

УДК 662.62

ПУТИ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ПРИ СЖИГАНИИ КОКСОВОГО ГАЗА

Истомин И.Б., студент гр. ХМ₆-141, III курс

Гутова Н.А., студент гр. ХМ₆-141, III курс

Научный руководитель: Михайлов Г.С., к.т.н., доцент

Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
г. Кемерово

В котельных установках коксохимического производства коксовый газ является основным видом топлива. Обычно его сжигают без предварительной глубокой очистки от азот- и серосодержащих компонентов, и данное обстоятельство представляется причиной довольно существенных выбросов вредных веществ в атмосферу. Серосодержащие компоненты коксового газа, основную долю которых составляет сероводород, сгорают с образованием оксидов серы [1 - 3]. Компоненты коксового газа, содержащие азот в связанном виде (например, цианиды) сгорают с образованием оксидов азота NO_x [1, 2].

Присутствие оксидов серы в дымовых газах - основной фактор, определяющий сернокислотную коррозию на низкотемпературных поверхностях теплообменного оборудования [4 - 8]. В коррозионном процессе могут участвовать также хлориды, попадающие в топливо [5]. Авторами работы [6] показано, что при сжигании высокосернистого топлива кислая фаза конденсата, вызывающая низкотемпературную коррозию, состоит из раствора серной кислоты с примесями азотной, азотистой и органических кислот. Серная, азотная кислоты и другие кислые компоненты образуются в результате сложных физико-химических процессов в дымовых трактах с участием оксидов серы, азота, углерода и водяного пара [4, 9]. Эти токсичные соединения наносят значительный вред природе, а также представляют собой и весьма активные коррозионные агенты [3, 10].

На Кемеровском коксохимическом заводе (ПАО «Кокс») после ввода в эксплуатацию нескольких котельных агрегатов ДЕ-25ГМ при сжигании коксового газа возникли затруднения, связанные с необходимостью ограничения вредных выбросов, в первую очередь оксидов азота, серы и монооксида углерода. Кроме того, на трубах водяных экономайзеров со стороны дымовых газов было отмечено появление отложений, являющихся продуктами коррозии. В отложениях, отобранных с поверхности труб, обнаружили сульфат-ион, а водный раствор, полученный после обработки отложений, имел кислую реакцию.

Количество образующихся токсичных и коррозионно-активных компонентов зависит от состава топлива и параметров топочного процесса, в частности от температуры факела и избытка воздуха [1, 2]. Одним из способов ре-

гулирования температуры пламени и концентрации кислорода в зоне горения могут стать сжигание коксового газа с подачей водяного пара или рециркуляция дымовых газов в топку. При реализации указанных способов сжигания топлива можно уменьшить концентрацию серного ангидрида и оксида азота в дымовых газах [1, 2].

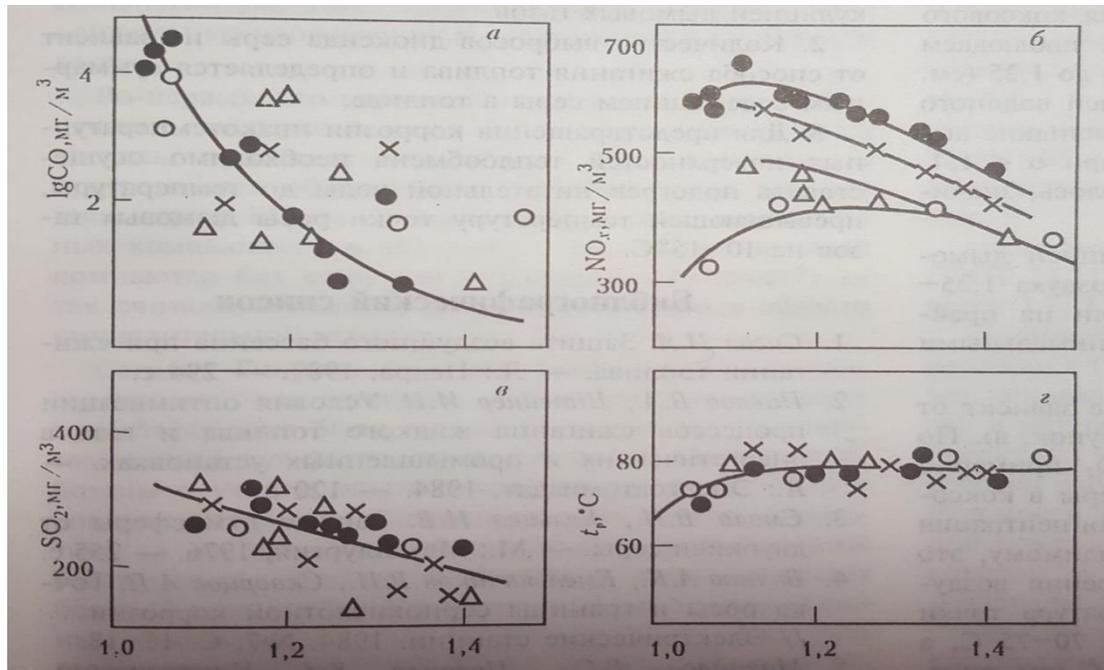


Рисунок 1. - Зависимость концентрации монооксида углерода (а), оксидов азота (б), диоксида серы (в) и температуры точки росы дымовых газов (г) от коэффициента избытка воздуха при сжигании коксового газа:

● - обычное сжигание; x - сжигание в смеси с водяным паром; Δ - то же, с рециркуляцией дымовых газов; o - то же, с подачей пара и рециркуляцией дымовых газов.

В настоящей работе были исследованы различные режимы сжигания коксового газа и определены зависимости концентрации образующихся в дымовых газах оксидов азота NO_x , оксидов серы и монооксида углерода от избытка воздуха, подаваемого в топку.

На котлоагрегате ДЕ-25ГМ изучали следующие способы сжигания коксового газа:

- сжигание топлива с подачей дымовых газов рециркуляции в топку;
- сжигание коксового газа в смеси с водяным паром;
- сжигание коксового газа при совместной подаче дымовых газов рециркуляции и водяного пара в топку;
- обычное сжигание.

Объем рециркулирующих дымовых газов составлял 10% от объемного расхода топлива. Расход водяного пара, подаваемого на смешение с коксовым газом, был равен 5-10% от расхода топлива. Коэффициент избытка воздуха варьировали в пределах 1,05-1,45. Объемная концентрация серы в коксовом

газе составляла 0,1% в пересчете на SO_2 , объемная концентрация азотсодержащих органических веществ в топливе 0,2%.

Концентрацию NO_x , CO и SO_2 , в дымовых газах определяли с помощью газоанализатора ЕСОМАС; концентрацию SO_3 , рассчитывали по температуре точки росы t_p дымовых газов, которую определяли прибором, описанным в работе [11]. Как известно, в присутствии водяных паров в парогазовой смеси серный ангидрид практически мгновенно превращается в серную кислоту. Поэтому прибор предварительно был откалиброван на содержание серной кислоты в паровоздушных смесях.

По этим данным можно рассчитать концентрацию паров серной кислоты или SO_3 , если известно численное значение температуры точки росы в парогазовой смеси.

При проведении промышленных экспериментов на котельном агрегате датчик прибора точки росы и газоотборную трубку газоанализатора помещали в поток дымовых газов между блоками водяного экономайзера.

Результаты экспериментов представлены на рисунке в виде зависимостей концентрации вредных веществ (а, б, в) и температуры точки росы (г) от коэффициента избытка воздуха α . В режимах сжигания коксового газа с малыми избытками воздуха ($\alpha < 1,1$) выбросы CO были значительными - от 10 до 20 г/м³ (см. рисунок, а). При увеличении α с 1,05 до 1,2 концентрация CO снижается примерно в сто раз - с 20 до 0,1-0,2 г/м³; при $\alpha > 1,3$ концентрация CO в дымовых газах не превышала 10-50 мг/м³. Связь между выбросами CO и способами сжигания топлива не установлена.

Выбросы NO_x зависят от способа сжигания и от величины коэффициента α . Наибольшие выбросы (≤ 600 мг/м³.) наблюдали при обычном способе сжигания топлива ($\alpha = 1,1$). При добавлении водяного пара или подаче дымовых газов рециркуляции в топку выбросы NO_x постепенно уменьшаются: с 600 до 575 и 490 мг/м³. При всех способах сжигания коксового газа на кривых зависимостей NO_x от α наблюдаем максимум в интервале значений α от 1,05 до 1,25 (см. рисунок). При сжигании топлива с подачей водяного пара и дымовых газов рециркуляции наименьшие выбросы NO_x (300-350 мг/м³) отмечены при $\alpha < 1,1$. Однако в этих режимах, как уже указывалось, значительно увеличиваются выбросы CO .

Сжигание коксового газа с рециркуляцией дымовых газов при коэффициенте избытка воздуха 1,25 - 1,3 можно рекомендовать для реализации на практике, так как выбросы NO_x , будут минимальными (≤ 3.50 мг/м³).

Концентрация SO_2 в дымовых газах не зависит от способа сжигания коксового газа (см. рисунок, в). По расчетам, количество образующегося SO_2 примерно соответствует суммарному содержанию серы в коксовом газе. При увеличении α с 1,1 до 1,4 концентрация SO_2 снижается с 300 до 200 мг/м³, что вызвано разбавлением продуктов горения воздухом и окислением SO_2 в SO_3 . Температура точки росы дымовых газов при $\alpha < 1,1$ равна 70-75°C, а при $\alpha > 1,1$ она увеличивается до 80-85°C (см. рисунок, г). По таблице находим кон-

центрацию H_2SO_4 , соответствующую точке росы 75 и 85°C. Концентрация H_2SO_4 в дымовых газах при увеличении избытка воздуха возрастает с 1 ($\alpha < 1,1$) до 2 - 6 мг/м³ ($\alpha > 1,1$). Отсюда следует, что количество серы, окисленной в SO_3 , не превышает 0,5-1,5% от общего содержания серы в коксовом газе.

На основании проведенных исследований можно рекомендовать сделать следующие выводы:

- наименьшие суммарные выбросы вредных веществ достигнуты при коэффициенте избытка воздуха $\alpha > 1,2$ в режимах сжигания коксового газа с рециркуляцией дымовых газов.

- количество выбросов диоксида серы не зависит от способа сжигания топлива и определяется суммарным содержанием серы в топливе.

Результаты работы могут быть использованы в методических разработках по курсу «Экология» для студентов по профилю подготовки «Машины и аппараты химических производств».

Список литературы:

1. Сигал, И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива / И.Я. Сигал. – Л: Недра, 1987. – 287 с.
2. Павлов, В.А. Условия оптимизации процессов сжигания жидкого топлива и газа в энергетических и промышленных установках / В.А. Павлов, И.Н. Штейнер. – Л: Энергоатомиздат, 1984. – 120 с.
3. Смола, В.И. Защита атмосферы от двуокиси серы / В.И. Смола, Н.В. Кельцев. – М: Металлургия, 1976. – 255 с.
4. Внуков, А.К. Точка росы и границы сернокислотной коррозии / А.К. Внуков, В.Н. Емельяничков, А.П. Скворцов // Электрические станции. – 1984. – № 7. – С. 16-18.
5. Михайлов, Г.С. Коррозионноактивные компоненты коксового газа / Г.С. Михайлов, Х.А. Исхаков // Кокс и химия. – 1987. – № 8. – С. 57-58.
6. Бакитская, Я.Б. Влияние состава кислой фазы на низкотемпературную коррозию / Я.Б. Бакитская, В.И. Нарышев // Теплоэнергетика. – 1979. – № 8. – С. 59-61.
7. Mikhailov, G.S. The contents of toxic and corrosive components in coke combustion gaseous products / G.S. Mikhailov, Yu.O. Afanasev, V.A. Plotnikov, Kh.A. Iskhakov, S.D. Tikhov, A.I. Gaus, P.D. Nagibin // Кокс и химия. – 1996. – № 8. – С. 32-34.
8. Михайлов, В.Г. Управление экологическими рисками в процессе добычи и переработки угля / В.Г. Михайлов, А.Г. Коряков, Г.С. Михайлов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015. – № 5. – С. 83-92.
9. Павлов, К.Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии / К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков. – СПб: Химия, 2005. – 576 с.

10. Гельперин, Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. В 2-х кн. / Н.И. Гельперин. – М: Химия,1981. – 812 с.
11. Суворов, А.В. Термодинамическая химия парообразного состояния / А.В. Суворов. – Л: Химия,1970. – 208 с.