



Метод определения концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах горения

К.Е. Арыстанбаев, А.Т. Апсеметов (Южно-Казахстанский государственный университет)

Приведен метод определения концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах горения. Предлагается задача экстремального регулирования процесса сжигания топлива с помощью стабилизирующего регулятора, воздействующего на соотношение топливо - воздух по значению концентрации оксида углерода в топочной камере. В связи с этим предложен подход к решению поставленной задачи с учетом полученного поправочного коэффициента, компенсирующую погрешность измерения концентрации оксида углерода.

Ключевые слова: высокотемпературные процессы горения, поправочный коэффициент, концентрация.

Введение

Основными источниками загрязнения атмосферы являются токсичные вещества, такие как оксид углерода и азота, образующиеся в процессах горения топлива в различных отраслях промышленности, особенно приоритетных для Республики Казахстан, в химических и нефтехимических производствах, металлургии, теплоэнергетике, на транспорте и т.д.

Процесс горения топлива протекает сложным путем и сопровождается комплексом физико-химических явлений, начиная с подогрева и воспламенения топлива. Далее происходит горение летучих веществ, зависящее от контакта с окислителем, температуры и других факторов.

Одной из важнейших задач в решении проблемы снижения выбросов в окружающую среду оксидов углерода и азота конструктивно-режимными мероприятиями при сжигании топлива в паровых котлах является удержание оптимальных режимов сжигания топлива в условиях промышленной эксплуатации оборудования. Для осуществления этой цели необходимо знать оптимальное значение коэффициента избытка окислителя (α) и точное значение концентрации оксида углерода (СО) в топочной камере, контроль и воздействие на которые позволили бы регулировать и автоматически поддерживать их в оптимальном режиме по эколого-техничко-экономическим показателям.

Для выбора оптимального избытка воздуха при данной нагрузке котла проводят серию опытов с определением коэффициента избытка окислителя и полноты сгорания. Действительный интервал значений расхода воздуха, при которых достигается максимальный КПД, найти по существующим методам измерения невозможно, так как существующие методы определения концентрации оксида углерода в промышленных выбросах [1, 2] не учитывают динамику изменения СО в высокотемпературных процессах

вдоль канала водоохлаждаемого зонда. Следовательно, возникает необходимость применения более точных методов измерения концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах горения, позволяющих выявить и рекомендовать более экономичные режимы работы котлов.

Постановка задачи

Установка системы отбора проб дымовых газов в высокотемпературных процессах и проведение анализов в контрольных точках котельной установки позволяют выполнять оперативную корректировку процесса сжигания топлива с целью недопущения повышенных выбросов токсичных компонентов, перерасхода топлива и расхода воздуха.

Определение концентрации оксида углерода в топке парового котла ТГМЕ-464 [1] осуществлялось методом газовой хроматографии с использованием прибора «Газохром-3110». Метод предназначен для определения концентрации оксида углерода в диапазоне 11,8...34950 мг/м³ в организованных промышленных выбросах.

Сущность метода заключается в хроматографическом разделении компонентов газовой смеси с последующим определением их на детекторе по тепловому эффекту реакции горения.

Однако предложенный способ измерения концентрации оксида углерода не учитывает процесс охлаждения пробы в водоохлаждаемом зонде несмотря на то, что скорость охлаждения газа существенно влияет на скорость образования концентрации СО. В связи с этим нельзя дать точную оценку концентрации оксида углерода в топках парового котла существующими методами определения концентрации оксида углерода в промышленных выбросах. А это значит, что выбранное оптимальное значение коэффициента избытка окислителя будет не точным. Поэтому возникает необходимость в разработке новой методики, пред-

назначенной для измерения концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах горения с учетом процесса охлаждения пробы в водоохлаждаемом зонде.

Проблемы рационального использования соотношения топливо-воздух

В процессах эксплуатации паровых котлов, оборудованных большим числом горелочных устройств, как и для других паровых котлов, момент появления химического недожога определяет нижнюю границу установления подачи воздуха на горение. Эта граница зависит от многих факторов (состава топлива, характеристик и эксплуатационного состояния горелочных устройств, выбранной технологии сжигания топлива, компоновки топочно-горелочных устройств, нагрузки парового котла) и может многократно меняться как в течение ограниченного промежутка времени, так и при длительной эксплуатации оборудования.

На рис. 1 представлены данные по изменению концентрации оксида углерода и азота в зависимости от коэффициента избытка окислителя [3], построенная зависимость, показывающая, что рациональное значение коэффициента избытка окислителя лежит в пределах $\alpha = 0,96...0,97$ (точка X рис. 1).

Паровой котел ТГМЕ-464 работает при значении коэффициента избытка окислителя, равном 1,06. Следовательно, переход к режиму 0,96...0,97 приведет к увеличению энергосъема, экономии топлива и одновременному уменьшению суммарной предельно-допустимой концентрации оксидов углерода и азота на 15...20%.

Однако отсутствие на практике постоянного совместного контроля как в дымовых газах CO , H_2 , NO , SO_x , так и в топочной камере CO с требуемой точностью не позволяют обслуживающему персоналу в процессе эксплуатации оборудования выдержать оптимальное соотношение топливо-воздух. Это обычно проявляется в завышении коэффициентов избытка

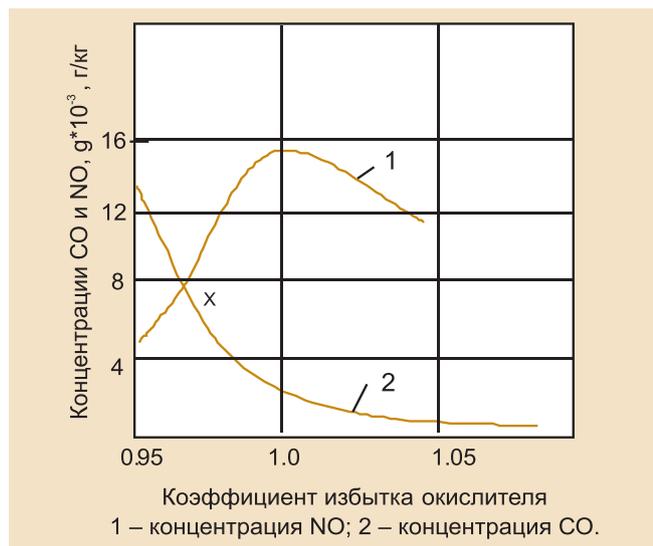


Рис. 1. Зависимость концентраций токсичных компонентов от коэффициента избытка окислителя

воздуха в виде создания интервала гарантии по воздуху с целью исключения возможности появления потерь тепла с химическим недожогом топлива, что всегда приводит к повышенным концентрациям NO , SO_x и большему расходу энергии на собственные нужды.

Метод измерения концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах горения

Настройка режима горения существующих горелочных устройств, прежде всего, включает подбор оптимального избытка воздуха. Поэтому для выбора оптимального значения избытка воздуха при данной нагрузке котла проводят серию опытов с определением коэффициента избытка окислителя и полноты сгорания топлива.

Выполнение такой серии опытов с точным определением минимума потерь с уходящими газами требует использования в котельной хроматографа или другого прибора, обеспечивающего определение концентрации важнейшего продукта неполного сгорания — CO в зоне высоких температур.

Поэтому анализ топочного газа на наличие CO в топочном пространстве парового котла ТГМЕ-464 производился по следующей предложенной методике:

- водоохлаждаемым газоотборным устройством отбираем пробу высокотемпературной газовой смеси;
- рассчитываем теоретическую температуру горения в топочной камере ($T_{\text{нач}}$), при температурах измеряемой среды выше 1000 К и ниже 2100 К измерения можно производить термоэлектрическими преобразователями типа ТВР-299;
- задаем коэффициент избытка окислителя (α) для жидких и газообразных топлив;
- рассчитываем значение температуры ($T_{\text{кон}}$) газа, выходящего из водоохлаждаемого газоотборного устройства. Возможно использование термоэлектрических преобразователей для высоких температур;
- для водоохлаждаемого устройства, выполненного в виде теплообменника с противотоком, рассчитываем время охлаждения (t) газовой смеси;
- приняв, что процесс охлаждения протекает равномерно, теплообмен между продуктами сгорания и стенками канала моделируется заданием закона изменения температуры газовой смеси во времени:

$$T_{\text{кон}} = T_{\text{нач}} + \lambda t, \quad (1)$$

где T — температура, T_0 — начальная температура, λ — скорость охлаждения в К/с, t — время,

- из уравнения (1) находим скорость охлаждения (λ);
- по полученной математической модели $y = \varphi(\alpha, \lambda, T_{\text{нач}}, T_{\text{кон}})$ находим поправочный коэффициент F , который учитывается во всех существующих методах определения концентраций оксида углерода в высокотемпературных процессах горения;
- рассчитываем рациональное значение коэффициента избытка окислителя с учетом действительной концентрации оксида углерода в топочной камере.

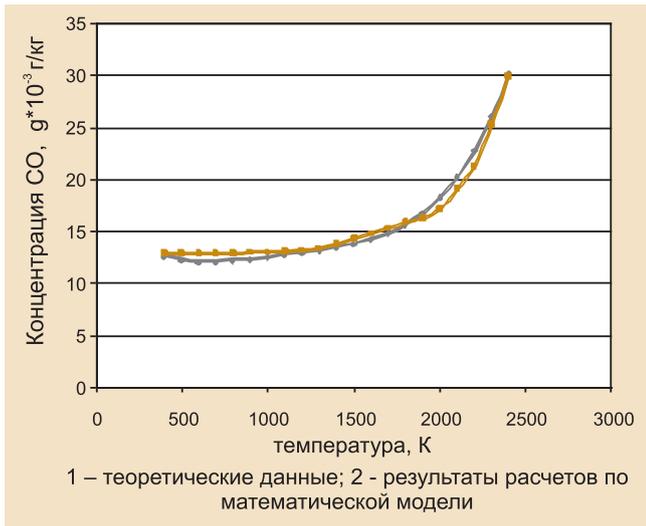


Рис. 2. Результаты расчетов по математической модели и теоретических данных, проведенных при коэффициенте избытка окислителя равном 0,95 и скорости охлаждения газа, равной 1000 К/с, на интервале температур 400...2400 К

Методом наименьших квадратов, используя программный пакет Statistica, получена регрессионная модель процесса горения, учитывающая динамику изменения концентрации оксида углерода и азота:

$$Y = a_0 + a_1 \cdot \alpha + a_2 \cdot \lambda + a_3 \cdot T + a_4 \cdot T^2 + a_5 \cdot \alpha^2 + a_6 \cdot \alpha^3 + a_7 \cdot \alpha \cdot \lambda + a_8 \cdot T^3 + a_9 \cdot T^4$$

где $a_0 \dots a_9$ — коэффициенты уравнения регрессии.

Сам поправочный коэффициент, который необходимо учитывать при нахождении концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах горения, находится соотношением:

$$F = Y_1 / Y_2 \quad (2)$$

где Y_1 — весовая концентрация оксида углерода в топочной камере при $T_{нач}$; Y_2 — весовая концентрация оксида углерода на выходе из водоохлаждаемого устройства при $T_{кон}$.

На рис. 2 приведен результат сопоставления теоретических данных [4] и расчетов по математической модели, который позволяет сделать вывод об адекватности последней.

Практическое применение поправочного коэффициента

Полученный поправочный коэффициент необходимо учитывать при определении концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах энергетических установок. Так, например, при нахождении концентрации CO в топках парового котла методом газовой хроматографии с использованием прибора «Газохром-3110» формула определения концентрации оксида углерода не учитывает динамики изменения концентрации CO в процессе охлаждения газа в водоохлаждаемых зонах.

Подготовка пробоотборной аппаратуры осуществляется в соответствии со стандартом СТ РК 2.2-2001. «Проверка средств измерений. Организация и порядок проведения измерения проводились согласно СТ РК 2.4-98».

Для количественного определения оксида углерода используется метод абсолютной калибровки по чистому оксиду углерода или аттестованным газовым смесям.

Концентрация оксида углерода ($C_x\%$ по объему) в рабочей дозе рассчитывается по формуле:

$$C_x = \frac{V_{CO}}{V_{рД}} \cdot 100, \quad (3)$$

где V_{CO} — объем введенного калибровочным микродозатором чистого оксида углерода, м³; $V_{рД}$ — объем рабочей дозы, вводимой медицинским шприцем, м³.

При измерениях концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах горения следует использовать формулу (3), приведенную к следующему виду:

$$C_x = \frac{V_{CO}}{V_{рД}} \cdot F \cdot 100, \quad (4)$$

где F — поправочный коэффициент, зависящий от коэффициента избытка окислителя, скорости охлаждения газа по каналу зонда, начальной и конечной температур газа в водоохлаждаемом зонде, определяемый по формуле (2).

На рис. 3 представлена зависимость концентрации оксида углерода в топочной камере от температуры при коэффициенте избытка окислителя, равном 1,06. Концентрация оксида углерода, определенная методом газовой хроматографии с использованием прибора «Газохром-3110», не учитывает процесс дожигания оксида углерода в охлаждаемых зонах мно-

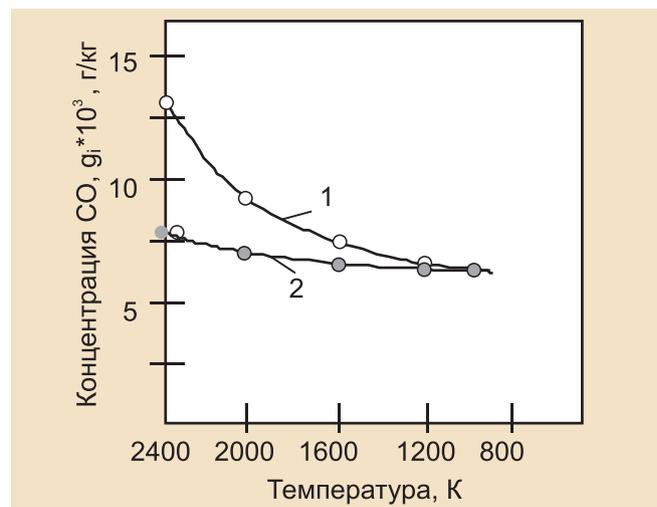


Рис. 3. Зависимость концентрации оксида углерода в топочной камере от температуры при коэффициенте избытка окислителя, равном 1,06, где 1 - концентрация оксида углерода с учетом поправочного коэффициента; 2 - концентрация оксида углерода без учета поправочного коэффициента

гокомпонентных парогазовых потоков. Например, при коэффициенте избытка окислителя, равном 1,06, результатом анализа пробы, взятой при температуре 2400 К со скоростью охлаждения 500 К/с в газовом анализаторе, является заниженная величина концентрации CO на 32,5% по сравнению с концентрацией в точке отбора, а при температуре отбора 1600 К концентрация CO занижена на 8,5%.

Заключение

Использование предложенного метода определения концентрации CO в топке парового котла, а также применение автоматических газоанализаторов на Шымкентском ТЭЦ-3 позволяют:

- снять напряженность и опасения персонала по ведению весьма сложных режимов сжигания топлива с комплексным набором технологических мероприятий для снижения выбросов оксидов углерода и азота;
- приняв во внимание поправочный коэффициент, решить в дальнейшем задачу экстремального регулирования процесса сжигания топлива с помощью стабилизирующего регулятора, воздействующего на со-

отношение топливо – воздух по концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах горения.

Список литературы

1. Сборник методик по определению концентраций загрязняющих веществ в промышленных выбросах. Ленинград: Гирометеоиздат, 1987.
2. *Кормилицын В.Н., Бугров В.П., Сакаров Н.И.* Приборы и системы контроля концентраций NO, CO, CO₂ и др. газов в продуктах сгорания топлива для технико-экономического и экологического контроля//Экологические системы и приборы. 1999. № 6.
3. *Айнабеков А.И., Сембиев О.З., Арыстанбаев К.Е.* Моделирование процесса образования токсичных компонентов в высокотемпературной газовой смеси//Тр. междунар. научно–практич. конф. «Ауезовские чтения –3». Шымкент. 2002. Т. VIII.
4. *Арыстанбаев К.Е.* Измерение концентрации оксида углерода в высокотемпературных процессах горения//Тр. междунар. научно–практической конф. по совершенствованию взаимосвязи образования и науки в XXI веке и актуальные проблемы качества подготовки высококвалифицированных специалистов. Шымкент, 2006.

*Арыстанбаев Куттыбек Есенгельдыевич – ст. преподаватель,
Апсеметов Абдулхак Торетаевич – доцент Южно-Казахстанского государственного университета.
E-mail: erdesova@mail.ru*

ГИБКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ АНАЛОГОВОГО СИГНАЛА В ДИСКРЕТНЫЙ ЦИФРОВОЙ НА ПРИМЕРЕ ВОЛЬТМЕТРА ДВОЙНОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ

В.К. Грыжов, В.Г. Корольков, Е.В. Грыжов, А.Д. Акшинский (Московский государственный университет технологий и управления)

В среде моделирования VisSim на примере вольтметра двойного интегрирования спроектирован гибкий преобразователь аналогового сигнала в дискретный цифровой. Для оптимизации алгоритма обработки сигнала применены два генератора: первый задает фиксированный временной интервал каждого отдельного цикла измерения, второй высокочастотный импульсный генератор формирует измерительные импульсы. В преобразователе используется оригинальный счетчик импульсов, собранный по схеме сумматора с обратной связью, обладающий свойством памяти. Описаны возможности и достоинства разработанного преобразователя.

Ключевые слова: преобразователь сигналов, двойное интегрирование, селектор, делитель напряжения, ключ, интегратор, счетчик импульсов.

В современных цифровых системах автоматического управления широко используются измерители – преобразователи аналоговых сигналов в дискретные цифровые [1, 2].

Существуют различные методы аналого-цифрового преобразования, различающиеся между собой по точности и быстродействию. В большинстве случаев эти характеристики антагонистичны друг другу. В настоящее время большое распространение получили такие типы преобразователей, как АЦП последовательных приближений (поразрядного уравнивания), интегрирующие АЦП, параллельные (Flash) АЦП и др.

На основе этих преобразователей действуют приборы, измеряющие силу тока, напряжение, временные интервалы, частоту, сопротивление и т.д.

Такое преобразование обязательно в гибридных системах, где непрерывная часть системы представлена в аналоговой непрерывной (естественной) форме, а часть, связанная с системой управления, – в дискретно-цифровой форме.

Рассмотрим принцип работы такого преобразователя на примере цифрового вольтметра двойного интегрирования и реализуем программный преобразователь аналогового сигнала в дискретный цифровой сигнал в среде VisSim.

Принцип действия цифрового вольтметра двойного интегрирования

Рассмотрим принцип действия цифрового вольтметра двойного интегрирования, который входит в группу приборов, где значения выходного сигнала