполняется условие ламинарности потока газа; измеряются скорости потока газа в начале или конце диапазона измерения) погрешность измерения скорости потока газа определяется по результатам сравнительных испытаний и может достигать 20 — 30%, а погрешность измерения валовых выбросов при этом достигает 40%.

Таким образом, валовые выбросы токсичных веществ могут быть измерены с достаточной точностью (12% и 21% соответственно, для газов и пыли) только в определенных условиях измерения.

При измерении концентрации токсичных газов и пыли погрешность практически всегда не более 10% и 20%, соответственно.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Максименко Ю. Н., Яковлев В. А. Система контроля валовых выбросов промышленных предприятий // Збірка наукових праць МНПК Геологічні дослідження: стан і перспективи.— Україна, м. Івано-Франківськ.— 1995. Ч.1.— С. 139—140.
2. Максименко Ю. Н. Система контроля загрязнения окружающей среды котельными установками. // Вісник Українського Будинку економічних та науково-технічних знань.—2000.— № 2.— С.71—74.
3. Патент 47401, Україна. Багатоканальна стаціонарна система контролю токсичних викидів підприємств / Максименко Ю. М., Мазан Є. Г., Ткачук В. М., Дашковский О. А.— 2010.— Бюл. № 2.
4. Максименко Ю. Н. Анализ нормативов, газовых выбросов котлоагрегатов и синтез технических требований к приборам контроля выбросов // Сб. материалов МНПК «Региональные проблемы в децентрализованной теплоэнергетике».— Украина, г. Киев.—2000.— С. 85—88.
5. Максименко Ю. Н. Синтез требований к системам контроля и учета выбросов вредных веществ промышленными предприятиями // Зб. МНПК «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення».— Україна, м. Алушта.— 2005.— Т. 2.— С.183—185.
6. Максименко Ю. Н. Исследование погрешности многокомпонентных инфракрасных газоанализаторов // Вісник НТУУ «КПІ», серія: Приладобудування.— 2006.— Вип. 31.— С. 69—74.
7. Мошковская Л. Т., Максименко Ю. Н. Метрологическое обеспечение оптических пылемеров // Труды VII МНПК «Современные информационные и электронные технологии».— Украина, г. Одесса.— 2006.— С. 204.
8. Максименко Ю. Н. Многокомпонентный газоанализатор для контроля выбросов ТЭС // Энергетика и электрофикация.— 1992.— Вып. 4.— С. 37—38.
9. Максименко Ю. Н. Оптический пылемер // Зб. II МНПК «Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення».—Україна, м. Алушта.—2006.— Т. 2.— С. 187—191.
10. Гейко О. Н., Мазан Е. Г., Максименко Ю. Н., Холод В. П. Измерение расхода в системе контроля и учета выбросов вредных газов на Трипольской ТЭС // Зб. тез ІУ науково-технічної конференції «Приладобудування: стан і перспективи».— Україна, м. Київ.—2005.— С. 163—164.
11. Физический энциклопедический словарь // Под ред. А. М. Прохорова.— Москва: Сов. Энциклопедия, 1984.— С. 471.

Yu. N. Maksimenko

Metering error estimation for the emission monitoring system of heat power plant boilers.

The study determines the factors affecting the measurement accuracy of the system of emissions automated monitoring. The measurement error for toxic substances concentration and total emissions is estimated.

Keywords: *error estimation, emission of toxic gases and dust, heat power plant.*